

**Федорович Г.В.**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Москва 2004

## ВВЕДЕНИЕ

Эта книга задумывалась и писалась как (справочное) руководство для специалистов охраны труда, служб Госсанэпиднадзора, сотрудников служб охраны труда организаций, ответственных за эксплуатацию силового и коммуникационного электрооборудования, информационно-вычислительной техники и пр. Материалы, представленные в отдельных разделах (главах и параграфах), можно читать вне связи с остальным содержанием книги, хотя автор надеется, что совокупность нижеследующих материалов представляет собой нечто большее, чем их простую сумму.

Дело в том, что проблема воздействия электромагнитных полей на живые существа рассматривается с различных точек зрения специалистами различных областей знания: инженерами, физиками, биологами, медиками, законодателями. Соответствующие материалы печатаются в различных изданиях – материалах различных конференций, научной периодике различного профиля, средствах массовой информации, ведомственных сборниках. Первоначально единая проблема распадается постепенно на ряд специфических проблем и частных вопросов. Одной из задач последующего изложения является восстановление отношения к экологическому мониторингу электромагнитных полей как к работе над единым комплексом взаимосвязанных и взаимообусловленных проблем. Одновременно такой взгляд позволяет упорядочить картину достаточно сложного явления. Без этого, по убеждению автора, невозможно квалифицированное решение основных задач в области экологического мониторинга – планирование и выполнение измерений, выбор необходимой измерительной аппаратуры, формулировка итоговых выводов и рекомендаций. Кроме того, усвоение единого подхода к проблеме экологического мониторинга электромагнитных полей должно помочь читателю разобраться в новых направлениях развития этой области науки и сформировать собственное критическое отношение к различного рода (часто спекулятивным) концепциям, уводящим в сторону от решения главной проблемы – охраны здоровья работающих и предотвращения развития хронических профессиональных заболеваний.

### § 1. ОБЩАЯ КАРТИНА

В последние годы наблюдался беспрецедентный рост количества разнообразных источников электрических и магнитных полей (ЭМП), используемых в быту, промышленности и в коммерческих целях. К таким источникам относятся телевизоры, радиоприемники, компьютеры, мобильные аппараты сотовой связи, микроволновые печи, радары, а также промышленное, медицинское и торговое оборудование.

Все эти технологии делают нашу жизнь более насыщенной и комфортной. Современное общество немислимо без компьютеров, телевидения и радио. Мобильные телефоны значительно расширили возможности связи между отдельными людьми и облегчили работу служб экстренной медицинской помощи и охраны правопорядка как в городских районах, так и в сельской местности. Использование радаров повысило уровень безопасности воздушных полетов.

В то же время применение этих технологий вызывает озабоченность в связи с тем, что они могут представлять угрозу для здоровья человека. Такие опасения высказывались в отношении безопасности мобильных сотовых телефонов, линий электро-

передач и «радарных пистолетов», используемых дорожными службами для контроля за скоростью движения. Данные научных исследований позволяют предположить, что электромагнитные поля, образующиеся при работе этих приборов, могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека, приводя, например, к раковым заболеваниям, снижению рождаемости, потере памяти и нарушениям в поведении и развитии детей. Реальная степень опасности их использования для здоровья человека остается неизвестной, хотя в отношении некоторых видов ЭМП, встречающихся в быту, она может быть очень небольшой или вовсе отсутствовать.

Многое остается также неясным в отношении биологических эффектов неионизирующего излучения (например, радиоволн, сверхвысоких частот и т.д.) и ионизирующего излучения, например, рентгеновских лучей и гамма-лучей.

Вопросами воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на человека (и, шире – на биологические объекты) занимается специальная наука электромагнитобиология, вобравшая в себя основные результаты многих смежных дисциплин: классической и молекулярной биологии, биохимии, кибернетики, электродинамики и др. (см. напр. [1–13]).

С точки зрения медицины и электромагнитобиологии в настоящее время уже не вызывает сомнений тот факт, что ЭМП естественного происхождения (естественный электромагнитный фон Земли) следует рассматривать как один из важнейших экологических факторов [14–22]. Естественные ЭМП совершенно необходимы для нормальной жизнедеятельности, а их техногенное увеличение или дефицит приводит к серьезным негативным, порой даже необратимым последствиям для живого организма. Известно (см. подробнее гл. 1), что уровень помех с частотой сети в бытовых, производственных и лабораторных условиях или в условиях городских больниц и клиник может превышать вариации естественного геомагнитного поля в тысячу и более раз. Помехи от электрифицированного транспорта имеют импульсный характер и составляют по амплитуде десятки нТл на расстоянии в сотни метров. Спектральный состав городских помех практически перекрывает спектры всех известных естественных сигналов.

Реально ЭМП представляют собой лишь один из физических факторов, воздействующих на людей как в условиях закрытых помещений (жилье, рабочие места), так и на открытых территориях (улицы и площади городов, сады и парки). В населенных пунктах ведущими физическими факторами, воздействующими на население, являются акустический шум, вибрация, ЭМП. Структура объектов-источников физических факторов на территории населенных мест представлена на рисунке В.1.

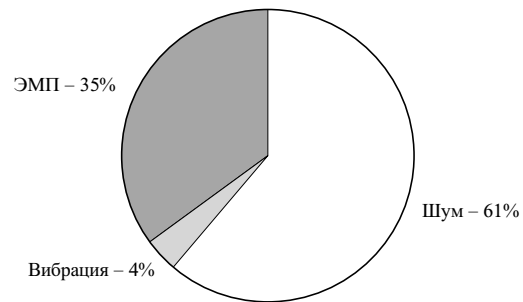


Рисунок В.1. Относительная роль отдельных физических факторов на открытых территориях населенных пунктов [23]

Видно, что ЭМП представляет собой второй (после акустического шума) по значимости физический фактор, воздействующий на людей на открытых территориях. Наиболее значимыми в санитарно-эпидемиологическом отношении являются такие объекты как:

- радио (теле) передающие центры с общей мощностью более 1000 Вт;
- высоковольтные линии электропередач;
- трамвайные линии и железнодорожные магистрали с электрической тягой.

Наиболее быстрорастущим является вклад в общее ЭМП от мощных радио (теле) передающих центров, так как многие из них находятся в черте жилой застройки. Процесс увеличения суммарной мощности передатчиков этих объектов происходит во все большем числе субъектов Федерации. Этот рост в основном связан с развитием мобильной связи (сотовой телефонной связи, транковой связи, спутниковой и радиорелейной связи), появлением новых станций радио- и телевидения.

Во многих населенных пунктах России высоковольтные линии электропередач проходят через территорию жилой застройки. Часто они проходят в непосредственной близости от жилых зданий, над жилыми, общественными, хозяйственными постройками. Уровни электрических полей зачастую превышают допустимые значения в 1–2 раза. Это вызывает жалобы населения. Исследования трансформаторных подстанций, также размещаемых в жилой застройке городов и поселков, показали, что уровни ЭМП превышают допустимые в среднем в одном из десяти замеров.

Несколько иная картина наблюдается для производственных условий. Структура источников физических факторов представлена на рисунке В.2.

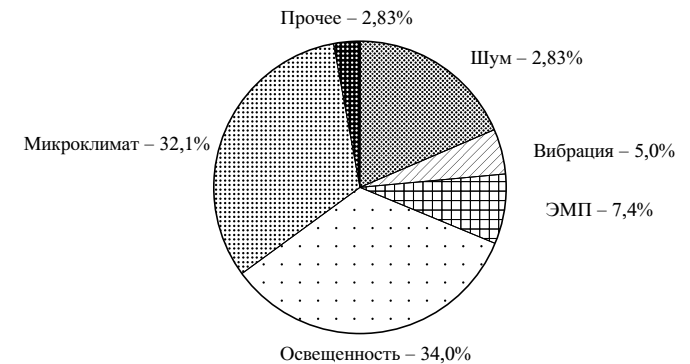


Рисунок В.2. Структура объектов-источников потенциально опасных физических факторов в производственных условиях (на рабочих местах) [23]

Наиболее выраженное неблагоприятное воздействие физических факторов наблюдается в тяжелом машиностроении, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, черной металлургии и деревообрабатывающей промышленности и промышленности строительных материалов, строительной промышленности, тракторной и химической промышленности, полиграфической промышленности, на транспорте.

Основной причиной несоблюдения санитарно-эпидемиологических нормативов в промышленности по-прежнему является морально устаревшее и физически изношенное технологическое оборудование.

Вычислительная техника становится все более значимым в гигиеническом отношении источником воздействия ЭМП на население и в том числе на детей и подростков. Госсанэпидслужба совместно с администрацией субъектов Федерации проводит мероприятия по надзору за компьютеризацией школ, обеспечивая контроль за поступающим оборудованием компьютерных классов.

В последнее время во многих субъектах Федерации состояние вычислительной техники по гигиеническим показателям улучшилось. Например, в настоящее время в школах (в компьютерных классах) не отвечает санитарно-эпидемиологическим требованиям по уровням ЭМП в основном 20% и менее «рабочих мест». Однако в ряде субъектов Федерации это несоответствие превышает 30%.

Рост числа источников ЭМП в радиочастотном диапазоне обусловлен прежде всего развитием систем сотовой связи. Однако на современном этапе по данным центров госсанэпиднадзора функционирование базовых станций сотовой связи, как правило, не приводит к повышению уровней электромагнитных полей, в том числе и в жилых зданиях и помещениях свыше допустимого значения.

В то же время в России весьма интенсивно растет число пользователей сотовой связи, превышающее по данным Министерства связи и информатизации 17 млн человек. Учитывая относительно высокую интенсивность ЭМП, создаваемую абонентскими радиотелефонами, и интенсивный рост числа пользователей мобильной связи, следует считать актуальной необходимость изучения влияния на здоровье человека продолжительного пользования радиотелефоном.

По отчетам центров ГСЭН отмечается прогрессивный рост общего числа объектов-источников физических факторов, способных оказывать неблагоприятное воздействие на население (рисунок В.3).

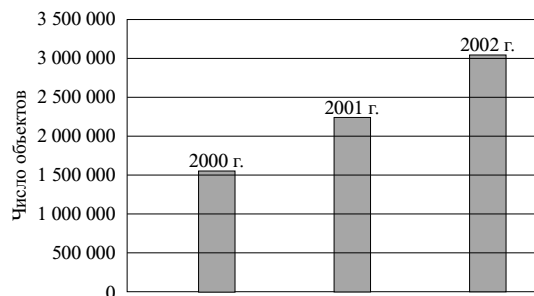


Рисунок В.3. Динамика роста объектов источников физических факторов неионизирующей природы в Российской Федерации в 2000–2002 гг. [23]

Наиболее значителен рост числа источников потенциально опасных физических факторов в развитых в промышленном отношении субъектах Федерации. Это обстоятельство не может не отражаться на санитарно-эпидемиологической обстановке в стране.

Динамика числа обследованных объектов-источников ЭМП и процент измерений, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим нормативам, представлена на рисунке В.4.

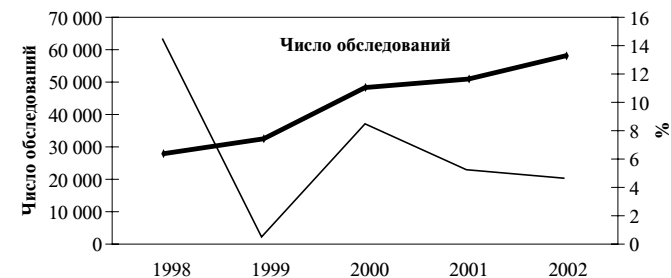


Рисунок В.4. Число объектов-источников ЭМП на территории населенных мест и процент измерений, не отвечающих нормативам [23]

Как видно из данных, представленных на этом рисунке, начиная с 2000 г. наблюдается тенденция к уменьшению числа объектов-источников ЭМП, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям. Однако сверхнормативному воздействию электромагнитных полей подвергается в России около 1 млн человек. Органы исполнительной власти в ряде субъектов Федерации озабочены проблемой электромагнитного загрязнения окружающей среды. Создаются областные комиссии по рассмотрению, регулированию и решению вопросов, связанных с воздействием электромагнитных полей на окружающую среду и здоровье населения. Готовятся проекты областных программ по обеспечению электромагнитной безопасности населения области.

## § 2. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СТРУКТУРА МОНИТОРИНГА

Мониторинг ЭМП представляет собой часть более общей государственной системы обеспечения охраны здоровья населения страны. В нее входят наблюдения (с набором статистики), систематизация и анализ результатов, формирование законодательной базы, осуществление контроля за ее соблюдением и т.д.

У соответствующей государственной службы давние корни и добрые традиции. Еще на рубеже XIX и XX веков начали создаваться учреждения эпидемиологического профиля, работники которых не только разрабатывали научно-методические меры борьбы с эпидемиями, но и активно участвовали в их ликвидации. Это была сложная и напряженная работа, особенно в сельской местности. Во многом стараниями работников этих учреждений был поставлен надежный заслон распространению тяжелых инфекционных заболеваний, в былые годы «выкашивающих» население буквально целыми деревнями.

15 сентября 1922 г. был принят Декрет Совета Народных Комиссаров РСФСР «О санитарных органах Республики» – важнейший документ, заложивший основу создания в России государственной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения нашей страны. Именно эта дата – 15 сентября 1922 г., стала днем рождения государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации. В соответствии с задачами развития страны работа практических и научных организаций санитарно-эпидемиологической службы была направлена на обеспе-

чение санитарно-эпидемиологического благополучия населения, осуществление твердого, последовательного санитарно-эпидемиологического надзора за условиями труда, быта и отдыха населения страны. Деятельность работников санитарно-эпидемиологической службы в годы развития народного хозяйства позволила предотвратить массовые потери, связанные с инфекционными заболеваниями и отравлениями населения, обеспечить ликвидацию санитарных последствий войн, динамичное восстановление и развитие народного хозяйства. Эта деятельность обеспечивает санитарно-эпидемиологическое благополучие в стране, а также эффективный надзор за состоянием условий труда, быта и отдыха населения Российской Федерации.

В 1991–1992 гг. государственная санитарно-эпидемиологическая служба получила статус единой федеральной централизованной системы органов и учреждений, основными задачами которой являются профилактика массовых инфекционных и неинфекционных заболеваний, предупреждение вредного воздействия на человека вредных факторов окружающей среды. Нынешние задачи службы не менее сложны и масштабны. Большого уважения заслуживает деятельность службы по стабилизации санитарно-эпидемиологической обстановки в стране, предотвращению влияния неблагоприятных факторов среды обитания на здоровье людей. Значительны успехи и в пропаганде здорового образа жизни. К настоящему времени в стране создана и эффективно действует государственная система, позволяющая обеспечивать реализацию прав граждан на охрану здоровья и благоприятную среду обитания.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 9 марта 2004 г. образована Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, которой переданы в полном объеме функции государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации.

Цели, задачи, функции Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека определены Законом РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Основными из них являются:

- разработка в пределах своей компетенции основ государственной политики в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения;
- участие в реализации государственной политики в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения;
- организация и осуществление государственного санитарно-эпидемиологического надзора;
- обеспечение взаимодействия санитарно-эпидемиологических служб федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, хозяйствующих субъектов по вопросам обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения;
- координация деятельности по оказанию медицинской помощи лицам, пострадавшим вследствие радиационных аварий и катастроф;
- санитарно-эпидемиологическое нормирование, координация и регулирование вопросов охраны здоровья населения в связи с воздействием на человека неблагоприятных факторов среды его обитания и условий жизнедеятельности;
- определение приоритетных направлений деятельности и организация научно-исследовательских работ, связанных с обеспечением санитарно-эпидемиологического благополучия населения;

- подготовка предложений по вопросам обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения для принятия решений органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления;

- участие в разработке целевых и территориальных программ обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, а также предложений к проектам федеральных целевых и территориальных программ по вопросам охраны здоровья населения, профилактики заболеваний и оздоровления среды обитания человека;
- разработка и утверждение в установленном порядке санитарных правил, норм и гигиенических нормативов;
- организация и проведение санитарно-гигиенической и эпидемиологической экспертизы;
- осуществление методического руководства работой по гигиеническому воспитанию и образованию граждан, участие в пропаганде гигиенических знаний;
- осуществление государственного санитарно-эпидемиологического надзора за соблюдением санитарного законодательства Российской Федерации.

Для реализации этих функций в структуре Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека предусмотрены следующие учреждения:

- Центры государственного санитарно-эпидемиологического надзора в республиках, краях, областях, региональные на транспорте (96).
- Центры государственного санитарно-эпидемиологического надзора в городах, районах (межрайонные, зональные, на транспорте) (2285).
- Научно-исследовательские институты (31).
- Учреждения федерального подчинения (8), такие как:
  - Федеральный центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора.
  - Противочумный центр.
  - Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ.
  - Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы.
  - Центр гигиенического образования населения в г. Москве.
  - Научно-практический центр гигиенической экспертизы.

Все достижения в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения – это плод кропотливой, нелегкой работы многотысячной армии руководителей, специалистов, всех сотрудников практических и научных учреждений Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

### § 3. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАБОТЫ ГОССАНЭПИДСЛУЖБЫ

Центры Госсанэпиднадзора принимают меры по отношению к нарушениям санитарного законодательства. Среди этих мер:

- рассмотрение жалоб,
- предписания, выдаваемые центрами ГСЭН по фактам нарушения санитарно-эпидемиологического законодательства,
- отклонения от согласования проектов,

- наложение штрафов,
- передача дел в прокуратуру.

Благодаря усилиям Госсанэпидслужбы устраняются нарушения санитарно-эпидемиологического законодательства на объектах-источниках неблагоприятных физических факторов.

Важным аспектом работы подразделений по надзору за физическими факторами является рассмотрение жалоб населения в связи с неудовлетворительными условиями проживания. Динамика этого коррелирует с ростом общего числа источников потенциально опасных факторов (рисунки В.3–В.4). Наблюдается рост количества жалоб и обращений граждан по поводу приемки и ввода в эксплуатацию базовых станций сотовой связи, при их размещении на крышах жилых зданий, неблагоприятного воздействия электромагнитного излучения высоковольтных ЛЭП, проходящих по территории жилой застройки, и электроподстанций.

По настоянию госсанэпидслужбы прорабатывается вопрос замены воздушных линий электропередач на кабельные.

Одним из важных мероприятий, предупреждающих вредное воздействие физических факторов на население, является санитарно-эпидемиологическая оценка потенциально опасной продукции машиностроения и приборостроения, как производимой в России, так и ввозимой из-за рубежа. Для предотвращения ввоза на территорию России продукции машиностроения и приборостроения, представляющей потенциальную опасность для населения, ЦГСЭН в ряде субъектов Федерации заключают соглашения с таможенными организациями о взаимодействии.

Как показывает анализ материалов, представленных центрами ГСЭН, количество экспертиз этой продукции и технической документации на ее производство прогрессивно возрастает. Число санитарно-эпидемиологических заключений, выданных на продукцию машиностроения, за последние 5 лет увеличилось более чем вдвое.

С целью повышения эффективности контроля за санитарно-эпидемиологической оценкой продукции машиностроения и приборостроения необходимо также и взаимодействие с органами сертификации Госстандарта России, в части оформления Госстандартом сертификатов соответствия.

Госсанэпидслужба принимает меры для предотвращения неблагоприятного воздействия вычислительной техники на детей. Эта работа включает участие в санитарно-эпидемиологической экспертизе оборудования, приобретаемого оснащения для компьютерных классов и надзор за их состоянием. Так в ряде субъектов РФ с участием госсанэпидслужбы приняты Постановления администрации о порядке обеспечения компьютерной техникой сельских учреждений основного и среднего (полного) общего образования, реализуется программа по компьютеризации школ. В ряде случаев приостанавливается работа классов информатики до устранения нарушений санитарно-эпидемиологических норм.

В настоящее время в ряде субъектов Федерации осуществляется санитарная паспортизация компьютерных классов, являющаяся эффективным инструментом надзора и фиксирующая комплекс санитарно-эпидемиологических требований к классам информатики.

## § 4. МЕЖДУНАРОДНЫЙ УРОВЕНЬ

На международном уровне проблемами мониторинга ЭМП (т.е. наблюдениями с набором статистики, систематизацией и анализом результатов, формированием норма-

тивов и т.д.) занимается Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (МКЗНИ), неправительственная организация, официально признанная Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). Существуют международные нормы, принятые для обеспечения безопасности устройств, генерирующих ЭМП, и защиты от их воздействия других приборов. МКЗНИ разрабатывает рекомендации по допустимым пределам воздействия на основе экспертного анализа всей имеющейся научной литературы по данному вопросу. Нормы основаны на оценке биологических эффектов, которые могут приводить к последствиям для здоровья. Если такие последствия будут выявлены, это может привести к необходимости переоценки допустимых норм их воздействия на человека.

Конфликтная ситуация, вызываемая опасениями в отношении возможного влияния ЭМП на здоровье человека, с одной стороны, и необходимостью развития электроэнергетики и средств телекоммуникации, с другой, приводит к серьезным экономическим последствиям. Например, во многих странах службам электроснабжения пришлось проводить линии электропередач высокого напряжения в обход населенных пунктов и даже приостановить их строительство. Сооружение базовых станций для систем мобильной телефонной связи затягивается или наталкивается на противодействие со стороны общественности из опасений, что радиочастотные излучения этих базовых станций могут вызывать раковые заболевания у детей.

Меры, с помощью которых можно значительно уменьшить воздействие электрических и магнитных полей на окружающую среду до уровня ниже того, который в настоящее время считается допустимым, требуют больших затрат. Согласно оценкам, в результате опасений в отношении влияния ЭМП на здоровье только в США ежегодно расходуется 1 млрд долларов. Однако, если риск для здоровья достигнет недопустимого уровня, потребуются применение более дорогостоящих мер профилактики.

## ЛИТЕРАТУРА К ВВЕДЕНИЮ

1. ПЛЕХАНОВ Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Изд. Томского Университета. Томск, 1990.
2. ЯКОВЛЕВА М.И. Физиологические механизмы действия электромагнитных полей. Л.: Медицина, 1973. — 175 с.
3. Электромагнитные поля и здоровье человека. Материалы 2-й Международной конференции «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования. Нормирование ЭМП: философия, критерии и гармонизация» (20–24 сентября 1999 г., г. Москва). М., 1999. – 406 с.
4. РУДАКОВ М.Л. Электромагнитная безопасность в промышленности. СПб.: Политехника, 1999. – 91 с.
5. РУДАКОВ М.Л. Электромагнитные поля и безопасность населения. СПб.: Русское географическое общество, 1998. – 32 с.
6. СУВОРОВ Г.А., ПАЛЬЦЕВ Ю.П., ХУНДАНОВ Л.Л. и др. Неионизирующие электромагнитные излучения и поля (экологические и гигиенические аспекты). М., 1998. – 102 с.
7. ТИЩЕНКО В.А., ТОКАТЛЫ В.И., ЛУКЬЯНОВ В.И., РУБЦОВА Н.Б., ПОХОДЗЕЙ Л.В. Электромагнитное поле. В кн. Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека. М., Издательство стандартов, 2003. С. 10–62.

8. ТРУБИЦЫН А.В. Электромагнитные поля и безопасность жизнедеятельности. М.: МИРЭА, 1996. – 66 с.
9. ХОЛОДОВ Ю.А. Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971. – 124 с.
10. ХОЛОДОВ Ю.А. Действие МП на функции нервной системы // Гигиеническая оценка магнитных полей. М., 1972. С. 52.
11. ШАНДАЛА М.Г., ЗУЕВ В.Г., УШАКОВ И.Б., ПОПОВ В.И. Справочник по электромагнитной безопасности работающих и населения. Воронеж: Истоки, 1998. – 82 с.
12. ГРИГОРЬЕВ Ю.Г., СТЕПАНОВ В.С., ГРИГОРЬЕВ О.А., МЕРКУЛОВ А.В. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное пособие. Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 1999. – 146 с.
13. ДАВЫДОВ Б.И., ТИХОНЧУК В.С., АНТИПОВ В.В. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 177 с.
14. ИСМАИЛОВ Э.Ш., ЗАХАРОВ С.Д. Электромагнитные поля и излучения в природе, технике и жизни человека. Махачкала: Дагучпедгиз, 1993. – 159 с.
15. ТРУБИЦЫН А.В. Электромагнитные поля и безопасность жизнедеятельности. М.: МИРЭА, 1996. – 66 с.
16. ХОЛОДОВ Ю.А. Человек в магнитной паутине (магнитное поле и жизнь). М.: Знание, 1972. – 144 с.
17. ТЯСТО М.И., ПТИЦЫНА Н.Г., КОПЫТЕНКО Ю.А. и др. Влияние электромагнитных полей естественного и антропогенного происхождения на частоту появления различных патологий в Санкт-Петербурге // Биофизика. М.: Наука, 1995. Том 40. No.4. С. 839–847.
18. БОРОДИН А.С. Сопряженность вариаций КНЧ электромагнитных полей среды обитания и состояния организма человека. Автореферат на соиск. уч. ст. канд. тех. наук. Томск: ТГУ, 1999. – 14 с.
19. ВЕРНАДСКИЙ В.И. «Живое вещество и биосфера». Москва, «Наука», 1994.
20. АГУЛОВА Л.П. Принципы адаптации биологических систем к космогеофизическим факторам. // (обзор). Биофизика 1998, т. 43, вып. 4, С. 561–564.
21. МАКБЕЕВ В.Б. и др. Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля. // В сб. «Электромагнитные поля в биосфере». 1985, Т. II, С. 62–72.
22. РАГУЛЬСКАЯ М.В., ХАБАРОВА О.В. Влияние солнечных возмущений на человеческий организм. // Биомедицинская Радиоэлектроника № 2, 2001, С. 5–15.
23. О состоянии надзора за источниками физических факторов неионизирующей природы и деятельности профильных подразделений ЦГСЭН. Информационный сборник статистических и аналитических материалов. ФЦГСЭН, М., 2002 г.

# ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭМП

## ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Электродинамика – это раздел физики, предмет которого – электрические и магнитные явления. Основу этих явлений составляют электромагнитные взаимодействия, которые по широте и разнообразию своих проявлений играют в природе особую важную роль. Можно без преувеличения сказать, что современным уровнем своего развития человечество обязано именно изучению и практическому использованию электромагнитных явлений.

Слово электричество происходит от греческого названия янтаря – «электрон». Античным грекам было известно, что если потереть янтарь куском ткани или шерсти, то к нему будут притягиваться мелкие предметы. Греки воспринимали это как любопытное явление, в средние века к этому относились как к чуду, тайне, позже, с наступлением эпохи Просвещения, это стало предметом научного изучения. Результатом планомерных исследований и случайных открытий стало создание в конце XIX века замкнутой, логически непротиворечивой теории электродинамических явлений.

В основе электродинамики лежат понятия электрического заряда и электромагнитного поля. Как все аксиоматизирующие научную дисциплину понятия, «электрический заряд» и «электромагнитное поле» не допускают полного и непротиворечивого определения – это одно из следствий теоремы К. Гёделя (см. напр. [1,2]). Пускаться по этому поводу в словесные игры или прибегать к квазифилософской абракадабре (вроде – «поле – это особая форма материи»), бесплодно и ненужно. Вместо этого можно, например, описать свойства заряда и способ его получения. В электродинамике макроскопических явлений под словами «заряд» и «заряженное тело» понимается твердое тело с избытком (отрицательно заряженное тело) или с недостатком (положительно заряженное тело) электронов.

Концепция электрона делает смысл понятия «электрический заряд» если не яснее, то по крайней мере – привычнее. Об электромагнитном поле нельзя сказать и этого. Вообще говоря (это определение относится не только к электродинамике) поле – суть способ описания того, что происходит в некоторой точке пространства. Простейшее поле – скалярное – описывает ситуацию, в которой каждая точка пространства может быть описана одним числом – скаляром. Эти числа могут меняться от точки к точке, и тогда говорят о неоднородном поле, а также и со временем, и тогда говорят о нестационарном поле.

В качестве примера можно привести поле температур в помещении. В одних точках теплее, в других холоднее – температура меняется от точки к точке. Эту ситуацию можно адекватно описать, сказав, что температура – функция положения в пространстве, т.е. температурное поле неоднородно. Если все это меняется со временем, то температура также и функция времени – температурное поле нестационарно. Одним из способов представить себе скалярное поле – вообразить «изокунты», т.е. поверхности, проведенные через точки с одинаковым значением поля, подобно горизонталям на картах, соединяющим точки на одной высоте над уровнем моря. Для температурного поля контуры носят название «изотермическая поверхность» или «изотерма». На рисунке 1.1 показано температурное поле на плоскости с координатами (X,Y). Проведено несколько изотерм.

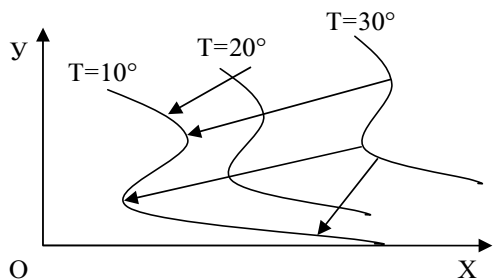


Рисунок 1.1. Температурное (скалярное) поле. Стрелки – пример векторного поля потока тепла

Более сложно векторное поле – ситуация, когда каждая точка пространства может быть охарактеризована фактором, имеющим величину и направление, т.е. вектором. Так же как и скаляр, вектор может меняться от точки к точке и со временем. Примером может служить поток тепла. Если в одних местах температура выше, чем в других, от горячих областей к холодным будет идти поток тепла. Поток характеризуется величиной и направлением – это обстоятельство отражено на рисунке 1.1 стрелками.

Электромагнитное поле имеет еще более сложную структуру – это тензорное поле. Его можно описать двумя векторами – напряженностью электрического поля  $E$  и индукцией магнитного поля  $B$ , однако следует иметь в виду, что электричество и магнетизм – не независимые характеристики поля, они всегда должны рассматриваться в совокупности, как одно электромагнитное поле. В самой природе существует глубокая взаимосвязь между электрическим и магнитным полями, описываемая принципом относительности. Рассматривая эти поля с разных точек зрения (точнее – из разных систем координат), мы будем видеть различные соотношения между ними, вплоть до того, что одно из полей может исчезнуть (электрическое  $E$  или магнитное  $B$  – в зависимости от выбора точки зрения). Иными словами – разделение поля на электрическую и магнитную части зависит от того, откуда (из какой системы координат) мы наблюдаем единое электромагнитное поле.

Точный анализ реальных физических проблем обычно крайне сложен, поэтому целесообразно выработать некоторые вспомогательные способы представления о поведении систем в различных обстоятельствах. В электродинамике этой цели служат представления о линиях поля, введенных М. Фарадеем. Линии поля – это линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора напряженности поля. Некоторые примеры наглядного представления электромагнитного поля с помощью силовых линий будут приведены ниже, здесь же следует отметить, что ни одна из вспомогательных эвристических моделей (картина силовых линий, изопотенциалы, движения эфира как среды распространения поля и т.п.) на самом деле не может адекватно и точно описать все явления в электродинамике. Например, даже если известны картины силовых линий двух изолированных совокупностей зарядов, из них никак не следует картина силовых линий в ситуации, когда обе совокупности действуют вместе. Практически невозможно сформулировать строгие количественные законы (например – принцип суперпозиции полей) в терминах линий поля. Существует лишь один точный и продуктивный способ представления законов электродинамики – язык дифференциальных уравнений. Реальные физические явления обычно слишком сложны для анализа на языке дифферен-

циальных уравнений, однако любой другой способ неизбежно приводит к результатам, начисто лишенным какого-либо реального содержания.

## § 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Сила, действующая на электрический заряд, зависит не только от того, где он находится, но и от того, с какой скоростью он движется. Каждая точка в пространстве характеризуется двумя векторными величинами, которые определяют силу, действующую на любой заряд. Имеется электрическая сила, дающая ту часть силы, которая не зависит от скорости заряда.

Для объяснения происхождения и передачи сил, действующих между покоящимися зарядами вводится понятие электрического поля. Когда в каком-то месте пространства появляется электрический заряд, вокруг него возникает электрическое поле. Основное свойство этого поля в том, что на всякий другой заряд, помещенный в это поле, действует сила. Если мы заменим этот заряд другим, то сила, действующая на этот заряд, изменится пропорционально величине заряда. Для электрического поля справедлив принцип суперпозиции – поле системы зарядов можно определить как сумму (разумеется – векторную) электрических полей от каждого из зарядов.

Для количественной характеристики электрического поля служит специальная физическая величина – напряженность электрического поля  $E$ . Напряженность электрического поля в данной точке измеряется силой, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку. Если сформулировать по-другому, напряженность есть величина, равная отношению силы, действующей на положительный пробный заряд, помещенный в данную точку поля, к этому заряду. Единицей электрического поля является 1 В/м (Вольт на метр). Для того, чтобы представить диапазон возможных значений электрического поля, в таблице 1.1 приведены поля различных объектов (естественных и технических).

Таблица 1.1

Объект	Характерные величины поля
Космическое излучение	10 мкВ/м
Поле радиопередатчика мощностью 100 Вт на расстоянии 1 км	50 мВ/м
Поле антенны GSM на расстоянии 100 м	0,5 В/м
Поле в жилых помещениях (типичные значения)	1–10 В/м
Поле на расстоянии 1 м от электрической лампочки	50 В/м
Фоновое поле вблизи поверхности земли	100–300 В/м
Поле грозы (перед ударом молнии)	1–3 МВ/м
Поле в биологических мембранах	10 МВ/м
Поле в радиотехнических конденсаторах	до 1 ГВ/м
Поле в потоке излучения мощного лазерного импульса	до 10 ТВ/м



На следующем рисунке приведена картина силовых линий электрического поля для достаточно характерной ситуации.

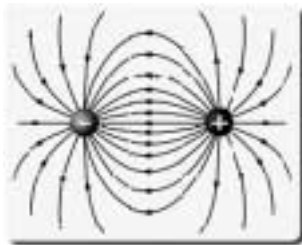


Рисунок 1.2. Электрическое поле, создаваемое двумя разноименными зарядами (электрический диполь)

Несмотря на то, что силовые линии образуют замкнутые на зарядах конфигурации, поле можно обнаружить на сколь угодно больших расстояниях от зарядов. На расстояниях, значительно больших расстояния между зарядами поле с изображенной конфигурацией называется дипольным.

Перемещение заряда в электрическом поле связано с затратами или высвобождением энергии. Постоянное электрическое поле потенциально – затраченная (или высвободившаяся) энергия не зависит от пути, по которому произошло это перемещение, а только от положения начальной и конечной точек перемещения заряда. Прямым следствием этого свойства постоянного электрического поля является возможность характеризовать поле в некоторой точке пространства величиной работы, требуемой для перемещения в эту точку единичного заряда из областей, бесконечно удаленных от полеобразующей системы. При таком определении работы она становится скалярной характеристикой точки в пространстве и, следовательно, сама определяет скалярное поле, называемое в электродинамике электрическим потенциалом. Единицей электрического потенциала является 1 В (Вольт). Для электрического потенциала справедлив принцип суперпозиции – потенциал системы зарядов можно определить как сумму электрических потенциалов от каждого из зарядов. Так как реально заряды не переносятся из бесконечности и не уносятся на бесконечность, практическое значение имеет разность потенциалов между двумя точками пространства. Если эти точки лежат внутри или на поверхности твердых (или жидких) тел, разность потенциалов называется напряжением.

Для того, чтобы представить диапазон возможных значений разностей электрического потенциала, в таблице 1.2 приведены величины, характерные для различных объектов (естественных и технических).

Таблица 1.2

Объект	Характерные величины
Наименьшее измеряемое напряжение	10 пВ

Поле нервного импульса	70 мВ
Напряжение химических источников	1,2–2 В
Бытовая электросеть	220 В
Наэлектризованная одежда, обувь	1 кВ
Питание электроннолучевых трубок	30 кВ
Рентгеновские трубки	10–200 кВ
Электронные микроскопы	1 кВ–3 МВ
Потенциал грозового облака относительно земли	10–100 МВ
Электронные ускорители	до 1 ТВ

Потенциал электрического поля, как и всякая работа, тесно связан с энергией системы зарядов. В теории электричества законы сохранения энергии играют такую же полезную роль, как и в механике или термодинамике. Например, зная как подсчитать кинетическую и потенциальную энергии механической системы, можно связать состояния системы в различные моменты времени, не вдаваясь в подробности того, что происходит между этими моментами. Хотя энергия первоначально появляется в теории электрического поля как следствие произведенной над зарядами работы, имеет смысл приписывать ее не зарядам, а самому полю.

Так как поле, по определению, распределено по пространству, его энергия – также распределенная по пространству величина, и реально имеет смысл говорить о плотности энергии. Для электрического поля плотность энергии  $W$  пропорциональна квадрату поля

$$W = \epsilon_0 E^2 / 2 ,$$

здесь коэффициент пропорциональности  $\epsilon_0$  – т.н. диэлектрическая проницаемость вакуума. Если поле быстро меняется со временем, его энергия также меняется. Во многих случаях отслеживать эти изменения не требуется, вполне можно ограничиться определением среднего по большому (сравнительно с временем изменения поля) интервалу времени  $T$ :

$$\langle W \rangle = (\epsilon_0 / 2T) \int_T E^2 dt .$$

Стоящий здесь интеграл по интервалу времени  $[0, T]$  играет важную роль как скалярная характеристика векторного поля. Для него введено специальное название «среднее квадратическое значение напряженности электрического поля»  $E_s$ :

$$E_s = \sqrt{(1/T) \int_T E^2 dt} .$$

Именно это поле обычно используется для гигиенического нормирования электромагнитных полей.

Есть еще одна компонента силы, действующей на электрический заряд, которая зависит от его скорости  $V$ . Эта сила (называемая магнитной силой) имеет свойство: в

любой точке пространства как направление, так и величина силы зависят от направления движения частицы; в каждый момент сила всегда перпендикулярна вектору скорости заряда; кроме того, сила всегда перпендикулярна определенному направлению в пространстве, и, наконец, величина силы пропорциональна компоненте скорости, перпендикулярной этому выделенному направлению. Все эти свойства можно описать, если ввести вектор магнитного поля  $\mathbf{B}$ , с помощью которого полная электромагнитная сила  $\mathbf{F}$ , действующая на электрический заряд  $q$ , может быть записана так:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + [\mathbf{V}, \mathbf{B}]).$$

Это сила Лоренца. Единицей магнитного поля является 1 Тл (Тесла). Для магнитного (также как и для электрического) поля справедлив принцип суперпозиции.

Для того, чтобы представить диапазон возможных значений магнитного поля, в таблице 1.3 приведены поля различных объектов (естественных и технических).

Таблица 1.3

Объект	Характерные величины поля
Наименьшее измеряемое магнитное поле	1 фТл
Межгалактическое магнитное поле	0,1–3 пТл
Поле вблизи работающего сердца	1–10 пТл
Магнитное поле Земли	20–70 мкТл
Поле внутри современного жилого помещения	0,1 мТл
Поле постоянных магнитов	0,1–1 Тл
Плазма солнечных вспышек	1 Тл
Физические установки (ускорители, плазменные установки)	до 50 Тл
Импульсные магнитные поля в физических лабораториях	до 1 кТл
Поле в потоке излучения мощного лазерного импульса	до 30 кТл

Из самого определения электрического поля следует, что оно создается электрическим зарядом (покоящимся или движущимся) и, в свою очередь, действует на электрический заряд (также покоящийся или движущийся). С магнитным полем аналогичное утверждение не столь очевидно. Причина здесь в отсутствии в природе магнитных зарядов. Впервые этот вопрос рассмотрел А. Ампер. Канва рассуждений такова. На проводник с током в магнитном поле, создаваемом магнитом, действует сила. Из закона Ньютона о равенстве действия и противодействия следует, что когда по проводнику течет ток, возникает сила, действующая на источник поля – магнит. Такие силы действительно существуют; в этом можно убедиться по отклонению стрелки компаса вблизи проводника с током (Х. Эрстед). Далее, известно, что магниты испытывают действие сил со стороны других магнитов, а отсюда можно заключить, что когда по проводнику течет ток, то он создает собственное магнитное поле. Вопрос ставится

так: дан ток, какое магнитное поле он создает? Ответ был получен экспериментально и сейчас он известен как закон Био-Савара.

На следующих рисунках приведены картины силовых линий магнитных полей в некоторых ситуациях.



Рисунок 1.3. Магнитное поле, создаваемое проводником с током

Поскольку магнитных зарядов не существует, силовые линии магнитного поля всегда замкнуты. Аналогом поля электрического диполя является магнитное поле пары разнонаправленных токов, изображенное на рисунке 1.4.

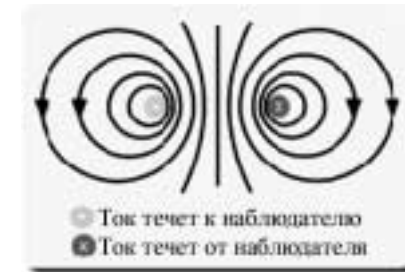


Рисунок 1.4. Магнитное поле, создаваемое парой разнонаправленных токов, текущих по параллельным проводникам.

Для магнитного поля плотность энергии  $W$ , также как и для электрического, пропорциональна квадрату поля

$$W = \mu_0 \mathbf{B}^2 / 2,$$

здесь коэффициент пропорциональности  $\mu_0$  – т.н. магнитная проницаемость вакуума. Если поле быстро меняется со временем, его энергия также меняется. Во многих случаях отслеживать эти изменения не требуется, вполне можно ограничиться определением среднего по большому (сравнительно с временем изменения поля) интервалу времени  $T$ :

$$\langle W \rangle = (\mu_0 / 2T) \int_T \mathbf{B}^2 dt .$$

Стоящий здесь интеграл по интервалу времени  $[0, T]$  играет важную роль как скалярная характеристика векторного поля. Для него также (как и для электрического поля) введено специальное название «среднее квадратическое значение напряженности магнитного поля»  $B_s$ :

$$B_s = \sqrt{(1/T) \int_T \mathbf{B}^2 dt} .$$

Именно это поле обычно используется для гигиенического нормирования электромагнитных полей.

При теоретических исследованиях электромагнитных полей часто бывает полезно начинать работу с анализа статических полей, т.е. с полей, создаваемых зарядами либо закрепленными на своих местах, либо движущимися с постоянной скоростью, так что постоянен создаваемый ими электрический ток. В этих условиях система уравнений Максвелла, описывающая поведение электромагнитного поля, распадается на две независимых системы, одна из которых описывает электрическое поле, а другая – магнетизм. Это означает, что колы скоро заряды и токи постоянны, электричество и магнетизм – явления разные. Нельзя обнаружить никакой связи полей  $E$  и  $B$  друг с другом, пока не возникнут изменения в зарядах или токах, например, пока магнит, создающий магнитное поле не начнет двигаться. Только когда возникают достаточно быстрые изменения,  $E$  и  $B$  начинают влиять друг на друга и их уже нельзя рассматривать по отдельности.

Исходя из общих соображений – все что мы наблюдаем имело начало и когда-нибудь закончится – статические поля могут считаться умозрительной фикцией. Это действительно так, однако это очень полезная фикция. Во многих случаях изменения полей столь медленны, что их практически можно считать статическими. Когда именно «работает» это предположение – зависит от проблемы, которую мы решаем (теоретически или экспериментально). Некоторые примеры будут приведены в следующем разделе (см. §2), здесь опишем те свойства электромагнитного поля, которые связаны с изменениями его во времени.

Прежде всего, временная зависимость поля может быть довольно разнообразной:

- шум, т.е. достаточно случайные изменения во времени,
- отдельные импульсы поля или последовательности из нескольких импульсов,
- периодические вариации поля, среди которых наиболее распространены гармонические колебания,
- модулированные по амплитуде или частоте колебания.

Во всех этих случаях изменяться может как величина векторов  $E$  и  $B$ , так и их направление. Последний случай описывается в терминах «поляризация». Если вектор меняется только по величине, оставаясь коллинеарным некоторому направлению, говорят о линейной поляризации, если происходят гармонические колебания поля, конец вектора поля  $A$  (это может быть вектор  $E$  или  $B$ ) описывает в пространстве замкнутую кривую – круг или эллипс – говорят о круговой или эллиптической поляризации. Основные характеристики эллипса поляризации представлены на рисунке 1.5.

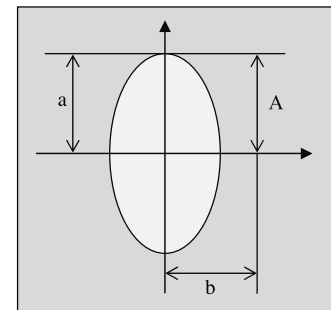


Рисунок 1.5. Параметры эллипса поляризации:

- максимальная величина поля  $A_{max}$ ,
- коэффициент эллипсности  $E = b/a$
- эксцентриситет  $\epsilon$ , связанный с  $E$  соотношением  $\epsilon^2 + E^2 = 1$

Для эллиптически поляризованного поля, так же как и для линейно поляризованного поля, можно определить среднее квадратическое значение на основании тех же самых энергетических соотношений

$$A_s = A_{max} (1 - \epsilon^2 / 2)^{1/2} .$$

Для линейно поляризованного поля это приводит к известному соотношению  $A_s = A_{max} / \sqrt{2}$ , но, например, для круговой поляризации дает  $A_s = A_{max}$ , что почти очевидно (при круговой поляризации величина вектора не меняется, т.е. его энергия совпадает с энергией постоянного поля).

Периодические колебания поля характеризуются периодом  $T$  колебаний или обратной к  $T$  величиной – частотой колебаний  $f$  ( $f = 1/T$ ). Среди всех периодических колебаний особое место занимают гармонические колебания, т.к. именно они как правило встречаются в электротехнике – силовой и информационной. Часто гармонические поля модулированы по амплитуде. Наиболее ярко выражены свойства модулированных полей в случае т.н. импульсной модуляции – когда наблюдаются импульсы гармонического поля с длительностью  $t_u$ , затем пауза в течение времени  $t_n$ , затем все повторяется (см. рисунок 1.6)

Для этого случая можно ввести два (оба среднеквадратические) значения напряженности поля:

- $A_s^H$  определяемое только по тем интервалам времени (внутри длительности импульса), когда поле меняется гармонически, эта величина совпадает со среднеквадратическим значением немодулированного поля, можно рассматривать также среднеквадратического значения напряженности поля;
- $A_s^U$  определяемое по интервалам времени длительностью достаточной для того, чтобы в них попали несколько импульсов и пауз между ними.

Соотношение между ними имеет вид:

$$A_s^U = A_s^H \sqrt{t_u / (t_u + t_n)} .$$

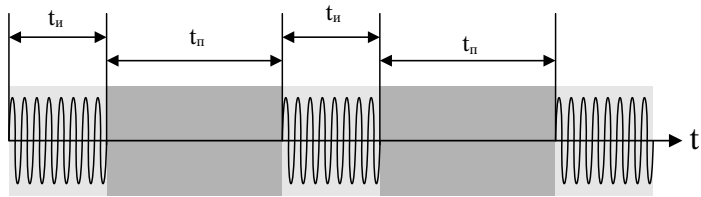


Рисунок 1.6. Пример импульсной модуляции гармонического поля

Приведенный пример гармонического поля с импульсной модуляцией показывает, что для оценки среднего квадратического значения поля необходимо не только измерять величину поля в импульсах, но также и временные характеристики модуляции – длительности импульсов  $t_{и}$  и пауз  $t_{п}$  между ними.

Относительно других видов временной зависимости электромагнитного поля заметим, что реально встречающиеся в природе шумовые поля характеризуются диапазоном частот – от  $f_{min}$  до  $f_{max}$ . Рассматриваемое в технической литературе понятие «белый шум», т.е. шум в котором встречаются колебания со всеми частотами – от  $f_{min} = 0$  до  $f_{max} = \infty$ , является умозрительной теоретической конструкцией.

Отдельные моноимпульсы поля характеризуются длительностью фронта (временем нарастания поля) и суммарной длительностью импульса.

Быстроменяющиеся поля распространяются в виде электромагнитной волны на большие расстояния от источника волны (движущихся зарядов). В электромагнитной волне существует однозначная связь между полями  $E$  и  $B$  и направлением распространения волны, задаваемым волновым вектором  $k$ .

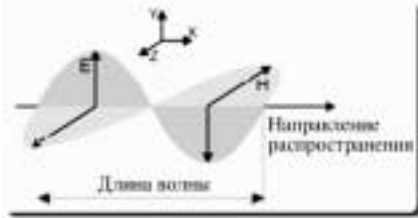


Рисунок 1.6. Взаимоотношения между векторами электрического и магнитного полей и направлением распространения в электромагнитной волне.

Физические причины возможности распространения электромагнитного поля в виде волны обусловлены тем, что изменяющееся во времени электрическое поле  $E$  порождает магнитное поле  $B$ , а изменяющееся  $B$  – вихревое электрическое поле: обе компоненты  $E$  и  $B$ , непрерывно изменяясь, возбуждают друг друга. При ускоренном движении заряженных частиц, ЭМП «отрывается» них и существует независимо в форме электромагнитных волн, не исчезая с устранением источника (например, радиоволны не исчеза-

ют и при выключении тока в излучившей их антенне). Наряду с периодом и частотой, электромагнитную волну можно охарактеризовать пространственным параметром – длиной волны  $\lambda$ , которая характеризует расстояние, пройденное волной за время, равное периоду  $T$ . Все электромагнитные волны в свободном пространстве распространяются со скоростью света  $C$  ( $\approx 300$  тыс. км/с), поэтому для них  $\lambda = C \cdot T$ .

При излучении электромагнитных волн излучающий объект теряет энергию. Потерянную энергию, однако, можно найти в другой форме – в форме энергии электромагнитной волны. Существует важная особенность закона сохранения энергии распределенных систем (в частности – энергии электромагнитного поля). Если энергия уходит из какой-либо области, это может происходить только за счет ее вытекания через границы этой области. Это обстоятельство приводит к выводу о существовании не только плотности энергии  $W$ , но и вектора  $S$ , представляющего плотность потока энергии через поверхность. Так как векторы  $E$  и  $B$  дают полное описание электромагнитного поля, вектор потока энергии  $S$  также как и плотность энергии  $W$  должны определяться только величинами  $E$  и  $B$ . По имени ученого, определившего зависимость  $S$  от  $E$  и  $B$ :

$$S = \epsilon_0 c^2 E \cdot B ,$$

этот вектор называется вектором Пойнтинга.

Выписанное выражение для вектора  $S$  справедливо для любых электромагнитных полей. Для электромагнитной волны абсолютная величина  $S$  может быть определена через средние квадратические значения электрического и магнитного полей:

$$S = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_s^2 + \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} B_s^2 \right).$$

Приведем в заключении этого параграфа общепринятую классификацию электромагнитных волн по частотным диапазонам и по соответствующим им диапазонам длин волн.

Таблица 1.4

Наименование частотного диапазона	Частоты	Наименование волнового диапазона	Длины волн
Крайние низкие, КНЧ	3–30 Гц	Декаметровые	100–10 Мм
Сверхнизкие, СНЧ	30–300 Гц	Метровые	10–1 Мм
Инфранизкие, ИНЧ	0,3–3 кГц	Гектокилометровые	1000–100 км
Очень низкие, ОНЧ	3–30 кГц	Мириаметровые	100–10 км
Низкие частоты, НЧ	30–300 кГц	Километровые	10–1 км
Средние, СЧ	0,3–3 МГц	Гектометровые	1–0,1 км
Высокие частоты, ВЧ	3–30 МГц	Декаметровые	100–10 м
Очень высокие, ОВЧ	30–300 МГц	Метровые	10–1 м
Ультравысокие, УВЧ	0,3–3 ГГц	Дециметровые	1–0,1 м
Сверхвысокие, СВЧ	3–30 ГГц	Сантиметровые	10–1 см
Крайне высокие, КВЧ	30–300 ГГц	Миллиметровые	10–1 мм
Гипервысокие, ГВЧ	300–3000 ГГц	Децимиллиметровые	1–0,1 мм

## § 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С ВЕЩЕСТВОМ

Сочетание электрических сил и квантовомеханических эффектов определяет структуру больших количеств вещества и, следовательно, их свойства. При переходе к проблемам взаимодействия электромагнитного поля с веществом ситуация усложняется многократно по сравнению с полями в свободном пространстве. Причина этого в том, что в анализ вовлекаются такие (не всегда проработанные) дисциплины как атомная и молекулярная физика, физика конденсированного состояния вещества, статистическая физика и термодинамика и т.п. В макроскопической электродинамике принято существенно упрощать рассмотрение, разделяя все вещества на проводники и диэлектрики.

Проводник электричества – это вещество, в котором есть много «свободных» электронов. Примером могут служить металлы в твердом и жидком состояниях, жидкие растворы и расплавы электролитов. Электроны в проводнике могут двигаться свободно, но не могут покидать границ тела. Всякое электрическое поле приводит свободные электроны в движение. Возникший таким образом ток электронов должен поддерживать свое существование за счет внешних источников тока, либо движение электронов прекратится, как только они расположатся так, что повсюду внутри проводника создастся нулевое электрическое поле. Параметр, определяющий скорость перераспределения зарядов в проводнике – его электропроводность  $\sigma$ . Время перераспределения зарядов характеризуется величиной  $1/\sigma$ . Для металлов характерны значения электропроводности  $10^{16} - 10^{18} \text{ с}^{-1}$ , т.е. перераспределение зарядов происходит практически мгновенно. Для электролитов (к ним приближаются биологические жидкости и ткани живых организмов)  $\sigma \approx 10^6 - 10^8 \text{ с}^{-1}$ , т.е. перераспределение зарядов происходит за микро- и нано секунды.

Если бы внутри проводника осталось бы хоть какое-то поле, оно вынудило бы электроны двигаться; возможно только такое равновесие, когда электрическое поле в проводнике равно нулю, а сами заряды находятся на поверхности проводника, где существуют большие силы, не дающие им покинуть ее – на границе проводника электроны не вполне свободны.

В отсутствие электрического тока заряды распределены только на поверхности проводника и объемная плотность заряда внутри проводника равна нулю. Если удалить внутреннюю часть проводника, распределение зарядов не изменится. Значит заряды будут находиться только на внешней поверхности. Этим объясняется, например, почему внутри заряженной сферы поле отсутствует. Отметим, что замкнутый полый проводник экранирует только внешние заряды. Если же электрические заряды находятся внутри полости, индукционные заряды возникнут и внутри полости, и снаружи. Распределение зарядов зависит от формы проводника. В частности, на заострении плотность зарядов будет максимальна, а значит, максимальна будет и напряженность электрического поля. В углублении плотность зарядов и напряженность поля минимальны.

В диэлектриках нет свободных электронов и они не проводят электрический ток. К диэлектрикам относятся воздух, стекло, пластмассы, слюда, фарфор, сухое дерево. Можно было бы подумать, что в них вообще ничего не происходит, однако это не так. Много интересных свойств диэлектриков было обнаружено М. Фарадеом с помощью электроскопа и конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин. При внесении в электрическое поле каких-либо диэлектриков в них происходит

изменения, а именно, возникают индукционные заряды: на ближайшей к влияющему заряженному телу части диэлектрика возникают разноименные с зарядом влияющего тела, а на удаленной части диэлектрика – одноименные заряды. То есть на первоначально незаряженном диэлектрике в электрическом поле возникают электрические заряды, появляются электрические полюсы. Это явление получило название поляризации диэлектриков.

Много усилий было затрачено на то, чтобы понять – почему вообще возникает электрический эффект, если диэлектрики не проводят электрический ток? Что происходит с зарядами в твердом теле? На эти вопросы трудно ответить, потому что даже не вполне ясно, о каких зарядах идет речь.

В некоторых диэлектриках внутримолекулярные заряды расположены симметрично, так, что их центр положительно заряженного ядра совпадает с центром отрицательного заряда электронной оболочки. В электрическом поле центр электрического заряда электронной оболочки смещается относительно положительно заряженного ядра, так как силы, приложенные к ядру и оболочке, противоположно направлены. В результате смещения центра отрицательного заряда относительно центра положительного заряда атом становится диполем. Есть диэлектрики ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_2$  и прочие другие), молекулы которых являются электрическим диполем. Эти молекулы и образованные ими диэлектрики называются полярными. При отсутствии внешнего поля молекулярные диполи расположены хаотично. При внесении полярного диэлектрика в электрическое поле происходит поворот их молекулярных диполей в таком направлении, чтобы их оси совпадали с направлением линий напряженности. Такой механизм поляризации называется электрической поляризацией и является универсальным, поскольку смещение электронных оболочек происходит в атомах, молекулах или ионах любого диэлектрика.

Ткани живых организмов (человека – в том числе) занимают промежуточное положение между идеальными проводниками и идеальными диэлектриками. В зависимости от характеристик электромагнитного поля они ведут себя либо преимущественно как проводники, либо как диэлектрики. Например, если электрическое поле меняется с характерным временем  $\tau$ , то описанный выше механизм экранирования внешнего электрического поля внутри проводников будет эффективным, если  $\sigma \cdot \tau < 1$ . Соответственно, с этой точки зрения электрическое поле можно считать статическим вплоть до частот 10–100 МГц.

Для магнитных и высокочастотных электромагнитных полей также существует эффективный механизм экранирования, называемый скин-эффектом. Скин-эффект наблюдается как неоднородность наведенного переменного тока по сечению проводника – ток течет в основном в узком приповерхностном слое проводника и практически отсутствует в глубине. Толщина  $\delta$  этого слоя определяется выражением

$$\delta = c / \sqrt{2\pi\sigma\omega} .$$

Например, для биологических тканей ( $\sigma \approx 10^8 \text{ с}^{-1}$ ) и частот в диапазоне 10–100 МГц, величина  $\delta$  составляет  $\approx 1$  м, т.е. сравнима с размером человеческого тела. Поля с большей частотой не проникают в глубь тела – они экранируются токами в поверхностном слое тела.

Магнитные поля с частотами ниже 10–100 МГц (метровые и более длинные волны, согласно классификации таблицы 1.4.) проникают в организм и наводят в тканях электрические токи. Параметром, определяющим биологический эффект воздействия полей на организм, является плотность  $j$  наведенного тока. Эту величину можно оценить из соотношения  $j = L\sigma\omega B/c$ . Здесь  $L$  – характерный размер тела (50–200 см). Как видно из этой формулы, биологический эффект поля растет с ростом амплитуды и частоты осцилляций поля.

Поглощение энергии электромагнитных волн в тканях определяется главным образом двумя процессами – колебаниями свободных зарядов и дипольных моментов с частотой воздействующего поля. И тот и другой эффекты растут вместе с потоком энергии электромагнитной волны, падающим на тело.

Первичные механизмы действия поглощенной энергии на молекулярном, субклеточном, клеточном уровнях изучены слабо. Одним из проявлений взаимодействия ЭМП с веществом вообще и с биологическими структурами, в частности, является их нагрев. При этом распределение тепла может иметь неравномерный характер и приводить к появлению «горячих точек» при общем незначительном нагреве тканей. Имеются данные о влиянии ЭМИ на клеточные мембраны, структуру белков, электрическую активность нейронов. Эти эффекты не всегда могут быть интерпретированы как чисто тепловое воздействие поля.

По отношению к магнитному полю можно выделить класс веществ, которые в магнитном поле намагничиваются, то есть сами становятся источниками магнитного поля. Такие вещества называют магнетиками. С точки зрения биологического действия магнитного поля эти эффекты не очень интересны, так как большинство биологических объектов не обладает свойствами магнетиков. Для полноты картины остановимся кратко на атомно-молекулярной картине процессов в магнетиках.

Механизм намагничивания следующий: в веществе есть элементарные токи (замкнутые токи в пределах каждого атома), которые в обычных условиях ориентированы хаотически, так что результирующий магнитный момент равен нулю. Под действием внешнего магнитного поля эти магнитные моменты ориентируются в одном направлении, и их векторная сумма становится отлична от нуля. По своим магнитным свойствам магнетика делятся на диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные. В общих чертах природа этих различий в следующем.

Электроны в оболочке атомов вещества движутся по различным орбитам. Для упрощения можно считать эти орбиты круговыми, и каждый электрон, обращающийся вокруг атомного ядра, можно рассматривать как круговой электрический ток. Каждый электрон, как круговой ток, создает магнитное поле, которое называется орбитальным. Кроме того, у электрона в атоме есть собственное магнитное поле, называемое спиновым.

Если при внесении во внешнее магнитное поле с индукцией  $B_0$  внутри вещества создается индукция  $B < B_0$ , то такие вещества называются диамагнитными. В диамагнитных материалах при отсутствии внешнего магнитного поля магнитные поля электронов скомпенсированы, и при внесении их в магнитное поле индукция магнитного поля атома становится направленной против внешнего поля. Диамагнетик выталкивается из внешнего магнитного поля.

У парамагнитных материалов магнитная индукция электронов в атомах полностью не скомпенсирована, и атом в целом оказывается подобен маленькому посто-

янному магниту. Обычно в веществе все эти маленькие магниты ориентированы произвольно, и суммарная магнитная индукция всех их полей равна нулю. Если поместить парамагнетик во внешнее магнитное поле, то все маленькие магниты-атомы повернутся во внешнем магнитном поле подобно стрелкам компаса и магнитное поле в веществе усиливается.

В ферромагнитных материалах создаются так называемые домены – макроскопические области самопроизвольного намагничивания. В разных доменах индукции магнитных полей имеют различные направления и в большом кристалле взаимно компенсируют друг друга. При внесении ферромагнитного образца во внешнее магнитное поле происходит смещение границ отдельных доменов так, что объем доменов, ориентированных по внешнему полю, увеличивается.

### § 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В этом разделе будет дано краткое описание полей источников, с которыми наиболее часто сталкиваются люди в быту и на производстве.

#### Энергетика и транспорт

Провода работающей линии электропередачи создают в прилегающем пространстве электрическое и магнитное поля промышленной частоты (50 Гц). Расстояние, на которое распространяются эти поля от проводов линии, достигает десятков метров. Размеры зоны, опасной из-за большой величины электрического поля, зависят от класса напряжения ЛЭП (цифра, обозначающая класс напряжения, стоит в названии ЛЭП – например ЛЭП 220 кВ), чем выше напряжение – тем больше зона повышенного уровня электрического поля, при этом размеры зоны не изменяются в течение времени работы ЛЭП.

Предельная величина электрического поля ЛЭП, постоянное воздействие которого на население признается безопасным, принята равной 1 кВ/м. До таких значений электрическое поле спадает на расстояниях, приведенных в таблице 1.5.

Таблица 1.5  
Границы санитарно-защитных зон для ЛЭП согласно СН № 2971-84

Напряжение ЛЭП	330 кВ	500 кВ	750 кВ	1150 кВ
Размер санитарно-защитной (охранной) зоны	20 м	30 м	40 м	55 м

Размеры зоны, опасной из-за большой величины магнитного поля, зависят от величины протекающего тока или от нагрузки линии. Поскольку нагрузка ЛЭП может неоднократно изменяться как в течение суток, так и с изменением сезонов года, размеры зоны повышенного уровня магнитного поля также меняются. Несмотря на то, что магнитное поле во всем мире сейчас считается наиболее опасным для здоровья, предельно допустимая величина магнитного поля для населения в России не нормируется. На основании массовых эпидемиологических обследований населения, проживающего в условиях облучения магнитными полями ЛЭП, в качестве безопасного или «нормального» уровня для условий продолжительного облучения, не приводящего к онкологическим

заболеваниям, независимо друг от друга шведскими и американскими специалистами рекомендована величина плотности потока магнитной индукции 0,2 – 0,3 мкТл.

В производственных условиях источником электрического и магнитного поля может быть силовое и электрораспределительное оборудование, трансформаторы, электропечи и т.п. Все они, как правило, паспортизированы по уровням создаваемых электромагнитных полей.

Транспорт на электрической тяге – электропоезда (в том числе поезда метрополитена), троллейбусы, трамваи и т. п. – является мощным источником магнитного поля в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц. Максимальные значения магнитного поля В в пригородных электропоездах достигают 75 мкТл при среднем значении 20 мкТл. Среднее значение В на транспорте с электроприводом постоянного тока зафиксировано на уровне 29 мкТл. Типичный результат долговременных измерений уровней магнитного поля, генерируемого железнодорожным транспортом на удалении 12 м от полотна, приведен на рисунке 1.8. Обращает на себя внимание высокая вариабельность результатов – они меняются более чем в десять раз за время единицы минут. Это вообще характерная ситуация для электромагнитного поля, серьезно затрудняющая его нормирование – при достаточно длительном наблюдении можно всегда зафиксировать поля превосходящие любую разумную гигиеническую норму, в то же время всегда можно выбрать момент, когда поле будет ниже нормы даже в неблагоприятных санитарно-гигиенических условиях. Этот вопрос будет подробнее освещен позже при обсуждении общих принципов нормирования полей.

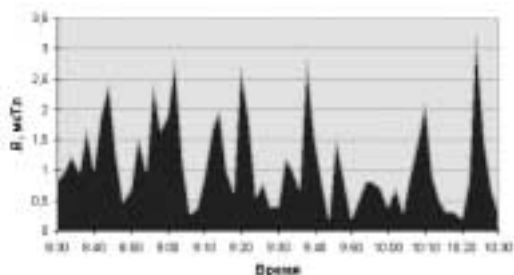


Рисунок 1.8. Магнитное поле вблизи полотна электрифицированной железной дороги

## Жилище и быт

Наибольший вклад в уровень электромагнитных полей в диапазоне промышленной частоты 50 Гц в жилых помещениях вносит электротехническое оборудование здания, а именно кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам и другим потребителям в здании, а также распределительные щиты и трансформаторы. В помещениях, смежных с этими источниками, обычно повышен уровень магнитного поля промышленной частоты, вызываемый сильными электрическими токами. Уровень электрического поля промышленной частоты при этом обычно не высокий и не превышает ПДУ для населения 500 В/м.

Все бытовые приборы, работающие с использованием электрического тока, являются источниками электромагнитных полей. Наиболее мощными следует признать СВЧ-печи, аэрогрили, холодильники с системой «без инея», кухонные вытяжки, электроплиты, телевизоры. Реально создаваемое ЭМП в зависимости от конкретной модели и режима работы может сильно различаться среди оборудования одного типа. В таблице 1.6 представлены данные о расстоянии, на котором фиксируется магнитное поле промышленной частоты (50 Гц) величиной 0,2 мкТл при работе ряда бытовых приборов. Значения магнитного поля тесно связаны с мощностью прибора – чем она выше, тем выше магнитное поле при его работе.

Таблица 1.6

Магнитное поле промышленной частоты от бытовых электрических приборов (выше уровня 0,2 мкТл)

Источник	Расстояние, на котором фиксируется величина больше 0,2 мкТл
Холодильник, оснащенный системой «No frost» (во время работы компрессора)	1,2 м от дверцы; 1,4 м от задней стенки
Холодильник обычный (во время работы компрессора)	0,1 м от мотора
Утюг (режим нагрева)	0,25 м от ручки
Телевизор 14"	1,1 м от экрана; 1,2 м от боковой стенки.
Электрорадиатор	0,3 м
Торшер с двумя лампами по 75 Вт	0,03 м (от провода)
Электродуховка	0,4 м от передней стенки
Аэрогриль	1,4 м от боковой стенки

Значения электрического поля промышленной частоты практически всех электробытовых приборов не превышают нескольких десятков В/м на расстоянии 0,5 м, что значительно меньше ПДУ 500 В/м.

Отдельно следует остановиться на бытовых микроволновых печах, т.к. они являются источником электромагнитных полей сложного спектрального состава, включая электромагнитное поле, называемое микроволновым (или СВЧ) излучением. Рабочая частота СВЧ-излучения микроволновых печей составляет 2,45 ГГц. Это излучение представляет собой серьезную опасность из-за большой мощности и высокой эффективности взаимодействия его с тканями организма. Однако современные микроволновые печи оборудованы достаточно совершенной защитой, которая не дает электромагнитному полю выходить за пределы рабочего объема. Вместе с тем, нельзя полагать, что поле совершенно не проникает сквозь защиту микроволновой печи. По разным причинам часть электромагнитного поля, предназначенного для разогрева продуктов, проникает наружу, особенно интенсивно, как правило, в районе правого нижнего угла дверцы.

Для обеспечения безопасности при использовании печей в быту в России действуют санитарные нормы, ограничивающие предельную величину утечки СВЧ-излучения микроволновой печи. Они сформулированы в документе [3]. Согласно этим санитарным

нормам, величина плотности потока энергии электромагнитного поля не должна превышать  $10 \text{ мкВт/см}^2$  на расстоянии 50 см от любой точки корпуса печи при нагреве 1 литра воды. Практически все новые современные микроволновые печи выдерживают это требование с большим запасом. Надо помнить однако, что со временем степень защиты может снижаться, в основном из-за появления микротрещин в уплотнении дверцы. Это может происходить как из-за попадания грязи, так и из-за механических повреждений. Поэтому дверца и ее уплотнение требует аккуратности в обращении и тщательного ухода. Срок гарантированной стойкости защиты от утечек электромагнитного поля при нормальной эксплуатации – несколько лет. Через 5-6 лет эксплуатации целесообразно проверить качество защиты, для чего пригласить специалиста из специально аккредитованной лаборатории по контролю электромагнитного поля.

Кроме СВЧ-излучения работу микроволновой печи сопровождает излучение интенсивного магнитного поля, создаваемое током промышленной частоты 50 Гц, протекающим в системе электропитания печи. По этому показателю микроволновая печь является одним из наиболее мощных источников магнитного поля в квартире. Для населения уровень магнитного поля промышленной частоты в нашей стране до сих пор не ограничен несмотря на его существенное действие на организм человека при продолжительном облучении. В бытовых условиях однократное кратковременное включение (на несколько минут) не окажет существенного влияния на здоровье человека. Однако, если бытовая микроволновая печь используется для разогрева пищи в кафе и в сходных других производственных условиях, то работник попадает в ситуацию хронического облучения магнитным полем промышленной частоты. В таком случае на рабочем месте необходим обязательный контроль магнитного поля промышленной частоты и СВЧ-излучения.

### Радио (связь, вещание, локация)

На территории населенных пунктов в настоящее время размещается значительное количество передающих радиостанций различной принадлежности. Передающие радиостанции (ПРЦ) размещаются в специально отведенных для них зонах и могут занимать довольно большие территории (до 1000 га). По своей структуре они включают в себя одно или несколько технических зданий, где находятся радиопередатчики, и антенные поля, на которых располагаются до нескольких десятков антенно-фидерных систем (АФС). АФС включает в себя антенну, служащую для излучения радиоволн, и фидерную линию, подводящую к ней высокочастотную энергию, генерируемую передатчиком.

Зону возможного неблагоприятного действия ЭМП, создаваемых ПРЦ, можно условно разделить на две части. Первая часть зоны – это собственно территория ПРЦ, где размещены все службы, обеспечивающие работу радиопередатчиков и АФС. Это территория охраняется и на нее допускаются только лица, профессионально связанные с обслуживанием передатчиков, коммутаторов и АФС. Вторая часть зоны – это прилегающие к ПРЦ территории, доступ на которые не ограничен и где могут размещаться различные жилые постройки, в этом случае возникает угроза облучения населения, находящегося в этой части зоны.

Расположение РНЦ может быть различным, например, в Москве и Московской области характерно размещение в непосредственной близости или среди жилой застройки. Высокие уровни ЭМП наблюдаются на территориях, а нередко и за пределами

размещения передающих радиостанций низкой, средней и высокой частоты (ПРЦ НЧ, СЧ и ВЧ). Детальный анализ электромагнитной обстановки на территориях ПРЦ свидетельствует о ее крайней сложности, связанной с индивидуальным характером интенсивности и распределения ЭМП для каждого радиостанции. В связи с этим специальные исследования такого рода проводятся для каждого отдельного ПРЦ.

Широко распространенными источниками ЭМП в населенных местах в настоящее время являются радиотехнические передающие центры (РТПЦ), излучающие в окружающую среду ультракороткие волны ОВЧ и УВЧ-диапазонов. Сравнительный анализ санитарно-защитных зон (СЗЗ) и зон ограничения застройки в зоне действия таких объектов показал, что наибольшие уровни облучения людей и окружающей среды наблюдаются в районе размещения РТПЦ «старой постройки» с высотой антенной опоры не более 180 м. Наибольший вклад в суммарную интенсивность воздействия вносят «угловые» трех- и шестиконные антенны ОВЧ ЧМ-вещания.

Каждый радиопередающий объект имеет Санитарный паспорт, в котором определены границы санитарно-защитной зоны. Только при наличии этого документа территориальные органы Госсанэпиднадзора разрешают эксплуатировать радиопередающие объекты. Периодически они производят инструментальный контроль электромагнитной обстановки на предмет ее соответствия установленным ПДУ.

В диапазоне частот 30–300 кГц (длинные волны) длина волны относительно большая (например, 2000 м для частоты 150 кГц). На расстоянии одной длины волны или меньше от антенны поле может быть достаточно большим, например, на расстоянии 30 м от антенны передатчика мощностью 500 кВт, работающего на частоте 145 кГц, электрическое поле может быть выше 630 В/м, а магнитное выше 1,2 А/м.

Для радиостанций СВ диапазона (частоты 300 кГц–3 МГц) на расстоянии 30 м от антенны напряженность электрического поля может достигать 275 В/м. При удалении от антенны поле падает, так что на расстоянии 100 м поле 25 В/м, а на расстоянии 200 м поле 10 В/м (приведены данные для передатчика мощностью 50 кВт).

Передатчики радиостанций КВ диапазона (частоты 3–30 МГц) имеют обычно меньшую мощность. Однако они чаще размещаются в городах, могут быть размещены даже на крышах жилых зданий на высоте 10–100 м. Передатчик мощностью 100 кВт на расстоянии 100 м может создавать напряженность электрического поля 44 В/м и магнитного поля 0,12 мкТл.

Телевизионные передатчики располагаются, как правило, в городах. Передающие антенны размещаются обычно на высоте выше 110 м. С точки зрения оценки влияния на здоровье опасность представляют уровни поля на расстоянии от нескольких десятков метров до нескольких километров. Типичные значения напряженности электрического поля могут достигать 15 В/м на расстоянии 1 км от передатчика мощностью 1 МВт. В России в настоящее время проблема оценки уровня ЭМП телевизионных передатчиков особенно актуальна в связи с резким ростом числа телевизионных каналов и передающих станций.

Системы спутниковой связи состоят из приемопередающей станции на Земле и спутника, находящегося на орбите. Диаграмма направленности антенны станций спутниковой связи имеет ярко выраженный узконаправленный основной луч – главный лепесток. Плотность потока энергии (ППЭ) в главном лепестке диаграммы направленности может достигать нескольких сотен Вт/м<sup>2</sup> вблизи антенны, создавая также значительные уровни поля на большом удалении. Например, станция мощностью 225 кВт,



работающая на частоте 2,38 ГГц, создает на расстоянии 100 км ППЭ равное 2,8 Вт/м<sup>2</sup>. Однако рассеяние энергии от основного луча очень небольшое и происходит больше всего в районе размещения антенны. На поверхности земли потоки энергии значительно меньше. Типичный расчетный график распределения ППЭ на высоте 2 м от поверхности земли в районе размещения антенны спутниковой связи приведен на рисунке 1.9. Параметры антенны:

- Мощность передатчика 130 Вт
- Высота антенны 5 м

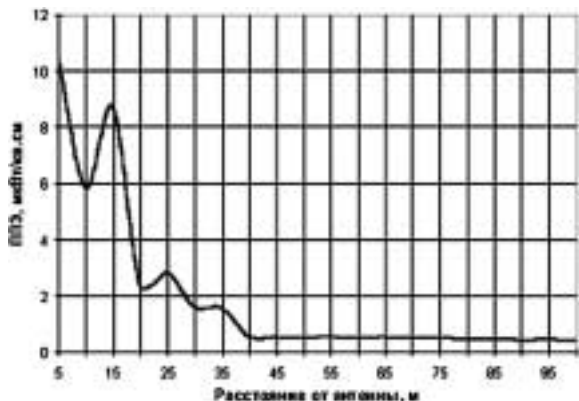


Рисунок 1.9. График распределения плотности потока электромагнитного поля на высоте 2 м от поверхности земли в районе установки антенны спутниковой связи

Радиолокационные станции оснащены, как правило, антеннами зеркального типа и имеют узконаправленную диаграмму излучения в виде луча, направленного вдоль оптической оси.

Радиолокационные системы работают на частотах от 500 МГц до 15 ГГц, однако отдельные системы могут работать на частотах до 100 ГГц. Создаваемый ими ЭМ-сигнал принципиально отличается от излучения иных источников. Связано это с тем, что периодическое перемещение антенны в пространстве приводит к пространственной прерывистости облучения. Временная прерывистость облучения обусловлена цикличностью работы радиолокатора на излучение. Время наработки в различных режимах работы радиотехнических средств может исчисляться от нескольких часов до суток. Так у метеорологических радиолокаторов с временной прерывистостью 30 мин излучение, 30 мин пауза суммарная наработка не превышает 12 ч, в то время как радиолокационные станции аэропортов в большинстве случаев работают круглосуточно. Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости обычно составляет несколько градусов, а длительность облучения за период обзора составляет десятки миллисекунд.

Радары метеорологические могут создавать на удалении 1 км ППЭ  $\approx 100$  Вт/м<sup>2</sup> за каждый цикл облучения. Радиолокационные станции аэропортов создают ППЭ  $\approx 0,5$  Вт/м<sup>2</sup> на расстоянии 60 м. Морское радиолокационное оборудование устанавливается на всех кораблях, обычно оно имеет мощность передатчика на порядок меньшую, чем у аэрод-

ромных радаров, поэтому в обычном режиме сканирование ППЭ, создаваемое на расстоянии нескольких метров, не превышает 10 Вт/м<sup>2</sup>.

Возрастание мощности радиолокаторов различного назначения и использование остронаправленных антенн кругового обзора приводит к значительному увеличению интенсивности ЭМИ СВЧ-диапазона и создает на местности зоны большой протяженности с высокой плотностью потока энергии. Наиболее неблагоприятные условия отмечаются в жилых районах городов, в черте которых размещаются аэропорты.

Наиболее интенсивно развивающейся телекоммуникационной системой является сегодня сотовая радиотелефония. До начала 60-х годов использовалась «радиовещательная модель» передвижной радиосвязи с передатчиком большой мощности, расположенном на возвышении и передающим сигналы на большую площадь. Основными элементами системы сотовой связи являются сравнительно маломощные базовые станции (БС), поддерживающие радиосвязь с мобильными радиотелефонами в пределах небольшой зоны, радиусом 0,5–10 км, называемой «сотой». БС являются источниками электромагнитного излучения в УВЧ диапазоне, однако, небольшая мощность используемых передатчиков делает эту систему безопасной для населения. Важной особенностью системы сотовой радиосвязи является весьма эффективное использование выделяемого для работы системы радиочастотного спектра (многократное использование одних и тех же частот, применение различных методов доступа), что делает возможным обеспечение телефонной связью значительного числа абонентов.

Некоторые технические характеристики действующих в настоящее время в России стандартов системы сотовой радиосвязи приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Краткие технические характеристики стандартов системы сотовой радиосвязи, действующих в России

Наименование стандарта	Диапазон рабочих частот БС	Диапазон рабочих частот МРТ	Максимальная излучаемая мощность БС	Максимальная излучаемая мощность МРТ	Радиус «соты»
NMT-450 аналоговый	463–467,5 МГц	453–457,5 МГц	100 Вт	1 Вт	1–40 км
AMPS аналоговый	869–894 МГц	824–849 МГц	100 Вт	0,6 Вт	2–20 км
D-AMPS (IS-136) цифровой	869–894 МГц	824–849 МГц	50 Вт	0,2 Вт	0,5–20 км
CDMA цифровой	869–894 МГц	824–849 МГц	100 Вт	0,6 Вт	2–40 км
GSM-900 цифровой	925–965 МГц	890–915 МГц	40 Вт	0,25 Вт	0,5–35 км
GSM-1800 (DCS) цифровой	1805–1880 МГц	1710–1785 МГц	20 Вт	0,125 Вт	0,5–35 км

Уровни электромагнитного излучения, создаваемые объектами системы сотовой связи, нормируются в России в соответствии с [5] (см. таблицу 1.8).

Таблица 1.8

Временно допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи (для населения)

Категория облучения	Величина ВДУ ЭМИ	Примечание
Облучение населения, проживающего на прилегающей селитебной территории, от антенн базовых станций	$ППЭ_{\text{н}} = 10 \text{ мкВт/см}^2$	
Облучение пользователей радиотелефонов	$ППЭ_{\text{чл}} = 100 \text{ мкВт/см}^2$	Условия измерения: Измерения ППЭ следует производить на расстоянии от источника ЭМИ, соответствующего расположению головы человека, подвергающегося облучению.

Базовые станции поддерживают связь с находящимися в их зоне действия мобильными радиотелефонами и работают в режиме приема и передачи сигнала. В зависимости от стандарта, БС излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 463 до 1880 МГц.

Антенны БС устанавливаются на высоте 15–100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах промышленных предприятий и т. д.) или на специально сооруженных мачтах. Среди установленных в одном месте антенн БС имеются как передающие (или приемопередающие), так и приемные антенны, которые не являются источниками ЭМП.

К выбору места размещения антенн БС с точки зрения санитарно-гигиенического надзора не предъявляется никаких иных требований, кроме соответствия интенсивности электромагнитного излучения значениям предельно допустимых уровней, установленных в документе [4], в местах, определенных этими Санитарными правилами и нормами.

Исходя из технологических требований построения системы сотовой связи, диаграмма направленности антенн в вертикальной плоскости рассчитана таким образом, что основная энергия излучения (более 90%) сосредоточена в довольно узком «луче» (рисунок 1.10). Он всегда направлен в сторону от сооружений, на которых находятся антенны БС, и выше прилегающих построек, что является необходимым условием для нормального функционирования системы.



Рисунок 1.10. Распределение энергии излучения антенны БС

БС являются видом передающих радиотехнических объектов, мощность излучения которых (загрузка) не является постоянной 24 часа в сутки. Загрузка определяется наличием владельцев сотовых телефонов в зоне обслуживания конкретной базовой станции и их желанием воспользоваться телефоном для разговора, что, в свою очередь, коренным образом зависит от времени суток, места расположения БС, дня недели и др. В ночные часы загрузка БС практически равна нулю, т. е. станции в основном «молчат». Типичные графики суточной загрузки БС, расположенных в центре Москвы, в районе массовой жилой застройки и в Московской области в рабочие дни представлены на рисунке 1.11.

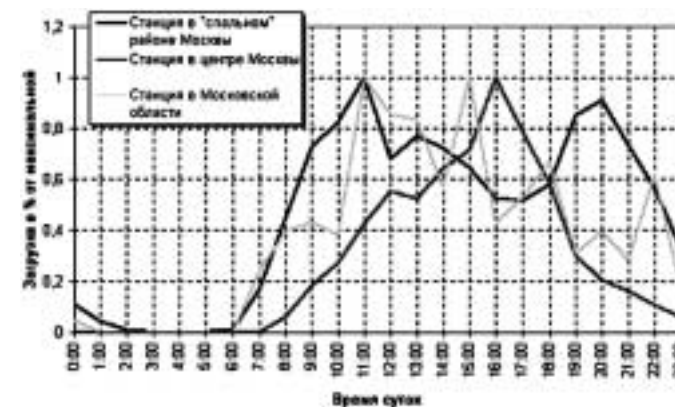


Рисунок 1.11. График суточной загрузки БС

Исследования электромагнитной обстановки на территории, прилегающей к БС, были проведены специалистами разных стран, в том числе Швеции, Венгрии и России. По результатам измерений, проведенных в Москве и Московской области, можно констатировать, что в 100% случаев электромагнитная обстановка в помещениях зданий, на которых установлены антенны БС, не отличалась от фоновой, характерной для данного района в данном диапазоне частот. На прилегающей территории в 91% случаев зафиксированные

уровни электромагнитного поля были в 50 раз меньше ПДУ, установленного для БС. Максимальное значение при измерениях, меньшее ПДУ в 10 раз, было зафиксировано вблизи здания на котором установлено сразу три базовые станции разных стандартов.

Имеющиеся научные данные и существующая система санитарно-гигиенического контроля при введении в эксплуатацию базовых станций сотовой связи позволяют отнести базовые станции сотовой связи к наиболее экологически и санитарно-гигиенически безопасным системам связи.

### Оргтехника (компьютеры, видеодисплейные терминалы)

Основным источником неблагоприятного воздействия на здоровье пользователя компьютера является средство визуального отображения информации на электронно-лучевой трубке. Ниже перечислены основные факторы его неблагоприятного воздействия.

Излучательные характеристики монитора:

- электромагнитное поле монитора в диапазоне частот 20 Гц–1000 МГц;
- статический электрический заряд на экране монитора;
- ультрафиолетовое излучение в диапазоне 200–400 нм;
- инфракрасное излучение в диапазоне 1050 нм–1 мм;
- рентгеновское излучение > 1,2 кэВ.

Составляющими частями персонального компьютера являются: системный блок и разнообразные устройства ввода/вывода информации: клавиатура, дисковые накопители, принтер, сканер, и т. п. Каждый персональный компьютер включает средство визуального отображения информации называемое по-разному: монитор, дисплей. Как правило, в его основе устройство на основе электронно-лучевой трубки. ПК часто оснащают сетевыми фильтрами (например, типа «Pilot»), источниками бесперебойного питания и другим вспомогательным электрооборудованием. Все эти элементы при работе ПК формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя (см. таблицу 1.9).

Таблица 1.9

ПК как источник ЭМП

Источник	Диапазон частот (первая гармоника)
Монитор	50 Гц
сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20–100 кГц
блок кадровой развертки и синхронизации	48–160 Гц
блок строчной развертки и синхронизации	15 110 кГц
ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ)	0 Гц (электростатика)
Системный блок (процессор)	50 Гц–1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20–100 кГц

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц. Электромагнитное поле имеет электрическую (E) и магнитную (H) составляющие, причем взаимосвязь их достаточно сложна, поэтому оценка E и H производится отдельно. Пример спектральной характеристики ПК в диапазоне 10 Гц+400 кГц приведен на рисунке 1.12.

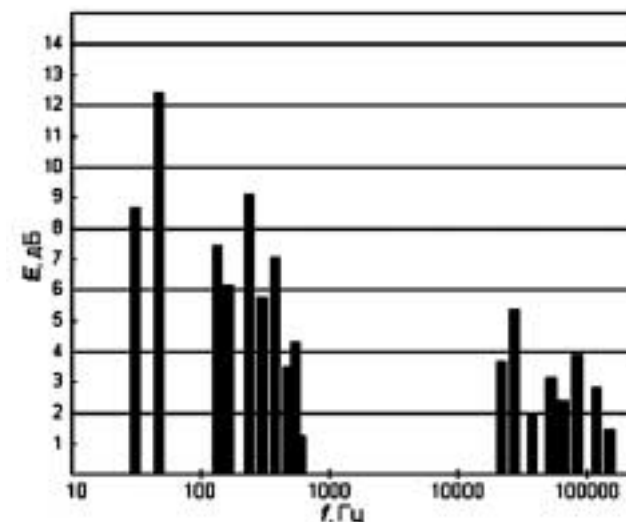


Рисунок 1.12. Спектральная характеристика излучения монитора в диапазоне 10 Гц–400 кГц

В 1998 году Северо-западным научным центром гигиены и общественного здоровья Министерства Здравоохранения выполнена работа по контролю соответствия уровней ЭМП на рабочем месте пользователя требованиям гигиенических норм РФ. Данные о зафиксированных значениях поля при обследовании более 120 рабочих мест пользователей ПК приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10

Диапазон значений электромагнитных полей, измеренных на рабочих местах пользователей ПК

Наименование измеряемых параметров	Диапазон частот 5 Гц–2 кГц	Диапазон частот 2–400 кГц
Напряженность переменного электрического поля, (В/м)	1,0–35,0	0,1–1,1
Индукция переменного магнитного поля, (нТл)	6,0–770,0	1,0–32,0

Шведский институт защиты от излучений, со-разработчик спецификаций стандарта безопасности MPR II, в своем отчете приводит результаты измерений электромагнитного поля 150 моделей мониторов (см. таблицу 1.11).

Таблица 1.11

Максимальные и средние величины электромагнитного излучения ВДТ  
(по данным Шведского института защиты от излучений)

Расстояние	Среднее значение		Максимальное значение			
	0,5 м	0,3 м	0,5 м	0,3 м	0,5 м	0,3 м
Направление излучения	по оси	вокруг	по оси	вокруг	по оси	по оси
Вид поля, диапазон частот, единица измерения						
магнитное поле, 5Гц–2кГц, нТл	<200	<200	<200	260	500	730
магнитное поле, 2–400 кГц, нТл	<10	13	#	52	52	#
электрическое поле, 5Гц–2кГц, В/м	<10	#	17	74	#	152
электрическое поле, 2–400 кГц, В/м	1,7	1,9	4,2	12	12	32
электростатический потенциал, В	500	500	500	19900	19000	19000

Наличие в помещении нескольких компьютеров со вспомогательной аппаратурой и системой электропитания создает сложную картину электромагнитного поля. Рисунок 1.13 иллюстрирует типичный пример распределение магнитного поля промышленной частоты в помещении компьютерного зала.

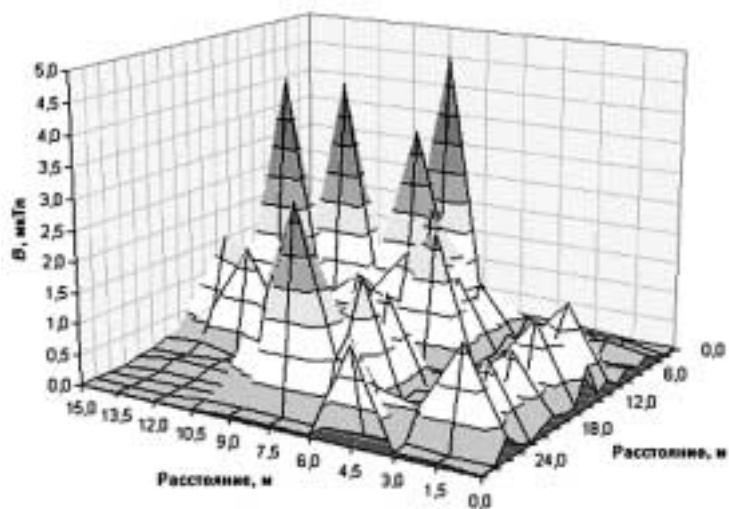


Рисунок 1.13. Пример типичного распределения магнитного поля в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц в помещении, оснащенном компьютерами

Очевидно, что электромагнитная обстановка в помещениях с компьютерами крайне сложная, распределение полей неравномерное, а уровни достаточно высоки, чтобы говорить об опасности их биологического действия.

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

(1) Электромагнитное поле (ЭМП) имеет сложную структуру – это тензорное поле. Его можно описать двумя векторами – напряженностью электрического поля  $E$  и индукцией магнитного поля  $B$ , однако следует иметь в виду, что электричество и магнетизм – не независимые характеристики поля, они всегда должны рассматриваться в совокупности, как одно электромагнитное поле.

Структура ЭМП характеризуется разнообразными параметрами, среди которых основные:

- интенсивность ЭМП (величина векторов  $E$  и  $B$ ),
- характер пространственно-временной зависимости (однородное, меняющееся периодически, гармонически, случайно, шумоподобно),
- пространственно-временные масштабы изменения (длина волн, частота, длины корреляции),
- модуляция гармонически меняющихся полей,
- поляризация ЭМП (линейная, круговая, эллиптическая),

Сочетание вышеперечисленных параметров может давать существенно различающиеся эффекты взаимодействия ЭМП с веществом и биологическими объектами.

(2) В быту и на производстве человек в основном сталкивается с полями техногенной природы. Искусственные источники ЭМП можно разделить на встречающиеся в окружающей среде, дома и на рабочем месте. Наиболее интенсивны поля промышленной частоты, излучаемые силовыми линиями электропередач, силовыми кабелями, распределительными устройствами и т.п. Разделение полей радиочастотного диапазона по месту, где человек может быть ими облучен, характеризуется следующими особенностями.

**Окружающая среда.** Большинство полей радиочастотного диапазона, существующих в окружающей среде, связаны с радио и телевизионным вещанием, а также средствами телекоммуникационной связи. Поля радиочастотного диапазона, связанные с телекоммуникационным оборудованием, обычно слабее, чем связанные с радио или телевизионным вещанием. В крупных городах средние фоновые уровни потоков энергии полей радиочастотного диапазона составляют около 50 мкВт/м<sup>2</sup>. Около 1% людей, живущих в крупных городах, подвергаются облучению полями радиочастотного диапазона с потоком энергии выше 10 мВт/м<sup>2</sup>. Поля радиочастотного диапазона большей напряженности могут наблюдаться вблизи передающих устройств или радарных систем.

**Домашнее окружение.** К источникам полей радиочастотного диапазона в домашних условиях относятся микроволновые печи, мобильные телефоны, охранная сигнализация, видео дисплеи и телевизионные приемники. Микроволновые печи, которые потенциально могли бы быть источником очень высокоинтенсивных полей радиочастотного диапазона, соответствуют стандартам характеристик электроприборов, которые ограничивают объем утечки волн СВЧ-диапазона. В целом, фоновый уровень полей радиочастотного диапазона, образуемых бытовыми приборами, низок и не превышает нескольких десятков мкВт/м<sup>2</sup>.

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Большая часть комплекса взаимосвязанных биофизических и биохимических процессов, образующих то, что обозначается понятием «жизнь», сопряжена с разделением, переносом и рекомбинацией электрических зарядов в тканях и органах живого организма. Среди многочисленных и разнообразных проявлений жизнедеятельности генерация электрических потенциалов и токов занимает особое положение. Общеизвестно, что, являясь следствием физико-химических процессов обмена веществ в организме, сопровождая все основные жизненные функции, электрические потенциалы и токи являются надежными, универсальными, точными показателями протекания любых физиологических процессов в организме. Это подтверждается, в частности, тем, какую важную роль играют в настоящее время электрофизиологические (ЭЭГ, ЭКГ и пр.) исследования как одно из основных средств для диагностики патологии в практической медицине. Отсюда можно сделать почти очевидный вывод о том, что важным фактором, влияющим на протекание жизненных процессов, является взаимодействие биообъектов с электромагнитными полями.

Это обстоятельство определило рост интереса к действию ЭМП на живые организмы и, главным образом, на состояние человека, который наблюдался на протяжении всего XX века. Всерьез этой проблемой занялись гигиенисты и врачи-эпидемиологи в середине века, когда ЭМП стали составной частью промышленных условий работы на производствах, где используется индукционный нагрев материалов, на предприятиях связи, в физиотерапевтических кабинетах, в лабораториях научно-исследовательских учреждений. Было установлено, что работа в условиях воздействия ЭМП (практически всех частотных диапазонов) может вызывать функциональные расстройства нервной и сердечно-сосудистой систем. Они проявляются в астеническом симптомокомплексе, сосудисто-вегетативных нарушениях различной степени выраженности, преимущественно ваготонической направленности (гипотония, брадикардия, изменения проводимости сердца), в стойких изменениях периферической крови, выражающихся в наклонности к цитопении (умеренная лейкопения, тромбоцитопения), относительно лимфоцитозу и ретикулоцитозу в изменениях белкового состава и гистамина крови, в усилении активности тиреоидной ткани без клинических признаков гиперфункции щитовидной железы. Отмечено повышение порога чувствительности некоторых анализаторов.

Клинический синдром хронического воздействия ЭМП представлен тремя стадиями: начальной, умеренно выраженной, выраженной. Первые две стадии характеризуются симптомокомплексом астенического состояния, сочетающимся с сосудисто-вегетативными сдвигами ваготонической направленности; при этом процесс носит обратимый характер. Длительное и интенсивное облучение, особенно в СВЧ-диапазоне, может привести к резким колебаниям сосудистого тонуса и дисэнцефальному синдрому. Эти изменения могут вызвать стойкое снижение трудоспособности. Несмотря на одинаковую направленность изменений в условиях хронического воздействия ЭМП, значительно чаще встречаются и более выражены сдвиги у работающих в условиях воздействия СВЧ-излучения. В дополнение к перечисленному выше, СВЧ-облучение может вызвать начальные морфологические изменения в хрусталике глаза.

**Рабочее место.** Имеется целый ряд промышленных процессов, при которых используются поля радиочастотного диапазона: диэлектрические нагреватели для ламинирования дерева и сварки упаковочной пленки; промышленные индукционные нагреватели и микроволновые печи; медицинское оборудование для диатермии, применяемое в лечении болей и воспалений тканей тела; и электрохирургические приборы для резания и сшивания тканей. Существует возможность того, что обслуживающий это оборудование персонал будет подвергаться повышенному воздействию полей радиочастотного диапазона, особенно при производственных процессах, использующих ВЧ-нагревание и герметизацию, или во время работы медицинского оборудования для диатермии. Интенсивность потока энергии вблизи такого оборудования на рабочих местах может превышать десятки Вт/м<sup>2</sup>. Все подобные уровни воздействия регулируются национальными и международными нормами.

Относительно высокая степень подверженности действию полей радиочастотного диапазона может иметь место среди работников радио- и телевидения, транспорта и телекоммуникаций, если они работают в непосредственной близости от передающих УКВ-антенн и радарных систем. Важной подгруппой работников такого рода являются военнослужащие. В большинстве стран имеются строгие нормативы, регулирующие использование полей радиочастотного диапазона в мирных и военных целях.

### ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 1

1. НОВИКОВ П.С. Элементы математической логики, М., Физматгиз, 1959, 240 с.
2. КЛИНИ С.К. Введение в метаматематику, пер. с англ., М., ИИЛ, 1957, 350 с.
3. Санитарные нормы «Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами» СН № 2666-83
4. Санитарные правила и нормы «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)» СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96.
5. Гигиенические нормативы «Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи» ГН 2.1.8/2.2.4.019-94.

По мере увеличения стажа работы, даже в условиях воздействия ЭМП малой интенсивности, клинические проявления становятся более отчетливыми, происходит кумуляция эффектов.

Таковы, вкратце, основные итоги наблюдений гигиенистов за работающими в условиях промышленного облучения ЭМП различных частотных диапазонов [1–3].

В семидесятые годы в эту область пришли физики и биофизики. Ими были предприняты активные усилия с целью понять биофизические механизмы, лежащие в основе биологического действия ЭМП. Результаты этой деятельности отражены в материалах конференций (см. напр. [4,5]), многочисленных статьях, детальных обзорах [6–9] и монографиях (см. напр. [10–12]).

В рамках этих исследований стали проводиться многочисленные опыты, в которых электромагнитным полем воздействовали на животных, бактерии, ткани, биологические жидкости и т.п. (см. напр. [13–16]). Облучали как больных животных, так и здоровых; специально зараженных и специально вылеченных и т.д., и т.п. При этом были испробованы, казалось бы, все мыслимые частоты, интенсивности и продолжительности воздействия. Все это делалось практически «вслепую», чаще всего экспериментаторы изначально даже не могли предположить, какая доза облучения на какой частоте окажется критической и приведет, положим, к летальному исходу, а какая послужит фактором, увеличивающим адаптационные возможности биообъекта. Несмотря на обилие экспериментального материала и работ, так или иначе трактующих и осмысливающих этот материал, ожидаемой ясности в вопрос о механизмах воздействия ЭМП на биообъекты эти работы не внесли. Более того, была утеряна ясность взгляда и замкнутость концепции гигиенической значимости этого фактора окружающей среды. Не будет чрезмерным утверждение, что благодаря стараниям физиков и биофизиков поиск «физически обоснованных механизмов воздействия ЭМП на биообъекты» превратился в самый спорный раздел гигиенической науки. Дело дошло до того, например, что для некоторых авторов (см. напр. [17]) воздействие магнитного поля как потенциального фактора риска возникновения многочисленных патологий человека (в том числе и нейродегенеративных заболеваний) не представляет сомнений, в то время как другие авторы (см. напр. [18]) не менее решительно полностью отрицают возможность такого воздействия.

Дело здесь, по-видимому, в том, что физики предъявляют к исследованиям в этой области не свойственные ей требования. В отличие от физики, которая является аксиоматизированной наукой, медицина (и гигиена – как ее часть) представляет собой скорее описательную дисциплину. Максимум, что можно от нее требовать – это установление статистически значимых причинно-следственных связей, но рассчитывать на то, что эти связи примут вид детерминированных соотношений (как в физике), не приходится. Полагать, что когда-нибудь будет возможно вычислять, например, предельные дозовые нагрузки, исходя из сколь угодно обширного набора количественных характеристик того или иного организма, представляется достаточно наивным. Невозможность такой постановки задачи демонстрируется, например, в метеорологии, которая имеет дело с объектами значительно более простыми, чем простейшие организмы. Однако, именно такие соотношения подразумеваются под «физически обоснованными механизмами воздействия того или иного фактора на биообъекты».

По этой причине в приведенном ниже обзоре результатов исследований в области биологического действия ЭМП сознательно опущены многочисленные данные экспериментальных исследований влияния ЭМП на отдельные системы биообъектов – на

молекулярном уровне, на клеточные мембраны, клетки и клеточные культуры и вообще все «первичные механизмы» биологического действия ЭМП.

В качестве логического обоснования такого решения можно привести следующую последовательность аргументов [11–15]:

(а) Представляется вероятным существование, по крайней мере, двух форм биологической активности ЭМП: влияние на организмы ЭМП внешней среды и электромагнитные взаимодействия внутри организмов. Дело в том, что эволюция живой природы протекала при существовании во внешней среде источников ЭМП, перекрывающих практически весь частотный диапазон – от медленно меняющихся электромагнитных полей геофизической природы (атмосферное электричество, постоянное магнитное поле Земли, геомагнитные вариации и т.п.) до сверхвысокочастотных радиоизлучений земного (коронные и молниевые разряды) и космического (Солнечное, радиогалактическое) происхождения. Известно, что живая природа существует и эволюционирует во взаимодействии со всеми факторами внешней среды. Поэтому можно *a priori* предположить, что ЭМП сыграли какую-то роль в эволюции жизни и что это отражается в процессах жизнедеятельности организмов, т.е. ЭМП естественного происхождения (естественный электромагнитный фон Земли) следует рассматривать как один из важнейших экологических факторов [19–24]. Наличие естественных ЭМП в окружающей среде является совершенно необходимым для существования нормальной жизнедеятельности, а их отсутствие или дефицит – приводит к серьезным негативным, порой даже необратимым последствиям для живого организма.

(б) Обе эти формы активности ЭМП связаны главным образом с процессами регулирования в живой природе на всех уровнях ее функционирования – от молекулярного до организменного. Другими словами, в основе биологической активности ЭМП лежит скорее информационное взаимодействие, нежели энергетическое. Главную роль играет не преобразование электромагнитной энергии в другие формы, а информация, передаваемая с помощью ЭМП.

Интенсивности природных ЭМП малы, а соответствующие им кванты энергии значительно меньше кТ. Поэтому маловероятно, что ЭМП могли бы служить источником энергии для живых организмов, как это имело место для инфракрасных и световых излучений. Представляются, однако, вполне вероятными информационные функции ЭМП в живой природе. Информационные взаимодействия при помощи ЭМП могут осуществляться во всех средах обитания – в атмосфере, в морской воде, в земле и, наконец, в тканях организма. При соответствующей кодировке информационные сигналы требуют весьма малой энергии поля для своей передачи.

(в) Последнее обстоятельство делает информационные каналы слабо защищенными от фоновых помех антропогенной природы. Энергетическая нагрузка от ЭМП в промышленности и в быту возрастает постоянно в связи со стремительным расширением сети источников физических полей электромагнитной природы, а также с увеличением их мощностей. Насыщение среды обитания электромагнитными полями, обусловленное развитием техники, может влиять на живые организмы непредсказуемым образом.

Соответственно, с методической точки зрения в работах по электромагнитной биологии наиболее перспективным представляется т.н. «кибернетический» подход, заключающийся в представлении исследуемой системы в виде «черного ящика» и последующем «просветлении» его по мере измерения входных и выходных характеристик. Переходя затем к смене подсистем, закономерному дроблению начального «чер-

ного ящика», применяя различные вариации входных и выходных характеристик, исследователь постепенно выясняет определенные закономерности функционирования изучаемой системы в приложенном ЭМП.

Использование такого подхода позволило выявить некоторые общие закономерности действия ЭМП на биообъекты [25–26]. Было обнаружено, в частности, что по мере усложнения биосистем все большую роль начинают играть обратные связи, направленные на сохранение гомеостаза. При переходе от отдельной клетки к многоклеточному организму, когда в процесс гомеостазирования включаются системы нервной, гуморальной, иммуноструктурной регуляции, выраженность компенсаторных обратных связей достигает своего максимума, и эффекты поля, регистрируемые на таких уровнях, не имеют прямой связи с характеристиками самого поля. Регистрируются компенсаторные реакции, их напряженность, отклонения от нормы.

При этом существенную роль играет предыстория развития данного конкретного организма, его врожденные и приобретенные аномалии, наличие дополнительных воздействующих факторов, собственные биоритмы и т.д. Поэтому физиологические исследования в этой области, с целью установления однозначного соответствия между действующим полем и наблюдаемой реакцией, не представляются в какой-либо мере перспективными.

Другая закономерность, свойственная биообъектам при воздействии на них ЭМП, заключается в интеграции ответных реакций по мере усложнения их организации. Суть интеграции состоит в том, что малые первичные эффекты, возникающие под влиянием слабого стимула на субклеточном уровне многоклеточного механизма, суммируются по мере перехода на более высокий уровень организации и сопровождаются заметной реакцией всего организма. Первичный эффект в данном случае имеет вероятностный характер.

К настоящему времени, по данным экологов и врачей-гигиенистов, можно считать установленным, что все диапазоны ЭМИ оказывают влияние на здоровье и работоспособность людей, на отдаленные последствия. Воздействие ЭМП на человека в силу их большой распространенности более опасна, чем радиация. Доказано, что наиболее чувствительной системой организма человека к действию ЭМП является центральная нервная система [27–31]. Человек не способен физически ощущать окружающее его ЭМП, однако оно вызывает уменьшение его адаптивных резервов, снижение иммунитета, работоспособности, увеличивает риск заболеваний. Энергетическая нагрузка от ЭМИ в промышленности и в быту возрастает постоянно в связи со стремительным расширением сети источников физических полей электромагнитной природы, а также с увеличением их мощностей. Во всех странах с каждым годом ужесточаются допустимые нормы воздействия ЭМИ на специалистов и население. Особенно опасно действие ЭМИ на детей, подростков, беременных и лиц с ослабленным здоровьем.

## **§ 1. ДЕЙСТВИЕ ПОСТОЯННЫХ И МЕДЛЕННО МЕНЯЮЩИХСЯ (СНЧ-ДИАПАЗОН) ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ**

Единственный способ, которым низкочастотные поля могут воздействовать на живые организмы – это индуцирование полей и токов в тканях организмов. Однако, величина этих индуцированных полей и токов от возможных внешних низкочастотных

полей значительно меньше, чем поля и токи генерирующихся в организме в процессах нормальной жизнедеятельности. Причина в том, что низкочастотное электрическое поле эффективно экранируется кожными покровами и не проникает внутрь организма. Магнитное поле проникает без ослабления, однако индуцируемые им токи пропорциональны частоте изменения поля и для полей СНЧ-диапазона малы.

Как уже отмечалось, ЭМП естественного происхождения (естественный электромагнитный фон Земли) следует рассматривать как один из важнейших экологических факторов [19–24]. Наличие естественных ЭМП в окружающей среде является совершенно необходимым для существования нормальной жизнедеятельности, а их отсутствие или дефицит приводит к серьезным негативным, порой даже необратимым последствиям для живого организма. Данные, полученные в лабораторных экспериментах [19,23], позволили выявить неблагоприятное влияние длительного экранирования естественных ЭМП (при различной их слабости) на организм животных, что является существенным подкреплением его гигиенической значимости.

Установлено, что при ослаблении ГМП в 2–5 раз относительно естественного магнитного поля (МП), наблюдается увеличение на 40% количества заболеваний у людей, работающих в условиях такого помещения. Фактически установлено, что у обследованных частота заболеваний, сопровождающих синдром иммунологической недостаточности, существенно превышает таковую среди практически здоровых людей.

При нахождении человека в искусственных гипогомагнитных условиях отмечаются изменения психики, появляются нестандартные идеи, образы. Результаты клинико-физиологических обследований лиц, длительное время работавших в экранированных гипогомагнитных помещениях (при коэффициенте ослабления геомагнитного поля в 4...10 раз), свидетельствуют о развитии у них ряда функциональных изменений в ведущих системах организма. Так, со стороны центральной нервной системы выявлены признаки дисбаланса основных нервных процессов в виде преобладания торможения, дистония мозговых сосудов с наличием регуляторной межполушарной асимметрии, удлинение времени реакции на появляющийся объект в режиме непрерывного аналогового слежения, снижение критической частоты слияния световых мельканий. Нарушения механизмов регуляции вегетативной нервной системы проявляются в развитии функциональных изменений со стороны сердечно-сосудистой системы в виде лабильности пульса и артериального давления, нейроциркуляторной дистонии гипертензивного типа, нарушения процесса реполяризации миокарда.

В работе [33] была реализована программа экспериментальных исследований физиологического проявления действия слабых магнитных полей сверхнизкочастотного (СНЧ) диапазона (0,01–20 Гц) на различных системных уровнях структурной организации биообъектов и определения совокупности параметров поля, определяющих степень выраженности и характер его биологических проявлений, а также анализ свойств этого фактора как раздражителя. Одним из важных результатов этой работы явилась экспериментальное доказательство важности пространственно-временной структуры поля с точки зрения физиологических проявлений его воздействия. Показано, что сопоставление динамических диапазонов изменения интенсивностей известных экологически адекватных раздражителей и геомагнитных вариаций дает основание отнести реакцию организма на действие магнитного поля СНЧ диапазона типа геомагнитных вариаций к классу информационных воздействий.

В целом полученные результаты позволяют утверждать, что «при воздействии слабого магнитного поля СНЧ диапазона в организме происходят изменения, требу-

ющие регулирующего участия нейрогуморальной системы, что свидетельствует о биоэффективности данного фактора. Хотя наблюдаемые изменения не превосходят адаптивные возможности системы, следует подчеркнуть, что действие поля снижает регуляторные возможности организма. Устойчивость адаптационного процесса относительна и обеспечивается только при сохранении определенного баланса процессов, обусловленного потерями и восполнениями энерго-информационных и структурных затрат. Поэтому на определенной стадии адаптационного процесса снижение пластического ресурса тканей при длительных экспозициях в магнитном поле может знаменовать переход адаптационного процесса в патологический».

При длительной экспозиции в магнитном поле СНЧ диапазона изменения в организме не ограничиваются функциональными сдвигами и могут переходить в деструктивные процессы, наиболее отчетливо выраженные в сердце, печени, поджелудочной железе, легких и головном мозге.

Подводя итог рассмотрению биологической роли постоянных электрического и магнитного полей, можно утверждать, что возможность биологического действия постоянных ЭМП, в принципе, не вызывает сомнений. Однако, при обсуждении вопросов о физических параметрах ЭМП, определяющих это действие, о степени выраженности возможного влияния и т.п., обнаруживаются существенные расхождения во взглядах. Прежде всего, эти расхождения обусловлены отсутствием общепризнанной теории первичного, т.е. физико-химического механизма биологического действия постоянного ЭМП. В основе такой теории должна лежать гипотеза о том, что в основе функциональных сдвигов, наблюдаемых в биологических объектах, лежат разнообразные биофизические процессы, а механизмы взаимодействия между ними и живой тканью заключаются в электро- либо магнитомеханических эффектах. Например, при наличии в организме потоков электролитических жидкостей магнитное поле создает электрические потенциалы. Другие биологические процессы, обеспечивающие взаимодействие с магнитным полем – это электрические импульсы в нервных волокнах, мембранные токи и внутриклеточные ионные потоки. Несмотря на то, что дальше можно рассуждать о магнитогидродинамическом торможении циркуляции крови, о упругих вибрациях нервных и мышечных волокон, ориентационных изменениях биологически активных макромолекул и т.п., однако проблема влияния постоянных и медленно меняющихся электромагнитных полей на биологические объекты не имеет сколько-нибудь надежной физико-химической основы. Основная причина этого – практически полное экранирование электрического поля кожными покровами и слишком слабое взаимодействие с магнитным полем. Действительно, как отмечалось в гл. 1, эффекты взаимодействия тканей и органов с постоянным магнитным полем характеризуются чрезвычайно малым отношением скорости движения  $V$  к скорости света. Для представляющих реальный интерес скоростей отношение  $V/c$  составляет величину меньше  $10^9$ . Это делает практически незаметными возможные эффекты такого взаимодействия.

Более приемлемой представляется гипотеза об обратном направлении цепочки причинно-следственных связей. Дело в том, что анализ особенностей и закономерностей, наблюдаемых при исследованиях влияния естественных и сопоставимых с ними искусственных ЭМП на живые организмы, не обнаруживает специфической реакции на действие этих полей. Большинство исследователей наблюдают изменение неспецифической резистентности, что является некой обобщенной оценкой функционального состояния живого организма. Причину таких изменений следует искать в деятельности нервной и эндокринной систем, которые вовлекают в процесс все системы организма и все уров-

ни организации, вплоть до субклеточных. Вообще говоря, неспецифическая резистентность поддерживается развитием адаптационных реакций на любые изменения внешней или внутренней среды. Можно полагать, что основная роль ЭМП заключается в поддержании функционального состояния организма на определенном уровне именно путем изменения неспецифической резистентности. На этом функциональном неспецифическом фоне развиваются реакции на специфические воздействия.

В качестве иллюстрации можно привести историю исследований влияния геомагнитных бурь на здоровье людей.

**Магнитные бури и здоровье.** Мысль о том, что живые организмы чувствуют изменения магнитного поля, высказывалась давно в связи со способностью птиц ориентироваться в пространстве. Оказалось, что действительно есть необычайно чувствительные к магнитному полю живые существа – бактерии, пчелы, голуби, дельфины, саламандры и др. Они обладают такой способностью благодаря присутствию зерен магнетита  $Fe_3O_4$  в нервных окончаниях. Это помогает им ориентироваться в пространстве в условиях невозмущенного магнитного поля, но этот механизм может отказать во время магнитных бурь. Кроме того, птицы при пролете над магнитными аномалиями испытывают затруднения в выборе курса.

Основным доказательством влияния магнитных бурь на человека является корреляционный анализ рядов данных по уровню возмущения геомагнитного поля и медицинских данных. Последние – это статистика вызовов скорой помощи, смертей, инфарктов и т.п. Это, также, – данные стандартных медицинских замеров (пульса, давления, ЭКГ) и нестандартных методик (электро- и термо- акупунктурные методы), данные биохимических исследований крови.

На данный момент установлено наличие связи числа «биосферных эксцессов» (резких изменений характеристик жизнедеятельности организма и последствий этого) с магнитными бурями. Любая конференция по этой тематике изобилует работами типа «Магнитные бури и число... (ДТП, внезапных смертей, инфарктов миокарда, травм)», «Магнитные бури и содержание гемоглобина (кальция, натрия, лейкоцитов) в крови (человека, кроликов, крыс)».

Наблюдается 27-ми дневная повторяемость биосферной реакции, что соответствует повторяемости бурь с таким же периодом. Напомним, 27 дней – это приблизительный период обращения экваториальных областей Солнца, что ведет к 27-ми дневной повторяемости рекуррентных «долгоживущих» высокоскоростных потоков солнечного ветра (этот эффект особенно четко прослеживается в годы минимума солнечной активности, когда спорадические потоки от вспышек довольно редки). Известно, что именно набегание высокоскоростных потоков солнечного ветра на магнитосферу Земли и провоцирует развитие магнитных бурь.

Зафиксирован и полугодовой (весенний и осенний) всплеск «биосферных эксцессов», что тоже соответствует полугодовой «волне» уровня возмущенности геомагнитного поля. Коэффициент корреляции исследуемых рядов медицинских данных с уровнем возмущенности магнитного поля во многих случаях достаточно высок (до 0.8). Тем не менее, строго говоря, все это не является прямым свидетельством того, что причина «биосферных эксцессов» – именно магнитная буря.

Действительно, следствием вспышки на Солнце является не только магнитная буря. Одновременно с началом магнитной бури и даже раньше ее протекает большое число разнообразных нестационарных процессов:

- усиление или ослабление геомагнитных пульсаций в широком диапазоне частот;



- изменение атмосферного электрического поля;
- нарушение установившегося режима циркуляции нижней атмосферы на средних широтах;
- усиление акустических шумов инфразвукового диапазона;
- изменение уровня напряженности электромагнитного фона в диапазоне низких и сверхнизких частот;
- возрастание радиоактивности атмосферы.

Поэтому простая корреляция не может определить степень сложности причинно-следственных связей. Не может она гарантировать и единственность причины (даже если предположение о влиянии магнитной бури верно). Кроме того, биообъекты в силу своей сложности могут реагировать не на один фактор, а на их совокупность. Поэтому сравнение данных медицинской статистики с данными по геомагнитному полю хорошо с прогностической точки зрения, но к ответу на вопрос «Что действует и как?» это приближает мало.

## § 2. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

При переходе от постоянных (и медленно меняющихся) полей к ЭМП, меняющимся с частотой в десятки Гц и более, можно отметить, что их электродинамическое действие на биообъекты гораздо сильнее. Дело в том, что переменные электрическое и магнитное поля могут проникать в поверхностные слои тела (во всяком случае – на глубину скин-слоя) и создавать в них наведенные токи. Плотность этих токов пропорциональна частоте поля, а поглощенная энергия – квадрату амплитуды воздействующего поля. Можно ожидать, что усиление электродинамического действия приведет к росту биологических эффектов. Это действительно отмечается в наблюдениях (как в лабораторных опытах, так и в натуральных условиях).

Выделение в настоящем изложении полей промышленной частоты из всего многообразия переменных ЭМП определяется тем, что они воздействуют на человека круглые сутки, благодаря излучениям от электропроводки, осветительных средств, бытовых электро- и электронных приборов, линий электропередачи и т. п. К тому же мощность источников этих полей, как правило, существенно превосходит мощность других источников, с которыми может сталкиваться человек в быту и на работе.

В живых организмах большую роль играют обратные связи, направленные на сохранение гомеостаза. В процесс гомеостазирования включаются системы нервной, гуморальной, иммуноструктурной регуляции, выраженность компенсаторных обратных связей достигает своего максимума и эффекты ЭМП, регистрируемые на таком уровне, не будут иметь прямой связи с характеристиками самого поля. Совокупность описанных свойств сложных биообъектов приводит к наблюдаемому «плато», когда увеличение интенсивности воздействия, начиная с некоторого момента не ведет к увеличению проявлений эффектов такого воздействия. Это можно объяснить тем, что рост реакции объекта на воздействие поля, связанный с интеграцией, компенсируется за счет гомеостазизирующих обратных связей (см. [25] и ссылки в обзоре [26]).

Пример эффекта «плато» приведен в работе [34]. Автор исследовал действие ЭМП под работающими ЛЭП на компоненты биоценозов (растения, насекомых, птиц). Натурные наблюдения дополнялись лабораторными, проводимыми с моделью ЛЭП. По резуль-

татам исследований выводятся основные закономерности биологического действия ЭМП. Зависимость величины ответной реакции (отношение числа объектов с изменениями к общей численности популяции) от напряженности действующего ЭМП имеет ярко выраженное плато в диапазоне напряженностей магнитного поля от единиц до десятков А/м. Сделан вывод – значения напряженности магнитного поля равные единицам А/м являются надпороговыми, приводящим к выраженным реакциям биосистем.

Реакция на поле, в зависимости от теста, может нарастать в течение часов или суток, после чего выходит на плато, а затем, даже при продолжительном воздействии, постепенно снижается и, как правило, возвращается к норме. Таким образом, по данным ряда исследований преобладают процессы адаптации.

Относительно последствий воздействия ЭМП на организм большинство исследователей сходится в том, что после прекращения воздействия иногда сразу, иногда спустя время в пределах недель и месяца, начинаются репарационные процессы и далее эффектов воздействия поля выявить не удается.

В той же работе [34] отмечено, что «наиболее сложной является зависимость величины и выраженность реакций биосистем на ЭМП от исходного состояния». Наиболее выраженные изменения различных характеристик при действии стационарных и низкочастотных ЭМП наблюдается у биосистем, находящихся в ослабленном состоянии за счет экзогенных или эндогенных факторов. При этом, если в результате такого ослабления исходного состояния изменение функций на 20–30% выводит ее за пределы нормы, то под действием ЭМП, независимо от его параметров, исследуемая биосистема может перейти в патологическое состояние любой степени тяжести, вплоть до летального исхода. Именно такой гетерогенностью организмов объясняется тот факт, что слабые воздействия, связанные с изменением гелиогеофизической активности, приводят к заметному ухудшению состояния больных с сердечно-сосудистой и другой патологией.

В последние годы появились достоверные научные факты и исследования, неоспоримо доказывающие влияние ЭМП (в том числе и промышленной частоты 50 Гц) на организмы. Электрические и магнитные поля являются очень сильными факторами влияния на состояние всех биологических объектов, попадающих в зону их воздействия. Например, в районе действия электрического поля ЛЭП у насекомых проявляются изменения в поведении: так у пчел фиксируется повышенная агрессивность, беспокойство, снижение работоспособности и продуктивности, склонность к потере маток; у жуков, комаров, бабочек и других летающих насекомых наблюдается изменение поведенческих реакций, в том числе изменение направления движения в сторону с меньшим уровнем поля. У растений распространены аномалии развития – часто меняются формы и размеры цветков, листьев, стеблей, появляются лишние лепестки. Здоровый человек страдает от относительно длительного пребывания в поле ЛЭП. Кратковременное облучение (минуты) способно привести к негативной реакцией только у гиперчувствительных людей или у больных некоторыми видами аллергии. Например, хорошо известны работы английских ученых в начале 90-х годов показавших, что у ряда аллергиков по действием поля ЛЭП развивается реакция по типу эпилептической. При продолжительном пребывании (месяцы–годы) людей в электромагнитном поле ЛЭП могут развиваться заболевания преимущественно сердечно-сосудистой и нервной систем организма человека. В последние годы в числе отдаленных последствий часто называются онкологические заболевания.

Особенно опасна составляющая ЭМП – магнитное поле (МП). Риск воздействия МП может быть существенно снижен, если точно известен источник, откуда исходит опасность. Многие лабораторные и клинические исследования, проведенные в Швеции, США, Японии и других странах, показали, что длительное воздействие ЭМП приводит к изменениям на клеточном уровне, в частности, к появлению онкологических заболеваний, а также таким болезням, как иммунная недостаточность, синдром хронической усталости. При этом считается весьма опасным длительное воздействие МП силой более 0,16 А/м (200 нТл), особенно для детей, беременных женщин и лиц с ослабленным здоровьем.

**Эпидемиологические исследования.** В 1979 году Wertheimer и Leeper сообщили о связи между детской лейкемией и повышенным уровнем магнитного поля (до 0,3–0,4 мкТл) в доме. С тех пор было выполнено большое количество исследований, чтобы развить этот важный результат. На основании анализа этих работ Национальная Академия Наук США в 1996 году предложила, чтобы проживание около линий электропередач связывалось бы с повышением риска детской лейкемии (относительный рост в 1,5 раза), но не с другими раковыми образованиями. Подобная связь между раком и проживанием взрослых в условиях облучения низкочастотными ЭМП установлена не была.

Многие исследования, проведенные в течение последних десятилетий, привели к противоречивым результатам. Например, есть свидетельства о небольшом росте риска заболевания лейкемией у работников электростанций и энергосетей. Однако, наличие маскирующих факторов, таких как повышенный уровень химических загрязнений в воздухе рабочей зоны, не принимался во внимание в этих работах. Причинно-следственные связи между облучением низкочастотными полями и риском развития раковых заболеваний надежно подтверждены не были.

В настоящее время принята классификация канцерогенной опасности различных факторов, предложенная Международным Агентством Исследований Рака (International Agency for Research on Cancer – IARC). Согласно этой классификации все факторы по уровню опасности делятся (в порядке возрастания опасности) на «возможно канцерогенный для человека», «вероятно канцерогенный для человека» и «канцерогенный для человека». Низкочастотные ЭМП относятся к самой слабой категории – «возможно канцерогенный для человека» – в которую отнесены факторы с сомнительной опасностью для человека, причем эта опасность не подтверждена в опытах над животными. Для того, чтобы представить уровни возможной опасности, приведем перечень факторов, распределенных по классификации IARC, см. таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Классификация IARC канцерогенных факторов по уровню их опасности

Классификация	Примеры факторов
Канцерогенный для человека (уверенно относимый к канцерогенным)	Асбест Горчичный газ Табак (для курения и жевания) Гамма-излучение
Вероятно канцерогенный для человека (отнесенный к канцерогенам по результатам опытов на животных)	Дизельный выхлоп Кварцевые лампы УФ-излучение Формальдегид

Классификация	Примеры факторов
Возможно канцерогенный для человека (основания статистически значимы, но результаты допускают и другие объяснения)	Кофе Выхлоп бензинового двигателя Газы сварочного производства Низкочастотные ЭМП

В очень сильных магнитных полях (амплитудой в десятки и сотни мТл) биологические эффекты на клеточном уровне могут определяться индуцированным электрическим током. Значащая величина – плотность тока, эффекты становятся заметными когда плотность превышает 10 мА/м<sup>2</sup>. С точки зрения электродинамических характеристик тело человека существенно неоднородно и строгое сопоставление величин поля и токов вряд ли возможно. Ориентировочные соотношения поля, тока и биологических эффектов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Индукция магнитного потока, мТл	Плотность индуцированного тока, мА/м <sup>2</sup>	Биологические эффекты
0,5–5	1–10	Минимальные биологические эффекты
5–50	10–100	Наблюдаемые эффекты со стороны зрительной и нервной систем. Улучшение заживления переломов костей.
50–500	100–1000	Стимуляция возбудимой ткани, возможно появление экстрасистол. Есть вероятность опасности для здоровья.
> 500	> 1000	Острые нарушения здоровья при продолжительном облучении.

### § 3. ШИРОКОДИАПАЗОННОЕ ЭМП ОТ ВДТ

Впервые значительное комплексное исследование возможного неблагоприятного действия электромагнитных полей на здоровье пользователей персональных компьютеров было проведено в 1984 году в Канаде. Поводом для проведения работы послужили многочисленные жалобы сотрудниц бухгалтерии одного из госпиталей. Для выявления факторов, послуживших причиной этих жалоб, были измерены все виды излучений, а также был распространен вопросник, касающийся всех видов воздействия на здоровье. В отчете по итогам работы была установлена однозначная связь заболеваемости с одним из ведущих факторов внешнего воздействия – электромагнитным полем, генерируемым монитором компьютера. Современное положение в этой области достаточно полно отражено в книге [35].

По обобщенным данным, у работающих за монитором от 2 до 6 часов в сутки функциональные нарушения центральной нервной системы происходят в среднем в 4,6 раза чаще, чем в контрольных группах, болезни сердечно-сосудистой системы – в

2 раза чаще, болезни верхних дыхательных путей – в 1,9 раза чаще, болезни опорно-двигательного аппарата – в 3,1 раза чаще. С увеличением продолжительности работы на компьютере соотношения больных и здоровых среди пользователей резко возрастает. По данным Бюро трудовой статистики США в период с 1982 по 1990 г. наблюдалось восьмикратное увеличение случаев расстройства здоровья (нетрудоспособности) пользователей.

Исследования функционального состояния пользователя компьютера, проведенные в 1996 году Центром электромагнитной безопасности, показали, что даже при кратковременной работе (45 минут) в организме работающего под влиянием электромагнитного излучения монитора происходят значительные изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга. Особенно ярко и устойчиво эти эффекты проявляются у женщин. Замечено, что у некоторых групп лиц (в данном случае это составило 20%) отрицательная реакция функционального состояния организма не проявляется при работе с ПК менее 1 часа. На основании анализа полученных результатов был сделан вывод о возможности формирования специальных критериев профессионального отбора для персонала, использующего компьютер в процессе работы.

Исследования общих закономерностей реакции организма человека на воздействие ЭМП монитора проводятся также и в Украине. Результаты свидетельствуют, что среди прочих нарушений в функциональном состоянии организма, наиболее ярко выражены нарушения со стороны гормональной и иммунной систем. Отклонение в иммунном статусе, в равной степени как иммунодефицит, так и аутоиммунность, являются основополагающими в дискоординации процессов, которые поддерживают гомеостаз в организме в целом.

Конечно, перечислением этих фактов не ограничивается неблагоприятное влияние ЭМП на рабочем месте на здоровье пользователя. Для этой ситуации облучения возможно проявление всех других биологических эффектов электромагнитного поля.

**Репродуктивная функция.** Установлено, что частое воздействие электромагнитного излучения мониторов приводит в аномальным исходам беременности. Исследование 1583 женщин, проведенное в Окленде (шт. Калифорния, США) Кейзеровским медицинским центром, показало, что для женщин, более 20 часов в неделю пользующихся компьютерными терминалами, риск выкидыша на ранних и поздних стадиях беременности на 80% выше, чем для женщин, которые выполняют ту же работу без дисплейных терминалов. По данным ученых Швеции, существует 90% вероятности, что у пользователей ВДТ в 1,5 раза чаще случаются выкидыши и у них рождается детей с врожденными пороками в 2,5 раза больше, чем у женщин других профессий. Нью-Йоркский комитет по охране труда и профилактике профессиональных заболеваний считает, что беременные или имеющие намерения забеременеть женщины должны переводиться на работу, не связанную с использованием видеотерминалов.

**Влияние аэрионного состава воздуха.** По мнению ряда исследователей электростатическое поле ВДТ напряженностью 15 кВ/м при одночасовой экспозиции играющих на компьютере подростков усиливает возбудительные процессы в ЦНС и сдвигает вегетативный гомеостаз в сторону симпатического преобладания. Вполне возможно, что воздействие электростатического поля на человека опосредовано через аэрионы, перераспределяющиеся в зоне дыхания под действием этого поля.

Зонами, воспринимающими аэрионы в организме человека, являются дыхательные пути и кожа. Единого мнения относительно механизма воздействия аэрионов на состояние здоровья человека нет.

Недостаток содержания легких аэрионов в помещениях с персональными компьютерами приводит к выраженному негативному эффекту. Субъективно недостаток легких аэрионов во вдыхаемом воздухе выражается в ощущении несвежести воздуха и нехватки кислорода. Наибольшее число жалоб, предъявляемых в условиях аэрионной недостаточности: неудовлетворительное самочувствие, повышенная утомляемость, частые головные боли, повышенное давление. Также негативно сказывается преобладание положительных аэрионов, которое может приводить к ухудшению самочувствия людей, бессоннице, утомлению, снижению работоспособности.

**Дерматиты.** Экспериментально было доказано, что электростатическое поле, создаваемое перед дисплеем компьютера, способствуют осаждению аэрозольных частиц на лице пользователя и что в зависимости от природы аэрозольных загрязняющих частиц у некоторых чувствительных лиц могут возникать те или иные кожные реакции. В научной литературе описаны случаи развития дерматита на лице у пользователей ВДТ. Дерматит исчезал, если пользователи отстраняли от работы с ВДТ. Высказывается предположение, что экзема развивается из-за наличия электростатического поля

### **Влияние на здоровье пользователя компьютера других неблагоприятных факторов на рабочем месте**

**Влияние на зрение.** К зрительному утомлению пользователя ВДТ относят целый комплекс симптомов: появление «пелены» перед глазами, глаза устают, делаются болезненными, появляются головные боли, нарушается сон, изменяется психофизическое состояние организма. Необходимо отметить, что жалобы на зрение могут быть связаны как с упомянутыми выше факторами ВДТ, так и с условиями освещения, состоянием зрения оператора и др.

Среди лиц, работающих с ВДТ, были зарегистрированы случаи заболевания катарактой. Статистический анализ имеющихся данных показал, что частота возникновения катаракты при работе с дисплеями значимо не отличается от таковой у других лиц, не работающих с дисплеями.

Существуют противоречивые данные о развитии миопии (близорукость) у пользователей ВДТ. По данным Калифорнийского Университета (США) из 150 человек, работающих на дисплеях в среднем по шесть часов в день в течение 4 лет, у 100 человек наблюдалась проблема с фокусировкой зрения. В связи с этим важно систематическое исследование лиц, работающих с компьютером, с целью его коррекции в случае необходимости.

**Синдром длительной статической нагрузки (СДСН).** У пользователей дисплеев развивается мышечная слабость, изменения формы позвоночника. В США признано, что СДСН – профессиональное заболевание 1990–1991 годов с самой высокой скоростью распространения. При вынужденной рабочей позе, при статической мышечной нагрузке мышц ног, плеч, шеи и рук длительно пребывают в состоянии сокращения. Поскольку мышцы не расслабляются, в них ухудшается кровоснабжение; нарушается обмен веществ, накапливаются биопродукты распада и, в частности, молочная кислота. У 29 женщин с синдромом длительной статической нагрузки бралась биопсия мышечной ткани, в которых было обнаружено резкое отклонение биохимических показателей от нормы.

**Стресс.** Пользователи дисплеев часто находятся в состоянии стресса. По данным Национального Института охраны труда и профилактики профзаболеваний США (1990 г.)

пользователи ВДТ в большей степени, чем другие профессиональные группы, включая авиадиспетчеров, подвержены развитию стрессорных состояний. При этом у большинства пользователей работа на ВДТ сопровождается значительным умственным напряжением. Показано, что источниками стресса могут быть: вид деятельности, характерные особенности компьютера, используемое программное обеспечение, организация работы, социальные аспекты. Работа на ВДТ имеет специфические стрессорные факторы, такие как время задержки ответа (реакции) компьютера при выполнении команд человека, «обучаемость командам управления» (простота запоминания, похожесть, простота использования и т.п.), способ визуализации информации и т.д. Пребывание человека в состоянии стресса может привести к изменениям настроения человека, повышению агрессивности, депрессии, раздражительности. Зарегистрированы случаи психосоматических расстройств, нарушения функции желудочно-кишечного тракта, нарушение сна, изменение частоты пульса, менструального цикла. Пребывание человека в условиях длительно действующего стресс-фактора может привести к развитию сердечно-сосудистых заболеваний.

**Тендовагиниты.** Весьма распространенным у пользователей ВДТ является поражение сухожилий кистей рук, т.н. «запястный синдром». пользователи жалуются на боли в запястьях. В дальнейшем возможно развитие контрактур.

Обобщенные данные о субъективных жалобах пользователей и возможные причины их проявления приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

*Субъективные жалобы пользователей персонального компьютера и возможные причины их происхождения*

Субъективные жалобы	Возможные причины
резь в глазах	визуальные эргономические параметры монитора, освещение на рабочем месте и в помещении
головная боль	аэрионный состав воздуха в рабочей зоне, режим работы
повышенная нервозность	электромагнитное поле, цветовая гамма помещения, режим работы
повышенная утомляемость	электромагнитное поле, режим работы
расстройство памяти	электромагнитное поле, режим работы
нарушение сна	режим работы, электромагнитное поле
выпадение волос	электростатические поля, режим работы
прыщи и покраснение кожи	электростатические поле, аэрионный и пылевой состав воздуха в рабочей зоне
боли в животе	неправильная посадка, вызванная неправильным устройством рабочего места
боль в пояснице	неправильная посадка пользователя, вызванная устройством рабочего места, режим работы
боль в запястьях и пальцах	неправильная конфигурация рабочего места, в том числе высота стола не соответствует росту и высоте кресла; неудобная клавиатура; режим работы

## § 4. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Наиболее ранними клиническими проявлениями последствий воздействия электромагнитного облучения на человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся прежде всего в виде вегетативных дисфункций невротического и астенического синдрома. Лица, длительное время находившиеся в зоне электромагнитного облучения, предъявляют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна. Нередко к этим симптомам присоединяются расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы проявляются, как правило, нейроциркуляторной дистонией: лабильность пульса и артериального давления, склонность к гипотонии, боли в области сердца и др. Отмечаются также фазовые изменения состава периферической крови (лабильность показателей) с последующим развитием умеренной лейкопении, нейтропении, эритроцитопении. Изменения костного мозга носят характер реактивного компенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием электромагнитного излучения с достаточной интенсивностью. Работающие с магнитным и электромагнитным полями, а также население, живущее в зоне действия мощных радиопередающих установок, жалуются на раздражительность, нетерпеливость. Через 1–3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость.

Поля радиочастотного диапазона представляют собой неионизирующее излучение. В отличие от рентгеновских лучей и гамма-лучей, они слишком слабы для того, чтобы разорвать внутримолекулярные или внутриатомные связи и, таким образом, вызвать ионизацию. Однако поля радиочастотного диапазона могут оказывать различное воздействие на биологические системы, такие как клетки, растения, животные и человек. Характер этого воздействия зависит от частоты и напряженности поля. Ниоим образом нельзя считать, что во всех случаях это воздействие приводит к отрицательным последствиям для здоровья.

**Поля с частотой ниже 1 МГц** не вызывают значительного нагревания, но приводят к образованию электрических токов в тканях. Плотность тока является основной дозиметрической величиной для полей радиочастотного диапазона.

Многие химические реакции, связанные с жизнедеятельностью человека, связаны с нормальными «фоновыми» уровнями токов, составляющими около 10 мА/м<sup>2</sup> (см. выше таблицу 2.2). Индуцированные токи с плотностью более 100 мА/м<sup>2</sup>, могут оказывать воздействие на функционирование организма и вызывать непроизвольные сокращения мышц.

Имеются сообщения также о других эффектах, вызванных действием низкочастотных полей радиочастотного диапазона. Однако они либо не были подтверждены лабораторными исследованиями, либо их последствия для здоровья неизвестны. Однако эти исследования вызвали серьезную озабоченность в отношении повышенного риска заболевания раком (см. ниже). Именно по этой причине они также являются объектом контроля и изучения.

**Поле с частотой от 1 МГц до 10 ГГц** проникают вглубь тканей и вызывают нагрев в связи с поглощением энергии в этих тканях. Глубина проникновения полей радиочастотного диапазона в ткань зависит от частоты поля: чем меньше частота, тем глубже проникновение.

Дозиметрической характеристикой воздействия полей с частотой от 1 МГц до 10 ГГц является скорость удельного поглощения (СУП), отнесенная к единице массы ткани. СУП измеряется в ваттах на килограмм (Вт/кг). Для того, чтобы поле радиочастотного диапазона в данном диапазоне частот могло вызвать отрицательные последствия для здоровья, величина СУП должна превышать 4 Вт/кг. Такая энергия отмечается на расстоянии нескольких десятков метров от мощных УКВ-антенн на вершине высоких антенных мачт, что делает эти зоны опасными для человека.

Наиболее отрицательные последствия для здоровья, которые могут вызываться полями в диапазоне частот от 1 МГц до 10 ГГц, связаны с реакциями на индукционный нагрев, приводящий к повышению температуры тканей тела более, чем на 1°C. Индукционный нагрев тканей тела может вызывать различные физиологические и терморегуляторные реакции, включая снижение умственных и физических возможностей при возрастании температуры тела. Имеются сообщения об аналогичных эффектах среди людей, подвергающихся тепловой нагрузке, например, при работе в условиях перегрева или при длительной гипертермии. Индукционный нагрев может приводить к помутнению хрусталика глаза (катаракте).

Индукционный нагрев может повлиять на развитие плода у беременных женщин. Врожденные дефекты могут иметь место только при повышении температуры плода на протяжении нескольких часов на (2–3)°C.

Важно подчеркнуть, что в большинстве исследований, касавшихся полей с частотами выше 1 МГц, изучались последствия кратковременного воздействия полей высокой интенсивности, которые обычно не встречаются в повседневной жизни.

**Поле с частотой выше 10 ГГц** поглощаются поверхностью кожи, при этом очень незначительная часть энергии проникает в подкожные ткани.

Основной дозиметрической величиной на частотах выше 10 ГГц является поток энергии поля, измеряемый как плотность мощности в ваттах на квадратный метр (Вт/м<sup>2</sup>) или, в случае слабых полей, в милливаттах на квадратный метр (мВт/м<sup>2</sup>) или микроваттах на квадратный метр (мкВт/м<sup>2</sup>).

Для того, чтобы электромагнитное излучение с частотой выше 10 ГГц могло вызвать отрицательные последствия для здоровья, например, катаракты и ожоги кожи, поток энергии должен превышать 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Такие величины не встречаются в повседневной жизни. В то же время они наблюдаются вблизи мощных радаров. Согласно существующим нормам присутствие людей в этих зонах не допускается.

**Поле радиочастотного диапазона и рак.** Имеющиеся данные научных исследований указывают на малую вероятность того, что поля радиочастотного диапазона вызывают или способствуют развитию раковых заболеваний.

Экспериментальные исследования на животных не предоставили убедительных доказательств влияния этих полей на частоту развития опухолей. Результаты недавно проведенного исследования показывают, что поля радиочастотного диапазона, аналогичные используемым при мобильной телефонной связи, способствовали росту заболеваемости раком среди мышей, полученных методом геной инженерии, находившихся вблизи (на расстоянии 0,65 м) от передающей УКВ-антенны. Эти исследования продолжаются с целью установления значимости этих результатов для развития рака у человека.

Во многих эпидемиологических исследованиях (касающихся здоровья человека) изучалась возможная связь между действием полей радиочастотного диапазона и повышенным риском заболевания раком. До настоящего времени эти исследования не предостави-

ли достаточно информации для того, чтобы можно было должным образом оценить риск развития раковых заболеваний, так как результаты этих исследований отличаются друг от друга. Это можно объяснить различиями в схемах исследований, методиках их проведения и интерпретации полученных результатов, включая выявление популяций, находящихся под действием полей радиочастотного диапазона, и ретроспективную оценку такого воздействия. Проведение координированных исследований в этой области продолжается.

Имеются сообщения о том, что под действием низкоинтенсивных полей радиочастотного диапазона, интенсивность которых слишком слаба для того, чтобы вызывать нагревание, происходят изменения электрической активности головного мозга кошек и кроликов, вызванные изменениями подвижности ионов кальция. Сообщалось об аналогичных эффектах в отношении изолированных тканей и клеток. Результаты других исследований указывают на то, что поля радиочастотного диапазона влияют на скорость пролиферации клеток, изменяют ферментативную активность или воздействуют на гены в клеточных ДНК. Однако эти эффекты недостаточно изучены, а их последствия для здоровья человека не до конца понятны для того, чтобы служить основой для введения каких-либо ограничений в отношении действия этих полей на человека.

**Электромагнитные помехи и другие эффекты.** Мобильные телефоны, а также многие другие широко распространенные электронные устройства могут вызывать электромагнитные помехи в работе других электрических приборов. Поэтому следует соблюдать осторожность при использовании мобильных телефонов, в частности вблизи чувствительного электронного медицинского оборудования в больничных отделениях интенсивной терапии. В редких случаях мобильные телефоны могут вызывать также помехи в работе некоторых других медицинских приборов, таких как водители ритма сердца и слуховые аппараты. Лица, пользующиеся такими приборами, должны проконсультироваться с врачом в отношении чувствительности этих приборов к указанным воздействиям.

## § 5. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ

Накопленные к настоящему времени научные данные о биологическом действии ЭМП элементов сотовой связи вызывают настороженность, т.к. имеются сведения о возникновении у «регулярных» пользователей сотовыми телефонами следующих неблагоприятных симптомов: головные боли, головокружение, утомляемость, уменьшение способности к концентрации внимания. Это указывает на то, что в определенных случаях действие ЭМП сотового телефона вызывает реакции, выходящие за рамки адаптивного ответа организма. В настоящее время накоплены данные об изменении функциональной деятельности головного мозга, о нарушении проницаемости гематоэнцефалического барьера и возможном развитии опухолей головного мозга.

Повышенному риску подвергаются дети, женщины в состоянии беременности, люди с повышенной индивидуальной чувствительностью к действию ЭМП, люди с различными заболеваниями, т.е. группы потенциально наиболее склонные к развитию патологий в условиях воздействия электромагнитного фактора, в том числе выражающихся в форме отдаленных последствий. Очевидно, что использование средств сотовой связи данными категориями лиц требует дополнительной регламентации.

Сотовая связь будет развиваться в ближайшие годы, несмотря на неполное знание о последствиях биологического действия ЭМП. Поэтому концепцию нормативно-

правовых актов следует сосредоточить на мерах предупредительного характера, позволяющих каждому человеку реализовать право добровольного выбора приемлемого для себя риска воздействия ЭМП. В связи с этим при разработке системы мероприятий по обеспечению электромагнитной безопасности сотовой связи необходимо использование методологии добровольного и вынужденного экологического риска.

Международный опыт показывает, все страны, развивающие сотовую связь, имеют соответствующие национальные программы, включающие биологические и технические исследования, а также информационные программы непосредственно для населения. Как правило, работа ведется в тесном контакте с национальными государственными регулирующими органами в области здравоохранения и связи, производителями и операторами сотовой связи. Одной из основных задач национальных программ за рубежом является создание широкой доказательной базы безопасности элементов сотовой связи и разработки в области снижения интенсивности ЭМП сотового телефона, воздействующего на пользователя.

Наиболее широкие программы исследований проводят Австралия, Великобритания, ЕС, Китай, Южная Корея, США, Финляндия, Франция, Италия, Япония, многие из которых координирует Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ).

В настоящее время в мире выполнено или находится в стадии выполнения около 600 исследований по различным аспектам проблемы биологического действия ЭМП мобильного телефона. Несмотря на активное изучение проблемы, до сих пор нет ясности по возможным долговременным последствиям, критериям безопасности, предельно-допустимым уровням (ПДУ) ЭМП. Разные принципы в определении ПДУ приводит к различию в значениях ПДУ в некоторых странах до 10–100 раз. Несогласованность национальных и международных норм безопасности, методик проведения измерений, нормирование различных физических величин приводит к тому, что сертифицированные в одной стране сотовые телефоны не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям других стран.

Очевидно, что никакие предостережения не могут остановить стремительный рост числа абонентов сотовой связи. Именно поэтому специалисты во всем мире видят свою задачу в выработке четких рекомендаций для создания нового поколения техники, работающей в так называемом щадящем режиме воздействия.

Учитывая эти обстоятельства, в Центре электромагнитной безопасности был проведен цикл медико-биологических экспериментов под руководством доктора медицинских наук Юрий Григорьева. Целью было исследование влияния на физиологическое и гормональное состояние человека электромагнитного излучения мобильных телефонов существующих и перспективных стандартов сотовой связи. Эксперимент российских ученых показал, что мозг человека не только ощущает электромагнитное излучение сотового телефона, но и различает стандарты сотовой связи.

В опытах использовались телефоны:

- стандарта NMT-450, имеющего в России статус федерального (аппарат Nokia 450),
- действующего европейского стандарта GSM-900 (аппарат Siemens S4),
- перспективного стандарта GSM-1800 (аппарат Motorola PT-9s).

Все эти стандарты активно применяются операторами сотовой связи России.

Испытатели-добровольцы облучались ЭМП мобильных телефонов трех различных систем в течение 30 минут, при этом они не знали, какой аппарат излучает в дан-

ной серии эксперимента, включен он или нет. На голове испытуемого закрепляли датчик для контроля электроэнцефалограммы от 6 областей коры головного мозга, а на теле – датчики для контроля сердечно-сосудистой и дыхательной деятельности, мышечной активности. Эксперимент начинался с того, что записывались исходные параметры деятельности организма испытуемого. Затем сотовый телефон включали в режим излучения. В неизвестный для испытуемого момент телефон отключали и продолжали запись показателей, фиксируя последствия воздействия ЭМП.

Результаты эксперимента свидетельствуют о достоверных изменениях в биоэлектрической активности мозга человека только в сериях с радиотелефонами стандартов NMT-450 и GSM-900. У большинства испытуемых и во время, и после облучения ЭМП радиотелефона в спектрах электроэнцефалограммы усиливался альфа-диапазон биоэлектрической активности мозга. Особенно сильно эти изменения проявлялись непосредственно после выключения поля.

Изменения в биоэлектрической активности мозга не зависят от времени «разговора» (5, 10 или 20 минут непрерывно), зато сохраняются в течение 15–20 минут и после окончания воздействия. Другие показатели (частота пульса, дыхания, электромиограмма, тремор, артериальное давление) не реагировали на факт облучения электромагнитным полем радиотелефона.

Таким образом можно заключить, что сотовые телефоны стандартов NMT-450 и GSM-900 вызывают достоверные и заслуживающие внимания изменения в биоэлектрической активности головного мозга. Однако клинически значимых последствий для организма человека однократное 30-минутное облучение электромагнитным полем мобильного телефона не оказывает. Отсутствие достоверных измерений в электроэнцефалограмме в случае использования телефона стандарта GSM-1800 может характеризовать его как наиболее «щадящий» для пользователя из трех использованных в эксперименте систем связи.

В этой серии экспериментов для испытаний были специально подобраны добровольцы – здоровые мужчины. В дальнейших исследованиях намечено проследить зависимость состояния здоровья различных групп людей (по признакам пола, возраста, самочувствия) от условий облучения и режима пользования сотовым телефоном. Эти исследования помогут выявить условия, при которых может проявляться неблагоприятное влияние сотового телефона на здоровье человека.

Полученные в эксперименте данные полностью соответствуют известным в радиобиологии фактам о последствиях влияния низкоинтенсивных однократных воздействий электромагнитного поля на организм человека. Описанные изменения в деятельности центральной нервной системы не выходят за рамки нормального функционирования организма и трактуются в физиологии как защитная реакция. С другой стороны, убедительно показано, что последствия зависят как от величины воздействующего электромагнитного излучения, так и от несущей частоты и модуляции радиосигнала.

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

(1) Многочисленные данные экспериментальных исследований влияния ЭМП на различные системы биообъектов – на молекулярном уровне, на клеточные мембраны, клетки и клеточные культуры, нервную, эндокринную, иммунную и гематологическую системы организма указывают, что феноменологически они могут быть объяснены несколькими биофизическими эффектами:

- индуцированием электрических потенциалов в системе кровообращения,
- стимулированием выработки магнитофосфена импульсами магнитного поля в ОНЧ-СВЧ диапазонах, амплитудой от долей до десятков мТл,
- иницированием переменными полями широкого спектра клеточных и тканевых изменений, когда плотность индуцированного тока превышает 10 мА/м<sup>2</sup> многие из этих эффектов, вероятно, являются следствием взаимодействия с компонентами клеточных мембран.

(2) В настоящее время врачами-эпидемиологами собран большой объем достоверно обоснованных фактов и результатов научных исследований, неоспоримо доказывающих влияние на человеческий организм электромагнитных полей. Активно развивается область исследований, касающихся солнечно-биосферных связей. Накоплен большой материал относительно корреляционных связей биосферных параметров с параметрами внешней среды.

Реакции организма человека на длительное пребывание в магнитном поле имеют неспецифический характер: могут возникать изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, иммунной систем. Обычно наблюдается неспецифическая резистентность организма, которая является обобщенной оценкой функционального состояния организма. Изменения связаны прежде всего с деятельностью нервной и эндокринной систем, вовлекающей в процесс все системы организма и все уровни организации вплоть до субклеточных. Здесь представляются интересными следующие выводы:

- физиологические проявления действия ЭМП определяет не абсолютный уровень энергии стимула, а его пространственно-временная структура, т.е. градиент и частотные характеристики, которые определяют информационные свойства полей сверхнизких частот;
- длительное воздействие слабого магнитного поля сверхнизких частот ( $B = 30$  нТл,  $f = 0,1-20$  Гц) снижает регуляторные возможности организма; на определенной стадии адаптационного процесса снижение пластического ресурса тканей при длительной экспозиции может знаменовать переход адаптационного процесса в патологический; при длительной экспозиции в поле изменения в организме не ограничиваются функциональными сдвигами и могут переходить в деструктивные процессы, наиболее выраженные в сердце, печени, поджелудочной железе, легких и головном мозге;
- воздействие широкополосного возмущения может привести к перенапряжению компенсаторных способностей на самом глубоком уровне, несмотря на кажущееся внешнее благополучие;
- организмы наиболее чувствительны к сигналам, параметры которых близки к параметрам внутренних сигналов организма; энергетически слабые воздействия провоцируют реакции природных систем порой более сильные, чем при высоких энергиях;

(3) Варианты воздействия ЭМП на биосистемы, включая человека, разнообразны: непрерывное и прерывистое, общее и местное, комбинированное от нескольких источников и сочетанное с другими неблагоприятными факторами среды и т.д.

На биологическую реакцию влияют следующие параметры ЭМП:

- интенсивность ЭМП (величина);
- частота излучения;
- продолжительность облучения;
- модуляция сигнала;

- сочетание частот ЭМП;
- периодичность действия.

Сочетание вышеперечисленных параметров может давать существенно различающиеся последствия для реакции облучаемого биологического объекта.

Имеются частотные окна, в пределах которых наиболее ярко выражена реакция биообъекта. Эти окна обнаружены практически во всех исследованных диапазонах частот (но преимущественно они расположены в диапазоне до 50 Гц). Наиболее выраженная реакция организма возникает при частотах колебаний воздействующего поля, близких к частотам параметрического резонанса микро- и макроструктур организма.

- из наиболее физиологически активных частот в низкочастотной области выявлены следующие: 0.02, 0.06, 0.5-0.6, 5-6 и 80 Гц.
- Окна бывают «депрессивные» – в них эффект воздействия отрицательный: ухудшение самочувствия, развитие заболеваний (преимущественно онкологических); повышенная нервная возбудимость, депрессивные состояния и т.п.
- На других частотах наблюдается «возбуждающее» действие – здесь эффект воздействия положительный: улучшение самочувствия, излечение заболеваний, улучшение памяти и т.п.

С возможными резонансными эффектами тесно связана проблема модуляции в биоэффективности воздействия ЭМП. В последние годы появились публикации, в которых имеются весьма важные указания о роли в биоэффектах некоторых форм модуляции; показано наличие т.н. частотных и амплитудных окон, обладающих высокой биологической активностью на клеточном уровне, а также при воздействии ЭМП на центральную нервную и иммунную системы. Опубликованы данные о неадекватных патологических реакциях людей на модулированные электромагнитные поля.

(4) Имеющиеся результаты свидетельствуют о возможности комбинированного действия ЭМП и других факторов, т.е. модификации биоэффектов ЭМП как тепловой, так и нетепловой интенсивности под влиянием ряда факторов как физической, так и химической природы. Условия комбинированного действия ЭМП и других факторов позволили выявить значительное влияние ЭМП сверхмалых интенсивностей на реакцию организма, а при некоторых сочетаниях может развиваться ярко выраженная патологическая реакция.

(5) Нет никакого убедительного свидетельства о том, что облучение низкочастотными ЭМП разрушает биологические молекулы, включая ДНК. Таким образом, связь с возможным канцерогенезом маловероятна. Об этом же свидетельствуют исследования на животных. Однако, пока имеется вероятность увеличения риска развития лейкозов и злокачественных новообразований центральной нервной системы, соответствующие исследования продолжаются – слишком велика цена ошибки.

(6) Некоторые исследователи сообщали, что облучение низкочастотным полем может подавить продуцирование мелатонина – гормона, связанного с суточными ритмами. Предполагается, что мелатонин может играть роль защиты против рака груди, так что подавление его продуцирования повышает опасность развития рака, уже инициированного другими агентами. Некоторые свидетельства в поддержку мелатонинового механизма влияния были получены на лабораторных животных, однако эксперименты на добровольцах не дали надежных свидетельств таких изменений у людей.

## ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 2

1. ОСИПОВ Ю.А. Гигиена труда и влияние на работающих электромагнитных полей радиочастот. Л.: Медицина, 1965. – 220 с.
2. СЕРДЮК А.М., ПОПОВИЧ В.М., МУХАРСКИЙ М.С. и др. Влияние электромагнитных полей радиочастотного диапазона на состояние здоровья населения//Гигиена населенных мест. 1976. Вып. 15. С. 23 – 25.
3. НАВРОЦКИЙ В.К. Гигиена труда, изд. Медицина, М., 1974, 440 с.
4. Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования. Материалы первой российской конференции 28–29 ноября 1996 г. Москва.
5. Электромагнитные поля и здоровье человека. Материалы 2-й Международной конференции 20–24 сентября 1999 г. Москва.
6. ГРИГОРЬЕВ Ю.Г. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное издание. Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения. М., 1999.
7. International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. Health Phys. V. 74(4), P. 494, 1998.
8. ZHADIN M.N. 1998, Bioelectromagnetics, v. 19, P. 279–292.
9. ZHADIN M.N. 2001, Bioelectromagnetics, v. 22, P. 27–45.
10. SHEPPARD A.R AND EISENBUD M, 1977. Biological Effects of Electric and Magnetic Fields of Extremely Low Frequency. N.-Y., Univ.Press.
11. ХОЛОДОВ Ю.А., ШИШЛО М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М., Наука. 1979
12. ХОЛОДОВ Ю.А. 1982, Мозг в электромагнитных полях. М., Наука.
13. ЯКОВЛЕВА М.И. Физиологические механизмы действия электромагнитных полей. Л.: Медицина, 1973. – 175 с.
14. ЛЕБЕДЕВА Н.Н. Реакция центральной нервной системы человека на электромагнитные поля с различными биотропными параметрами // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. № 1. С. 24–36.
15. РЯБЧУК Ю.П., УРАЗАЕВ А.М. О роли центральной нервной системы в изменении физиологических показателей при действии неоднородного магнитного поля // Материалы 2-го Всесоюзного симпозиума «Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические аспекты». Белгород, 1973. С. 47–52.
16. СПИРИДОНОВА Л.И. Асинхронность ответных реакций органов иммунной системы на воздействие электромагнитного поля промышленной частоты // Функциональная морфология лимфатических узлов. М., 1983. С. 158–159.
17. HAKANSSON N., GUSTAVSON P., JOHANSEN C., FLODERUS B.
18. Epidemiology. 2003, v. 14, P. 420–426.
19. NOONAN C.W., REIF J.S., BURCH J.V. J.Occup.Environ Med. 2002, v. 44, P. 769–775.
20. Первый симпозиум «Биологическое действие гипомангнитных полей» (15–17 октября 1991 г., г. Тбилиси). Тезисы. Тбилиси, 1991. – 216 с.
21. АРТИЩЕНКО В.А., ВИНОГРАДОВ С.А., ПЕРЕДЕРИЙ В.Г., ПОЛЕГЕНЬКО С.М. Влияние слабых ЭМП низкой частоты на морфологию миокарда // Влияние слабых электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков: Харьковский мед. институт, 1973. Т. 53. С. 42–46.
22. НАХИЛЬНИЦКАЯ З.Н. О биологическом действии постоянных магнитных полей // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1974. № 6. С. 3–15.
23. ГУРФИНКЕЛЬ Ю.И., ЛЮБИМОВ В.В. Применение пассивного экранирования для защиты пациентов с ишемической болезнью сердца от воздействия геомагнитных возмущений // Биофизика. М.: Наука, 1998. Том 43. Вып. 5. С. 827–832.
24. НАХИЛЬНИЦКАЯ З.Н., МАСТРЮКОВА В.М., АНДРИАНОВА Л.А., БОРОДКИНА А.Т. Реакция организма на воздействие «нулевого» магнитного поля // Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1978. № 2. С. 74–76.
25. ПОХОДЗЕЙ Л.В. Гипогеомагнитные условия как фактор риска для здоровья человека // Материалы 2-й Международной конференции «Электромагнитные поля и здоровье человека». М., 1999. С. 135–136.
26. ГОДИК Э.Э., ГУЛЯЕВ Ю.В. Человек «глазами радиофизики». // Радиотехника, 1991, № 8, С. 50–62.
27. АГУЛОВА Л.П. Принципы адаптации биологических систем к космогеофизическим факторам. // (обзор). Биофизика 1998, т. 43, вып. 4, С. 561–564.
28. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ М.М. Структурные основы действия постоянного магнитного поля на головной мозг //Труды 4-го Всесоюзного съезда патологоанатомов. М., 1967. С. 440–443.
29. ЛИМАН А.Д. Биоэлектрическая активность и световая чувствительность глаза у работающих в условиях хронического воздействия ЭМП различных частотных диапазонов. Автореф. канд. дисс. Харьков, 1974. – 21 с.
30. НИКИТИНА В.Н., УСТИНКИНА Т.И., ШАПОШНИКОВА Е.С. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона – фактор риска нарушений мужской репродуктивной системы//Материалы 1-й Российской конференции «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования». М., 1996. С. 36.
31. ПОПОВИЧ Б.М., КОЗЯРИН И.П. Влияние электромагнитной энергии промышленной частоты на нервную систему человека и животных // Врачебное дело. 1977. № 6. С. 128–131.
32. ХОЛОДОВ Ю.А. Судорожная активность мозга при воздействии электромагнитных полей//Материалы Международной научно-практической конференции «Биологическое и лечебное действие магнитных полей». Витебск, 1998. С. 64–66.
33. ЛЕДНЕВ В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей. // Биофизика 1996, Т. 41, вып. 1, С. 224.
34. ПЛЕХАНОВ Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Изд. Томского Университета. Томск, 1990.
35. АФАНАСЬЕВ А.И., ДОЛОТКО В.И., КАРНИШИН В.В., КАРПИКОВ И.И., ТУРКЕВИЧ А.А. Обеспечение электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники. Справочное руководство. Изд. ГНПП «Циклон-Тест», 1999.



# ГЛАВА 3 ЭЛЕКТРОСТАТИКА И АЭРОИОНЫ

## ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Круг вопросов, относящихся к биологическому действию электростатических полей представляет особый интерес, так как здесь по-видимому удастся восстановить основные цепочки причинно-следственных связей. Логика развития соответствующих исследований может, по-видимому, служить образцом и в смежных областях экологии ЭМП.

Основная проблема в области экологии ЭМП – отсутствие сколько-нибудь приемлемых гипотез о механизмах непосредственного действия полей на клетки, ткани и системы живых организмов – для электростатических полей усугубляется тем, что вполне общие законы электродинамики исключают возможность такого действия. Дело здесь в практически полном экранировании медленно меняющегося внешнего электрического поля внутри тела. Экранирование происходит за счет перераспределения зарядов в поверхностных слоях кожи, так что глубина проникновения поля не превышает нескольких клеточных слоев.

Тем не менее, результаты гигиенических исследований (см. гл. 2) достаточно надежно свидетельствуют о существовании эффектов воздействия электростатических полей на головной мозг и центральную нервную систему человека. Следствием этого воздействия являются головные боли, головокружение, депрессия, снижение иммунитета организма, увеличение заболеваемости органов дыхания, кожи, деградация сетчатки глаз, увеличение тяжести течения беременности и продолжительности патологических процессов.

Решение этого, с первого взгляда – неразрешимого, противоречия можно искать на пути отказа от гипотезы о непосредственном действии электростатического поля на организм. В качестве промежуточного агента вполне подходят аэроионы. Таким образом удастся не только восстановить вполне правдоподобную, логически непротиворечивую причинно-следственную цепочку, но и предложить некоторые (оправдывающиеся на практике) выводы по мерам компенсации вреда, наносимого сильными электростатическими полями.

### § 1. АЭРОИОНЫ В ПРИРОДЕ

Аэроионами называются взвешенные в воздухе заряженные частицы, имеющие один элементарный заряд (т.е. избыток или недостаток одного электрона), движение которых определяется, помимо прочего, также и действием электрического поля [1–8].

Основными естественными источниками ионизации воздуха являются космические лучи и радиоактивные частицы, рассеянные в воздухе и в земной коре. В нижних слоях атмосферы основными ионизаторами являются радиоактивные вещества, в верхних – космические лучи солнечного и галактического происхождения (за их счет на высоте 4 км образуется в 7 раз больше, а на высоте 15 км в 150 раз больше ионов, чем у поверхности земли). Ионизирующее значение длинноволнового ультрафиолета (коротковолновый весь поглощается на высоте 20–40 км) незначительно. Следует отметить, что в воздухе радиоактивные вещества появляются в основном вследствие

распада газов торона и радона. Такой распад сопровождается радиоактивным (ионизирующим) излучением – альфа, бета и гамма. Гамма-излучение, по всей вероятности, является основной причиной ионизации воздуха в приземном слое толщиной в сотни метров, в то время как альфа и бета-излучение ионизируют воздух непосредственно в приповерхностном слое толщиной десятки сантиметров. Существуют и временные, местные ионизаторы – такие как грозы, пылевые и снежные бури, водопады, горные реки, прибор. Известно, например, что при гидроаэроионизации в случае распыления морской или вообще минерализованной воды преимущественно образуются ионы. В результате всех этих процессов, а также явлений биологической жизни и производственной деятельности человека в окружающей нас среде устанавливается та или иная концентрация аэроионов.

Непосредственно в актах ионизации рождаются свободные электроны и положительно заряженные ионы основных ( $O_2^+$ ,  $N_2^+$ ) и примесных ( $H_2O^+$ ,  $NO_2^+$ ,  $CO_2^+$ ) компонентов воздуха. Электроны очень быстро (за доли микросекунды) прилипают к молекулам, обладающим т.н. «электронным сродством». Это молекулы кислорода  $O_2$  и кислородосодержащие соединения:  $H_2O$ ,  $NO_2$ ,  $CO_2$ . Однако, молекулярные ионы также живут недолго – не более единиц микросекунд. Очень быстро на них «налипают» нейтральные молекулы, образуя заряженные молекулярные кластеры из 10–20 молекул на один ион (меньше на отрицательные ионы, больше – на положительные). Эти заряженные кластеры существуют достаточно долго. Принято называть их «легкими ионами». Длительность существования легких ионов составляет секунды и минуты. В конце концов они прилипают к всегда существующим в воздухе большим частицам – пылинкам, аэрозолям, капелькам тумана, ледяным кристалликам и пр. Результирующие образования называются «тяжелыми ионами», их судьба определяется не аэрономическими, а метеорологическими процессами.

В исследованиях электродинамических эффектов в сплошных средах (газах, жидкостях и пр.) наличие ионов проявляется как появление электропроводности, ее величина определяется подвижностью ионов, т.е. коэффициентом пропорциональности между величиной электрического поля и скоростью, приобретаемой ионом в этом поле. Подвижность численно равна средней скорости аэроионов в электрическом поле с единичной напряженностью. Единица измерения подвижности  $см^2В^{-1}с^{-1}$ . Очевидно, что чем больше ион, тем меньше скорость, которую он приобретает в одном и том же электрическом поле, т.е. тем меньше его подвижность. По подвижности ионы подразделяются на 5 групп. Они перечислены в таблице 3.1 [9].

Таблица 3.1

Тип иона	Подвижность, $см^2В^{-1}с^{-1}$	Размер, $10^8$ см
Лёгкие	более 1,0	7–8
Средние	1,0–0,01	8–80
Тяжелые	0,01–0,001	80–250
Ионы Ланжевена	0,001–0,0002	250–550
Сверхтяжелые	менее 0,0002	550–1000

В принципе, при столкновении положительного и отрицательного ионов, они могут рекомбинировать, однако реально эти процессы очень редки. Более эффективным каналом исчезновения ионов является их вынос с потоками воздуха либо (если речь идет о помещениях) осаждение их на поверхностях – стенах, потолке и пр. В зависимости от соотношения интенсивностей процессов ионизации и деионизации устанавливается определенная степень ионизованности воздуха. Так как деионизация может происходить с различной скоростью для ионов разных знаков, их концентрация может быть различной. Определение количества ионов и их полярности осуществляется счетчиками ионов. По результатам измерения рассчитывается показатель полярности. Показателем полярности  $\Pi$  является отношение разности плотностей ионов положительной  $n^+$  и отрицательной  $n^-$  полярности к их сумме, т.е.

$$\Pi = (n^+ - n^-) / (n^+ + n^-).$$

Показатель полярности может изменяться от +1 до -1. При равенстве количества ионов положительного и отрицательного знаков  $\Pi=0$ .

Другой, часто используемый показатель ионизации воздуха – это коэффициент униполярности

$$K_y = n^+ / n^-.$$

Эти величины ( $\Pi$  и  $K_y$ ) связаны соотношением

$$\Pi = (K_y - 1) / (K_y + 1); \quad K_y = (\Pi + 1) / (\Pi - 1).$$

За городом, в деревне или в горах число легких аэроионов обоих зарядов в воздухе в солнечный день доходит до 800–1000 в 1 см<sup>3</sup>, на некоторых курортах их число поднимается до нескольких тысяч, при этом тяжелых ионов в таком воздухе относительно немного (нет пыли, капелек тумана и других частиц, на которые могли бы осесть легкие ионы). В воздухе городов число легких ионов может упасть до 50–100, а тяжелых – возрасти до десятков тысяч в 1 см<sup>3</sup>. В центре наиболее загазованных автотранспортом городов концентрация легких ионов может снижаться до 20 на 1 см<sup>3</sup>. Более детально эти данные выглядят следующим образом.

**Горный район.** В районе Эльбруса в зоне размещения лаборатории Терскол (высота 2200 м) концентрация легких отрицательных ионов находится в пределах  $n^- = 1800–2600$  ион/см<sup>3</sup>, легких положительных ионов  $n^+ = 1800–2800$  ион/см<sup>3</sup>. Коэффициент униполярности  $K_y = 1,0–1,1$ . Количество тяжелых положительных ионов соответствует  $N^+ = 5000–10000$  ион/см<sup>3</sup>, тяжелых отрицательных  $N^- = 5000–8000$  ион/см<sup>3</sup>,  $K_y = 1,1–1,2$ .

На высоте 4500 м (Ледовая база) концентрация легких ионов соответствует:  $n^+ = 3100$  ион/см<sup>3</sup>,  $n^- = 2000$  ион/см<sup>3</sup>,  $K_y = 1,4$ . Количество тяжелых ионов было меньше, чем в обсерватории Терскол:  $N^+ = 6000$  ион/см<sup>3</sup>,  $N^- = 4000$  ион/см<sup>3</sup>,  $K_y = 1,5$ .

**Прибрежная зона Черного моря.** В различных точках прибрежной полосы Черного моря (Гурзуф) на расстоянии 1–2 км от берега моря, количество легких ионов удерживается на относительно постоянном уровне:  $n^+ = 900–1000$  ион/см<sup>3</sup>,  $n^- = 700–800$  ион/см<sup>3</sup>.  $K_y = 1,0–1,1$ . Количество тяжелых ионов колеблется в пределах:  $N^+ = 10000–15000$  ион/см<sup>3</sup>,  $N^- = 6000–7000$  ион/см<sup>3</sup>,  $K_y = 1,6…2,1$ .

На расстоянии 100 метров от моря, во время шторма (баллоэлектрический эффект) отмечается выраженное преобладание положительных ионов (гидроионов):  $n^+ = 2600–10000$  ион/см<sup>3</sup>,  $n^- = 1000–3000$  ион/см<sup>3</sup>; тяжелых ионов:  $N^+ = 2000–3000$  ион/см<sup>3</sup>,  $N^- = 1000–1300$  ион/см<sup>3</sup>. Преобладание положительных гидроионов при баллоэлектрическом эффекте морской воды обусловлено наличием в воде солей (NaCl).

**Лесная и прибрежная зоны Финского залива.** Измерения ионизации проводились на территории Главной геофизической обсерватории им. Воейкова (пос. Воейково), на берегу Финского залива и в лесу в районе Репино и Сестрорецка.

В лесу количество легких ионов соответствует:  $n^+ = 1070$  ион/см<sup>3</sup>,  $n^- = 1020$  ион/см<sup>3</sup>,  $K_y = 1,1$ .

Берег Финского залива характеризуется несколько меньшей концентрацией аэроионов:  $n^+ = 860$  ион/см<sup>3</sup>,  $n^- = 860$  ион/см<sup>3</sup>,  $K_y = 1,0$ . Как видим, в лесу количество ионов больше, что объясняется способностью растительного покрова повышать ионизацию за счет усиления поступления радиоактивных эманаций из почвы и фотоэффекта на поверхности листьев. Кроме того, в лесу ослаблено турбулентное и конвективное перемешивание воздуха, что приводит к увеличению концентрации легких ионов.

Таким образом, измерения ионизации в открытой атмосфере показали, что в различных природно-географических районах количество легких ионов находится в пределах 600–2500 пар ионов в 1 см<sup>3</sup>, концентрация тяжелых ионов имеет более широкие колебания 5000–30000 пар ионов в 1 см<sup>3</sup>.  $K_y = 1,0…1,5$ . Количество легких аэроионов зависит от чистоты воздушной среды. Наибольшая концентрация легких ионов наблюдается в горах.

**Производственные помещения.** На многих промышленных предприятиях для создания нормальных санитарно-гигиенических условий воздушной среды установлены кондиционеры. В результате прохождения воздуха через кондиционирующие устройства происходит его обеспыливание и, при необходимости, увлажнение. Однако, одновременно с обеспыливанием нагнетаемого воздуха наблюдаются значительные изменения его электрических свойств. На московских предприятиях, в помещениях, где включены кондиционеры, проводились исследования ионизации воздушной среды. Обобщенные результаты таких исследований приведены ниже в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Место наблюдений	$n^+$	$N^+$	$n^-$	$N^-$
Участки сборки и монтажа на предприятиях электронной промышленности.	300–1500	4000–5000	200–500	3000–4000
Участки сборки и монтажа на предприятиях автоматики и приборостроения.	100–280	480	100–200	0
Помещения для монтажа электронного оборудования на предприятиях машиностроительной промышленности.	700–900	3000–6000	500–700	4000–5000
Помещения электронно-вакуумной технологии 1-го класса («чистые комнаты»)	19–60	0	21–70	0

Как видно из приведенной таблицы, в помещениях с кондиционированным воздухом количество легких ионов колеблется в пределах 300–500 пар ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха, количество тяжелых ионов соответствует 4000–5000 пар ионов в 1 см<sup>3</sup>. В помещениях по производству микросхем технологический процесс требует особой регламентации воздушной среды. В связи с этим в помещениях 1-го класса кондиционеры оборудованы специальными фильтрами предварительной и тонкой очистки среды. В результате прохождения воздуха через систему фильтров происходит не только его полная очистка от пылевых частиц, но при этом на фильтрах оседают и аэроионы всех полярностей – воздух деионизируется. Ионметрические измерения в чистых комнатах предприятий электронной промышленности Москвы свидетельствуют о выраженной аэроионной недостаточности в помещениях по изготовлению микросхем, когда количество  $n^+$  составляет 19–60 ион/см<sup>3</sup>,  $n^-$  = 21–70 ион/см<sup>3</sup>.

Сравнительный анализ полученного материала показывает, что на земной поверхности, в различных ее природных зонах, всегда поддерживается определенный уровень аэроионизации, то есть наличие отрицательных и положительных аэроионов, являющихся экологическим фактором. При кондиционировании воздуха происходит частичная или полная его деионизация, в частности в помещениях по изготовлению микросхем, где создается высокая очистка воздушной среды от пылевых частиц, наблюдается значительный дефицит положительных и отрицательных ионов.

## § 2. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ АЭРОИОНОВ

### История вопроса.

Влияние аэроионов на бактерии, клетки и растения. Исследования влияния «атмосферного электричества» на растения насчитывают не один век. В 1748 году аббат Нолет сообщал об экспериментах, в которых он «электризовал» растения, поместив их под заряженные электроды. Он наблюдал ускорение прорастания и роста. Грандей (1879) наблюдал, что растения, которые не подвергались влиянию атмосферного электричества, так как были помещены в ящик, закрытый проволочной заземленной сеткой, достоверно демонстрировали уменьшение веса на 30–50% по сравнению с контрольными растениями. Наблюдалось изменение содержания сахара и крахмала. Лемстрем (1902) подвергал растения действию ионов воздуха, располагая их под проволокой, снабженной остриями и подключенной к источнику высокого напряжения (1 метр над уровнем земли, ток ионов  $10^{11}+10^{12}$  А/см<sup>2</sup>). Он обнаружил увеличение в весе и длине больше чем на 45% (например, морковь, горох, капуста). Хестерман (1910) ионизировал растения подвешивая над ними на высоте 2,5 метра медные проволоки, подключенные к источнику высокого напряжения. Он наблюдал увеличение в весе вплоть до 25%.

Эти и последующие исследования позволили выявить тот факт, что биологическое действие атмосферных ионов не зависит от функционирования кровеносно-сосудистой и нервной систем. Это также было подтверждено результатами, полученными в исследованиях влияния ионов на бактериальные и клеточные культуры. Так, при изучении культуры чистых клеток, были обнаружены статистически достоверные отличия в скорости размножения таких культур. Воспроизведение клеток ускорялось под действием отрицательной ионизации и замедлялось при положительной ионизации.

Влияние аэроионов на животных. Было выполнено большое число экспериментов, касающихся биоклиматического действия атмосферных ионов. К наиболее ранним

работам относятся работы по изучению влияния ионов на разнообразные функции, как, например, выносливость, двигательную активность, рост животных, производительность животных, (яйценосность, молочность и т.п.), силу животных, слюноотделение, наличие бактерий в слюне, вес, частоту пульса, давление крови, частоту дыхания, нервную систему, эндокринные железы, метаболизм, заживляемость ран. Большинство экспериментов выполнялось с высоковольтным коронарным генератором ионов.

Положительные ионы вызывают увеличение содержания протеина в крови, уровня сахара в крови и уменьшение скорости оседания красных кровяных клеток и секреции желудочного сока. Кроме того, положительные ионы уменьшают содержание щелочи сыворотки крови и увеличивают число белых и красных кровяных клеток, уровень сахара в крови, частоту пульса и давление крови.

На основании многочисленных исследований биоклиматического действия атмосферных ионов можно сделать выводы, что ионы действительно имеют измеряемое влияние на биологические системы. Было найдено, что количественно изменения, вызываемые ионами, в основном характеризуются величиной 5–10%, но в некоторых случаях 50% и более. Обнаружено, что большинство изменений, вызванных аэроионами, наблюдается только пока продолжается действие аэроионов.

Терапевтическое действие атмосферных ионов. Вскоре после того, как были открыты малые ионы и были исследованы их разнообразные биоклиматические действия, в медицину была введена терапия ионами воздуха. Уже в 1748 году Холет изучал влияние ионов, созданных разрядом высокого напряжения, на больных субъектов. Через сто пятьдесят лет Ачкинас и Каспари сообщили, что в некоторых областях, где была распространена горная болезнь, концентрация положительных атмосферных ионов была обычно высокой. Кзермак приписывал некоторые из наблюдаемых им эффектов увеличению концентрации атмосферных ионов. Например, в дни когда люди чувствительные к погоде, чувствуют себя особенно плохо, отношение концентрации положительных атмосферных ионов к отрицательным было высоким.

Заметный вклад в эту область сделал Б. Франклин, борев за независимость США и права негров, президент, философ, экономист, очарованный электричеством изобретатель. Известно, что он придумал громоотвод и первым предложил использовать атмосферное электричество в лечебных целях. В его честь такое лечение назвали франклиннизацией. А медицинскую электростатическую машинку с паукообразным электродом, который, как люстру, подвешивали над головой пациента, американцы до сих пор называют Франклином.

В 1910 году Стефенс пришел к заключению, что некоторые ревматические и нервные расстройства усиливались при соответствующем уменьшении концентрации отрицательных атмосферных ионов. Он установил, что «ионная терапия», в которой используются искусственно созданные отрицательные ионы воздуха, нейтрализует влияние низкой природной концентрации этих ионов. Большое число экспериментов, направленных на использование атмосферных ионов в качестве терапевтических агентов, было выполнено Дезауэром с сотр. Эти авторы нашли, что влияние искусственно созданных ионов на больных людей значительно, чем на здоровых, что позднее было подтверждено другими авторами. Субъектам с высоким давлением крови, например, было свойственно уменьшение давления при воздействии на них ионизированным воздухом, причем это уменьшение было заметнее, чем у субъектов с нормальным давлением крови. В противоположность результатам биологических экспериментов, во мно-

гих случаях, ионы вызвали облегчение на протяжении сравнительно длительного периода (иногда навсегда). Это было свойственно субъектам, страдающим астмой, гипертонией, ревматическими болезнями и различными климатическими нарушениями.

Много работ в области исследований терапевтического действия атмосферных ионов было выполнено А.Л. Чижевским [15]. Он собрал достаточно убедительные доказательства в поддержку своей гипотезы о благотворном действии отрицательного электричества и негативном – положительного. А.Л. Чижевский впервые установил, что животные в профильтрованном через ватный тампон воздухе заболевают и погибают именно вследствие отсутствия аэроионов (в таком воздухе животные испытывают аэроионное голодание). Если же после фильтрации воздух снабдить отрицательными аэроионами, то животные чувствуют себя хорошо.

Хотя в целом результаты, полученные на этом этапе исследований, не вызывают сомнений в существовании эффекта, но с точки зрения современных требований к «чистоте» экспериментов и достоверности результатов, постановка работ на этом этапе была небезупречна. В частности, в них невозможно было отделить непосредственное влияние сильного электрического поля на организмы от влияния генерируемых в этом поле ионов.

#### Организация мониторинга аэроионов.

В естественных природных условиях в воздухе незамкнутых пространств (воздух лесов, полей, морей и гор) всегда имеются положительно и отрицательно заряженные аэроионы – следовательно человеку, животным и растениям уже генетически предопределено дышать ионизированным воздухом.

В соответствии с нормами повышенная и пониженная концентрации легких аэроионов в воздухе отнесены к группе физически вредных факторов. В настоящее время принятыми нормативными документами определена необходимость систематического контроля наряду с такими метеопараметрами воздуха в рабочих помещениях как температура, влажность, скорость движения воздуха, содержание в воздухе озона, также и уровень концентрации аэроионов. Контроль должен осуществляться санитарно-промышленными лабораториями предприятий по графику, согласованному санитарно-эпидемиологической службой.

Одними из первых документов, определивших вредное влияние деионизированного воздуха на организм человека, был государственный стандарт [10] и санитарные нормы [9], определившие, что повышенная или пониженная ионизация воздуха относится к группе вредных физических факторов.

После принятия Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» были разработаны и приняты новые Санитарные Правила [12].

Требования к аэроионному составу воздуха распространяются на производственные и общественные помещения, где может иметь место аэроионная недостаточность или избыток аэроионов включая:

- гермозамкнутые помещения с искусственной средой обитания;
- помещения, в отделке и (или) мебелировке которых используются синтетические материалы или покрытия, способные накапливать электростатический заряд;
- помещения, в которых эксплуатируется оборудование, способное создавать электростатические поля, включая видеодисплейные терминалы и прочие виды оргтехники;
- помещения, оснащенные системами (включая централизованные) принудительной вентиляции, очистки и (или) кондиционирования воздуха;
- помещения, в которых эксплуатируются аэроионизаторы и деионизаторы;

- помещения, в которых осуществляются технологические процессы, предусматривающие плавку или сварку металлов.

Нормируемыми показателями аэроионного состава воздуха производственных и общественных помещений являются:

- концентрации аэроионов (минимально допустимая и максимально допустимая) обеих полярностей, определяемые как количество аэроионов в одном кубическом сантиметре воздуха (ион/см<sup>3</sup>);
- коэффициент униполярности  $K_y$  (минимально допустимый и максимально допустимый), определяемый как отношение концентрации аэроионов положительной полярности к концентрации аэроионов отрицательной полярности.

Минимально и максимально допустимые значения нормируемых показателей определяют диапазоны концентрации аэроионов обеих полярностей и коэффициента униполярности, отклонения от которых могут привести к неблагоприятным последствиям для здоровья человека. Значения нормируемых показателей концентраций аэроионов и коэффициента униполярности приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Нормируемые показатели	Концентрация $n^+$ (ион/см <sup>3</sup> )	Концентрация $n^-$ (ион/см <sup>3</sup> )	Коэффициент униполярности
Минимально допустимые	$n^+ \geq 400$	$n^- \geq 400$	$0,4 < K_y < 1,0$
Максимально допустимые	$n^+ < 50000$	$n^- < 50000$	

В лечебных целях могут применяться другие показатели аэроионного состава воздуха, если это предусмотрено утвержденными в установленном порядке методиками лечения или применения аэроионизаторов.

### § 3. ЛЕЧЕБНОЕ ДЕЙСТВИЕ АЭРОИОНОВ

В настоящее время наблюдается оживление интереса к аэроионизации и аэроионотерапии. Широкое применение аэроионов связано с осознанием их важной роли в естественной среде обитания человека, со все большим обращением современной профилактической и лечебной медицины к естественным регуляторам жизнедеятельности человеческого организма. Отражением этого возросшего интереса является, в частности, такой знаменательный факт как появление, начиная с 1989 г., отдельной рубрики «Аэроионы» в самом полном справочно-библиографическом издании по медицинской биологии публикациям «Index Medicus», выпускаемом в США.

При исследовании внутренних процессов в организмах, подвергающихся аэроионным воздействиям, выявлены разнообразные изменения физиологических и биохимических показателей функционального состояния различных систем. Как правило, вызываемые аэроионами сдвиги не очень значительны, поэтому важнее проследить весь спектр инициируемых аэроионами реакций, не задерживаясь на количественной характеристике этих реакций.

Обнаружено влияние аэроионов на частоту сердечных сокращений и дыхания, уровень сахара крови, амплитуду электрических потенциалов головного мозга, уро-

вень разнообразных ферментов крови, фосфора и холестерина, интенсивность окислительных процессов в тканях, функцию пищеварительных желез. Заслуживают внимания данные о задержке развития экспериментального авитаминоза В<sub>6</sub>С<sub>6</sub>Д при действии отрицательных аэроионов, что объясняется их стимулирующим действием на образование витаминов в организме и накопление последних в крови и тканях. Во всех указанных случаях было отмечено, что направленность влияния (усиление или ослабление соответствующего процесса) зависит как от характера самого воздействия (положительно или отрицательно заряженные ионы, их концентрация, длительность воздействия), так и от исходного состояния самого процесса, ткани, организма. Другими словами, аэроионы могут оказывать регулирующее, нормализующее воздействие, необходимо только подобрать нужные условия. Однако, учитывая небольшую величину вызываемых аэроионами реакций, в каждом конкретном случае надо очень тщательно подходить к доказательству на основе статистических методов реальности наблюдаемых сдвигов, большое значение при этом имеет подбор контрольных групп.

Из многообразных влияний аэроионов на организм наиболее тщательно исследованы реакции со стороны следующих систем: сердечно-сосудистой и дыхательной, нервной, крови.

Аэроионы оказывают нормализующее влияние на различные показатели деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Так, В.А.Тищенко при обследовании пациентов с различной патологией дыхательных путей отметила увеличение коэффициента использования кислорода под влиянием аэроионов: в группе с хроническими бронхитами с (32±2,3)% до (42,3±3,2)%, т.е. в 1,33 раза; в группе с затяжными пневмониями с (32,8±2,5)% до (40,1±2,5)%, т.е. в 1,22 раза; в группе с хроническими пневмониями с (29,7±3,2)% до (44,3±2,0)% т.е. в 1,49 раза. Ф.Г. Портнов [13] отметил благоприятное влияние аэроионов на показатели кровяного давления у больных гипертонической болезнью. У пациентов с 1 стадией болезни нижний и верхний уровни кровяного давления снижались на 13%, а у пациентов со 2 стадией болезни – на 10 и 14% соответственно. По данным того же Ф.Г. Портнова при использовании аэроионов в качестве дополнительного способа лечения больных атеросклеротическим кардиосклерозом ослабление болей в сердце происходило на 13% чаще, а снижение раздражительности – на 41% чаще.

Большой интерес представляет влияние аэроионов на нервную систему, вообще, и на психические процессы, в частности. В.М.Файбушевич обнаружил в клинике седативное и снотворное действие при ингаляции гидроаэроионов. О.П. Штамберг уточнил в эксперименте на мышцах, что эффект зависит от концентрации гидроаэроионов: при концентрации 10–30 тыс. отрицательных ионов в 1 куб. см воздуха и 2–6 тыс. положительных ионов – испытывали беспокойство. Считается, что ткань мозга вообще обладает наибольшей чувствительностью к действию аэроионов, при этом отрицательные аэроионы проявляют тенденцию к стимулированию, а положительные – к замедлению психических процессов. Существует мнение, что с помощью аэроионов можно повысить способность к обучению. Форноф и Гильберт [16] отметили, что поведенческие реакции и характеристики познавательной деятельности детей зависели от уровня аэроионов в окружающей их воздушной среде, притом неодинаково у детей разного нервного статуса. Бахман, МакДональд и Лоренц [17] обнаружили выраженное действие относительно низкой концентрации ионов разной полярности ( $4 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^4$  ион/см<sup>3</sup>) на

моторную активность и другие поведенческие реакции крыс. По данным И.Н. Малышевой [14] аэроионы оказывают благоприятное влияние на выработку силовых качеств и выносливости, активизируют процессы адаптации к холоду, снижают температурную чувствительность кожи. Во всем этом проявляется их неспецифическая общерегулирующая природа влияния. Немало внимания было уделено действию аэроионов на показатели системы крови, учитывая ее реактивность по отношению к самым разным типам воздействий на организм и ведущую роль в гуморальной интеграции организма. Еще в 30-х годах было показано, что отрицательные аэроионы вызывают увеличение числа эритроцитов и снижение числа лейкоцитов, а положительно заряженные ионы оказывают противоположное влияние. В дальнейшем было уточнено, что указанное влияние зависит от исходного уровня клеток, т.е. всегда направлено в сторону нормализации показателей. Есть сведения, что отрицательные ионы понижают, а положительные повышают свертываемость крови, повидимому, вследствие изменения заряда фибриногена. Влияние аэроионов на вязкость крови, в свою очередь, связывают с воздействием на уровень сывороточных глобулинов, при этом отрицательные ионы увеличивают, а положительные уменьшают вязкость крови. Что касается влияния аэроионов на СОЭ, то оно – замедляющее у отрицательных и ускоряющее у положительных и очевидно связано с непосредственным воздействием аэроионов на электрический заряд коллоидов кровяной плазмы и эритроцитов.

Каким же образом оказывают аэроионы все эти многообразные влияния на организм, каков механизм их действия?

Л.Л. Васильев [18,19] предложил в 30-х годах гипотезу органического электрообмена, согласно которой между организмом и внешней средой постоянно совершается электрообмен, состоящий из фаз легочного и тканевого электрообмена. Большое значение придавалось отечественными исследователями нейрорефлекторному, через рецепторы дыхательных путей механизму действия аэроионов.

Более плодотворными и, главное, обоснованными и проверяемыми оказались другие представления о возможных механизмах действия аэроионов. А. Крюгер [20] выдвинул серотониновую гипотезу, согласно которой аэроионы с отрицательным зарядом, в первую очередь кислород, ускоряют распад серотонина, в результате чего снижается уровень этого биологически активного амина, играющего роль во многих процессах, осуществляющихся в организме, в частности в регуляции сосудистого тонуса, микроциркуляции, в передаче нервных импульсов в головном мозге. Реальность предложенного механизма может быть проверена в определенной мере по выделению метаболита серотонина-оксииндолилуксусной кислоты.

Обнаружено влияние аэроионов еще на одну важную регулируемую систему в организме, каковой является система гипофиз – кора надпочечников (Холлуэй [21]).

Ф.Г. Портнов [13] представил доказательства воздействия аэроионов на процессы перекисного окисления липидов, определяющие в значительной мере состоянием мембран. Автор считает возможным объяснить с позиций перекисного механизма такие проявления действия аэроионов, как повышение устойчивости к действию ионизирующих излучений, гипоксии, токсических веществ.

Таким образом, аэроионы, будучи задействованы в регуляторно-метаболических процессах организма и осуществляя определенную связь между внешней и внутренней средой организма, оказываются удобным способом воздействия на организм с целью его лечения, оздоровления или тренировки и подготовки к встрече с неблагоп-

приятными условиями. Главным принципом грамотного применения аэроионов при воздействии на организм является учет неспецифического характера действия, зависящего от исходного состояния организма. Отсюда вытекает необходимость учета индивидуальной реактивности, выбор знака заряда аэроионов, коррекция их дозирования в процессе курса воздействия, подбор оптимального генератора (так для жаркого сухого климата предпочтительнее гидроаэроионизатор, а в условиях влажного климата – электроэффлювиальный, радиоактивный или термоэлектронный ионизаторы).

Аэроионы применяются с лечебной целью при заболеваниях дыхательной и сердечно-сосудистой систем, при функциональных расстройствах центральной нервной системы (нейро-циркуляторная дистония по гипертоническому типу, невралгия).

Местное воздействие аэроионами, или аэроионный массаж, рекомендуется при вяло заживающих ранах и трофических язвах, дерматозах, заболеваниях периферической нервной системы (невралгии, радикулит).

Противопоказаниями к применению аэроионов являются сердечно-сосудистая и легочная недостаточность 1–2 степени, почечная недостаточность, выраженный склероз сосудов, склонность к спазмам сосудов сердца и головного мозга, состояние после инфаркта миокарда или инсульта, ревматизм в активной стадии, туберкулез в активной форме, склонность к кровотечениям, эпилепсия, злокачественные и доброкачественные новообразования, повышенная чувствительность к аэроионам.

Есть все основания ожидать в ближайшее время расширения возможных областей применения аэроионов как в лечебных, так и в оздоровительных, гигиенических и мобилизующих резервные возможности организма целях.

При подготовке материалов этого параграфа использовалась работа [22].

#### § 4. АЭРОИОНЫ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Представляет интерес рассмотрение вопроса о факторах, определяющих концентрацию ионов в воздухе в естественных условиях. Как отмечалось выше, ионы в приземных слоях атмосферы рождаются вследствие ионизации воздуха альфа-, бета- и гамма-излучениями продуктов распада радия и тория. Дальнейшая судьба ионов определяется геоэлектрическим полем. Это поле, величиной около 130 В/м (в среднем по поверхности суши) обусловлено метеорологическими эффектами (облака, осадки, метели и т.п.). Направление поля соответствует отрицательному заряду земли и положительному – верхних слоев атмосферы. Существование геоэлектрического поля было обнаружено в XIX веке, а в 1922 г. К. Вильсоном [1] было высказано предположение о том, что заряженность атмосферы поддерживается грозями. На основе предположения была создана и до настоящего времени существует так называемая грозевая модель атмосферного электричества, согласно которой грозы на Земле работают как источники тока, включенные параллельно в электрическую цепь, проходящую через стратосферу, атмосферу в областях хорошей погоды и земную поверхность [2]. Именно аэроионы в геоэлектрическом поле обеспечивают токи в атмосфере хорошей погоды. Средняя плотность таких токов равна примерно  $(2-3) \cdot 10^{-12}$  А/м<sup>2</sup>, что соответствует потоку носителей заряда J примерно  $(1-2) \cdot 10^3$  ион/см<sup>2</sup>с. Если этот ток переносится легкими ионами, которые характеризуются подвижностями 1 см<sup>2</sup>/В с (см. таблицу 3.1), то в геоэлектрическом поле их плотность должна быть равна примерно 1000 ион/см<sup>3</sup>. Если перенос идет за счет средних ионов (их подвижность в 10 раз меньше чем у легких), то их плотность должна быть в 10 раз боль-

ше, т.е. примерно 10 000 ион/см<sup>3</sup>. Для тяжелых ионов с подвижностью в 30 раз меньшей, чем у легких, плотность должна быть примерно 30 000 ион/см<sup>3</sup>. Заметим, что именно такие плотности регистрируются в местностях с чистым воздухом в условиях хорошей погоды (см. § 1). Если бы процесс переноса ионов определялся только электрическим полем, можно было бы наблюдать стратификацию ионов по высоте – в приземном слое были бы только легкие отрицательные ионы, движущиеся вверх, а положительные, движущиеся под действием электрического поля вниз, уходили бы в почву. По мере подъема легкие отрицательные ионы обрастают слоями нейтральных молекул и через несколько минут, успев подняться на высоту в несколько метров, трансформируются в тяжелые отрицательные ионы. Последние, накапливаясь и увеличивая свою концентрацию, продолжают движение вверх. Реально, однако, появлению такой стратификации мешает ветровое перемешивание воздуха в приземных слоях атмосферы. Вместе с воздухом перемешиваются и ионы, это обстоятельство может существенно изменить картину их распределения. Решение такой задачи – расчет концентраций ионов с учетом движения воздуха – представляется куда более сложным, чем приведенные выше оценки. Можно полагать, однако, что практическая ценность «точных» решений будет невелика, т.к. с ростом точности расчетов будет расти и их вариабельность. Практический интерес будут представлять некоторые усредненные величины, по порядку близкие к полученным выше оценкам, а по дисперсии – к ошибкам этих оценок.

Возвращаясь к вопросу о факторах, определяющих концентрацию ионов в воздухе, можно отметить качественный результат, следующий из проведенных выше оценок: концентрация ионов убывает пропорционально росту величины электрического поля. Нетрудно видеть, что этот результат непосредственно следует из предположения о постоянстве потока ионов J. Последнее вполне обосновано, так как этот поток определяется скоростью рождения ионов в актах ионизации воздуха. Для определенного места эта скорость меняется сравнительно мало (не более чем в разы) в зависимости от времени суток, сезона, метеословий и пр. Таким образом, связь концентрации ионов и величины электрического поля можно принять за основу при прогнозировании эффектов естественного или техногенного увеличения или уменьшения этого поля.

Практически приемлемо будет распространить эту зависимость и на помещения с открытой (без фильтров) вентиляцией. Если принять этот качественный результат, можно оценить, что при увеличении поля до значения 20 кВ/м, которое регламентируется в действующих нормативных документах (см. гл. 4), концентрация легких ионов может уменьшиться до 5–10 ион/см<sup>3</sup>. Эта величина существенно меньше минимально допустимой нормируемой концентрации ионов (см. § 2).

Представляется вполне разумным предположение, что дефицит аэроионов в воздухе рабочих помещений с высоким уровнем электростатического (и более обще – медленно меняющегося) поля является именно тем гигиеническим фактором, который непосредственно действует на самочувствие и здоровье работников.

Если это так, то в качестве мер профилактики можно либо уменьшать уровень полей, либо искусственно поддерживать гигиенический уровень концентрации аэроионов, используя источники ионов. Аэроионизаторы следует устанавливать также и в помещениях, к которым предъявляются повышенные требования по чистоте подаваемого в них воздуха, так как для достижения высокой степени чистоты (единицы – десятки частиц пыли с размерами 0,5 мкм и более в 1 дм<sup>3</sup> воздуха) воздух пропускают через фильтры тонкой очистки, в результате чего он практически полностью деионизируется.

## § 5. ВОПРОСЫ ИСКУССТВЕННОЙ АЭРОИОНИЗАЦИИ

При искусственной аэроионизации химическая и физическая природа аэроионов, как правило, отличается от природной. Одной из главных причин этого является химический состав газовой среды: в помещение любого здания в результате процессов загрязнения окружающей среды проникают различные примеси, в том числе и вредные вещества, например, оксиды азота, аммиак, галоиды, диоксиды углерода, серы и пр. При этом увеличивается вредное воздействие отрицательно заряженных молекул примесей, что необходимо учитывать при внедрении аэроионизаторов в помещениях. Химический состав легких аэроионов зависит от химического состава воздушной среды в целом. Газовый состав воздушной среды в природе существенно отличается от газового состава внутренней среды зданий – по этой причине аэроионизация в помещениях никогда не сможет заменить собой целебный природный воздух. Вклад каждого вида молекулярных ионов в дискомфорт или в комфорт воздушной среды, окружающей человека, различен.

Аэроионы, вырабатываемые ионизатором, даже при длительной его работе, не могут распределиться в замкнутом воздушном объеме равномерно. Их концентрация максимальна вблизи ионизатора и быстро убывает по мере удаления от него. Объясняется это тем, что время существования (время жизни) легких аэроионов в воздухе ограничено и тем меньше, чем сильнее загрязнен воздух различными аэрозольными частицами. В бытовых условиях среднее время жизни легких аэроионов практически не превышает десятка секунд, за это время они проходят расстояние не более десятков сантиметров.

В последние годы ионизаторы получили широкое распространение в качестве очистителей воздуха от микроорганизмов и микропримесей (сигаретный дым, выхлопные газы). Производители данных устройств в технической документации часто указывают высокую степень очистки воздуха от микроорганизмов (до 95%). Однако профессионально проведенные исследования изменения уровня микробиологического загрязнения воздуха в медицинских помещениях с и без ионизации это не подтверждают. Реальное снижение микробиологической контаминации воздуха обычно колеблется на уровне 32–52% в помещениях с ионизацией.

При искусственной аэроионизации на теле человека и на различных предметах в помещении появляются электростатические заряды, которые способны привести к электрической искре (электрическому пробое) между людьми, между человеком и электроприборами, а также внутри профессиональной и бытовой техники. Для человека эти разряды безопасны, а вот техника может выйти из строя (перегореть).

Искусственная ионизация воздуха в замкнутых помещениях с высокой влажностью и запыленностью воздуха, при большой скученности людей и без достаточно воздухообмена вызывает неизбежный рост тяжелых аэроионов, пыль задерживается в дыхательных путях на 40% больше – в этих случаях ионизация воздуха приносит вред. Ионизация не может использоваться для оздоровления воздуха закрытых помещений без осуществления всех других мер по нормализации его параметров. Поэтому нельзя рекомендовать везде и всюду устанавливать искусственные ионизаторы воздуха, так как необходимо комплексное решение задачи создания благоприятных условий жизнедеятельности для человека.

**Эффект фильтрации.** Сами ионизирующие излучатели не являются фильтрующими элементами. Аэрозольные частицы, захватывая легкие аэроионы, сами заряжа-

ются (или перезаряжаются) и выбрасываются сильным электрическим полем ионизатора на пол, стены, мебель и потолок. Аэрозольные частицы активнее собираются там, где сильнее электрическое поле, то есть вблизи ионизирующего электрода. Об этом необходимо помнить, если используется прибор типа «люстры Чижевского».

В некоторых моделях для осуществления процесса фильтрации воздуха аэроионизаторы комбинируют с электрофильтрами. Взвешенные в воздухе заряженные частицы, проходя с воздушным потоком через накопительные пластины мощного конденсатора, высаживаются на них. Эти пластины периодически необходимо вынимать и промывать дезинфекционными растворами, поскольку в них накапливается и размножается патогенная микрофлора. Опытами подтверждена высокая эффективность очистки воздуха от табачного дыма. Специфика работы систем этого типа заключается в том, что они периодически требуют технологической паузы в своей работе (желательно ежесуточно), во время которой осуществляется регенерация, то есть восстановление работоспособности фильтрующей среды. Накопительные пластины конденсатора подлежат обязательной дезинфекционной обработке, что влечет дополнительные финансовые расходы, занимает время и достаточно сложно.

В целом, однако, общая эффективность фильтрации воздуха таких комбинированных систем низкая и существенно уступает эффективности систем, использующих другие технологии фильтрации.

**Эффект стерилизации.** В процессе ионизации воздуха не происходит инактивации микроорганизмов и вирусов. Более того, происходит накопление патогенной микрофлоры внутри аэроионизатора и на поверхностях в помещении. Микрофлора продолжает размножаться, а её вторичный переход с поверхностей, где она удерживается аэроионами, обратно в воздушную среду (эффект реаэрозолирования) явление достаточно частое, поскольку после отключения прибора время существования (время жизни) аэроионов не превышает десятка секунд. Таким образом, риск вторичного перехода микроорганизмов с поверхностей в аэродисперсное состояние исключает возможность широкого применения данных устройств в помещениях с нормируемым уровнем обсемененности.

Для осуществления процесса стерилизации ионизацию воздуха часто объединяют с озонированием или ультрафиолетовыми генераторами. Такое объединение имеет низкую производительность, требует постоянного контроля и частого обслуживания генераторов, а также добавляет следующие негативные последствия:

- чрезмерную ионизацию очищенного воздуха,
- эмиссию озона и азотных окисей.

В таких случаях необходим мониторинг параметров воздуха: концентрации, подвижности и знака аэроионов в воздухе, а также газового состава воздуха в помещении.

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Приведенный в настоящем разделе краткий обзор вопросов, относящихся к биологическому действию аэроионов, очевидно, не исчерпывает всего круга проблем. Это и не предполагалось. Целью изложения было продемонстрировать возможное решение, на первый взгляд – неразрешимого, противоречия между вполне общим запретом непосредственного действия электростатического поля на ткани и системы живых организмов и достаточно надежными свидетельствами о существовании эффектов воздействия электростатических полей на человека.

Решение стало возможным после введения промежуточного агента, в качестве которого выступили аэроионы. При этом удается не только восстановить вполне правдоподобную, логически непротиворечивую причинно-следственную цепочку, но и предложить некоторые (оправдывающиеся на практике) выводы по мерам компенсации вреда, наносимого сильными электростатическими полями.

Вполне возможно, что аналогично можно будет найти решения и других проблем экологии воздействий ЭМП относительно небольшой амплитуды на человека, таких как влияние низкочастотных (в т.ч. промышленной частоты) магнитных полей, эффекты низкоуровневых СВЧ-излучений и т.п.

### ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 3

1. ФРЕНКЕЛЬ Я.И., Теория явлений атмосферного электричества, Л.-М. 1949.
2. ТВЕРСКОЙ П.Н., Атмосферное электричество, Л., 1949.
3. ИМЯНИТОВ И.М., Приборы и методы для изучения электричества атмосферы, М., 1957.
4. ИМЯНИТОВ И.М. и ШИФРИН К.С., Современное состояние исследований атмосферного электричества, «Успехи физических наук», 1962, т. 76, в. 4, С. 593;
5. ИМЯНИТОВ И.М. и ЧУБАРИНА Е.В., Электричество свободной атмосферы, Л., 1965.
6. ЧАЛМЕРС Дж.А. Атмосферное электричество. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.
7. КРАСНОГОРСКАЯ Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. – Л.: Гидрометеиздат. 1972. – 96 с.
8. СТЫРО Б.И., ОРЛОВА Н.В. Об определении размеров частиц аэрозоль, полученных в сухом обеспыленном воздухе при распаде радона// Физика атмосферы и океана, 1971. Т. VII. № 8. – 917 с.
9. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений № 2152 – 80.
10. Государственный стандарт «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.0.003-74».
11. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений». СанПиН 2.2.4.1294-03.
12. СОКОЛОВ А.П. Ионизация воздуха как биологический и терапевтический фактор. – Курортное дело, 1925, № 1–2, С.1.
13. ПОРТНОВ Ф.Г. Электроаэрозольтерапия. Рига, Зинатне, 1976.
14. МАЛЫШЕВА И.Н. Влияние отрицательного ионизированного воздуха на некоторые показатели закаленности и физической подготовленности. – Автореф. канд. дисс. М. 1069.
15. ЧИЖЕВСКИЙ А.Л. Влияние ионизированного воздуха на моторную и половую деятельность животных. Тр. Практич. каф. по зоопсихологии, М., 1928, вып. 1, С. 42–57.
16. K.T. Fornof, G.O. Gilbert. Stress and physiological, behavioral and performance patterns of children under varied air ion levels. - Int.J.of Biometeorol.,1988, 32:260–270.
17. Bachman C.H., McDonald R.D., Lorenz P.J. Some effects of air ion the activity of rats-Int J Biometeorol, 1966, v. 10, p. 39–46.

18. ВАСИЛЬЕВ Л.Л. Теория и практика лечения ионизированным воздухом, изд. 2, Л. 1953.

19. ВАСИЛЬЕВ Л.Л. Влияние атмосферных ионов на организм, Л. 1960.

20. Krueger A.P. The biological effects of gaseous ions In Aeroiontherapy, Milan, 1969.

21. Holloway R.J. The physiological effects of ionized air upon growth and adrenal system of rat. Thesis, univ. San-Franc. 1952.

22. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ Л.М. Краткий обзор основных аспектов применения аэроионизации и аэроионотерапии.



## ГЛАВА 4. ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЭМП

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Основными законодательными документами, обеспечивающими безопасность среды обитания для жизни и охрану труда в РФ, являются Конституция РФ и Федеральный закон Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.1999 г. Основными документами, нормирующими санитарные условия труда и быта, являются Санитарные Правила и Нормы (СанПиН), вводимые и утверждаемые Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (преемница бывшей Государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации).

В основе санитарной регламентации лежат исследования по частной гигиене труда и быта. В ходе этих исследований изучаются характер технологических процессов, производственного оборудования и рабочих операций, условия и характер труда, состояние здоровья и заболеваемость с временной утратой работоспособности отдельных профессиональных групп. Исследования проводятся, как правило, комплексно силами ряда специалистов: гигиенистов, профпатологов, химиков, инженеров по вентиляции, светотехников, инженеро-технологов и пр.

При гигиеническом анализе технологических процессов и оборудования особое внимание обращается на характер производственного процесса (непрерывный или сменный), степень механизации и автоматизации процессов, режим труда, возможность выделения в воздух вредных веществ, контакта кожи с агрессивными веществами, метеорологические условия, шум, вибрацию, ультразвук, наличие различных видов излучений, правильность размещения оборудования, удобство его обслуживания, состояние осветительных установок, эффективность санитарно-технических устройств и т.п.

После фиксации источников неблагоприятных производственных факторов дается количественная характеристика вредно действующих факторов. Результаты должны полно отражать условия труда при основных рабочих операциях, технологических процессах, на рабочих местах и т.д., а не представлять собой отвлеченные величины, например среднюю величину загрязнения воздуха в помещении в целом и т.п. Для конкретизации возможного влияния условий труда следует учитывать также длительность влияния вредно действующих факторов, для чего проводится хронометраж работы на протяжении нескольких рабочих дней. Это дает возможность установить суммарную длительность воздействия их в течение рабочего дня, уточнить наиболее опасные производственные операции и трудовые процессы.

Основное внимание в исследованиях по гигиене труда уделяется установлению связи состояния здоровья и заболеваемости работающих с условиями труда. Для этого используются материалы предварительных и периодических медицинских осмотров, диспансеризации, заболеваемости с временной утратой трудоспособности, обращаемости рабочих за медицинской помощью и др. Проводятся специальные обследования здоровья, изучается уровень отдельных нозологических форм с временной утратой трудоспособности среди основных профессиональных групп. Важное значение в гигиенических исследованиях приобретает изучение динамики изменений функцио-

нального состояния организма в процессе работы (сердечно-сосудистой системы, дыхания, центральной нервной системы и др.). Эти исследования позволяют судить о воздействии существующих форм организации труда и производственной среды на организм работающих, о необходимости и путях реализации режима труда, целесообразности введения активного отдыха и других мероприятий по физиологической организации трудового процесса.

Особо остро стоит проблема сохранения здоровья в профессиональных группах работников промышленности, науки, вооружения, специалистов управленческого и диспетчерского труда, служб испытаний и спасения, от эффективности «человеческого фактора» которых зависят показатели производственных процессов, обороны, снижение количества нештатных ситуаций: аварий, пожаров, взрывов. Сюда же надо отнести летчиков, машинистов, шоферов. Труд таких людей сопряжен со стрессовыми ситуациями и высокой степенью персональной ответственности, поэтому каждый из них сам по себе и их взаимодействующее сообщество должны обеспечить такие условия на рабочих местах, чтобы сохранить их адаптационные резервы и здоровье. Современные рабочие места таких специалистов насыщены электрическими и электронными приборами, средствами оргтехники, пультами управления и средствами связи. Вся эта техника размещается рядом с сотрудником и ее излучение негативно влияет на человека. Здесь нужны специфически жесткие нормы.

Конечным результатом исследований по гигиене труда является разработка санитарных правил и норм проектирования отдельных производств и организации рабочих процессов. Согласно «Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании» (утвержденном Правительством РФ 24.07.2000 г.), после выполнения процедур согласования проектов с заинтересованными ведомствами и регистрации в Министерстве юстиции СанПиНы становятся нормативными документами. Их соблюдение является обязательным для граждан, индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, а за их нарушение следует дисциплинарная, административная и уголовная ответственность.

Логическим продолжением гигиенических исследований комплексного воздействия санитарных условий труда, характера и организации трудовых процессов на состояние здоровья и работоспособность является разработка общегосударственных технических нормативных материалов, как например, правил по проектированию промышленных предприятий, требований к технологическим процессам и оборудованию и т.д. Конечным результатом этого процесса является разработка системы мер предотвращения возможных производственных вредностей, приводящих к острым и хроническим профессиональным заболеваниям, и условий, которые могут способствовать повышению уровня общей заболеваемости. Нормотворчество в этой области выражается, как правило, в виде Государственных Стандартов (ГОСТов) и регулируется Федеральным законом «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002 г.

Стандартизация осуществляется в целях повышения уровня безопасности жизни, здоровья граждан, а также жизни и здоровья животных и растений, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, окружающей среды, в том числе для содействия выполнению требований технических регламентов; стимулирования научно-технического прогресса; повышения конкурентоспособности продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии; экономии и рационального использования ресурсов; техниче-

кой и информационной совместимости; сопоставимости результатов измерений и испытаний, технических и экономико-статистических данных на международном и национальном уровнях; взаимозаменяемости продукции.

Государственные стандарты разрабатываются на продукцию, работы и услуги, имеющие межотраслевое значение. Требования, устанавливаемые государственными стандартами для обеспечения безопасности продукции, работ и услуг, для окружающей среды, жизни здоровья и имущества, для обеспечения технической и информационной совместимости, взаимозаменяемости продукции, единства методов контроля и единства маркировки, а также другие требования, установленные законодательством Российской Федерации, являются обязательными для соблюдения государственными органами управления, субъектами хозяйственной деятельности. Иные требования государственных стандартов к продукции, работам и услугам подлежат обязательному соблюдению субъектами хозяйственной деятельности в силу договора либо в том случае, если об этом указывается в технической документации изготовителя (поставщика) продукции, исполнителя работ и услуг.

Соответственно изложенному, в практической работе органов Федеральной службы проводятся как лабораторные исследования с целью гигиенической сертификации продукции, так и гигиеническая аттестация рабочих мест. Содержание этих работ и их аппаратное обеспечение различно и определяется различием их целей:

**Сертификация продукции:** фиксация факта соответствия продукции определенного типа эргономическим требованиям и требованиям безопасности по отношению к факторам, признанными вредными, влияние которых может привести к ухудшению здоровья пользователей. Результаты сертификации позволяют потенциальным пользователям произвести осознанный выбор конкретного типа продукции в целях обеспечения безопасных и безвредных условий труда, регламентации режимов труда и, кроме того, предотвратить ввоз в Россию потенциально опасной продукции и оборудования зарубежных фирм. В соответствии с действующей в РФ системой сертификации продукции гигиенический сертификат на отечественную продукцию оформляется перед ее реализацией, а на импортную – при пересечении границы, по результатам испытаний в специализированных аккредитованных лабораториях. Сертификационные испытания в специализированных лабораториях должны быть полностью обеспечены как нормативно-методическими документами, так и специализированной контрольно-измерительной аппаратурой и рабочими местами для проведения таких испытаний.

Так как сертификация по сути дела представляет собой часть технологического процесса, то для сертификации можно использовать так называемые «испытательные средства», представляющие собой часть технологического оборудования для производства сертифицируемой продукции. От измерительных приборов общего применения испытательные средства отличаются специфической областью своего применения – вне технологического процесса, для которого предназначено это средство, применение испытательных средств незаконно. Все средства измерений, используемые при сертификационных испытаниях, должны быть включены в Реестр средств измерений РФ.

**Аттестация рабочих мест:** определение совокупных уровней электрических и магнитных полей от всех электрических устройств, находящихся на рабочих местах или в непосредственной близости к ним. Аттестация проводится с целью принятия, в случае необходимости, решения о приведении рабочих мест пользователей в соответствие с требованиями санитарных правил и норм путем совершенствования оборудо-

вания и режима его работы, технологической оснастки, инструмента, целесообразно выбора и использования средств механизации, эргономических характеристик конструкций, оборудования, приборов, механизмов и др.

Аттестация рабочих мест производится:

- по заявке Заказчика;
- в порядке плановых контрольных измерений;
- после проведения защитных мероприятий, направленных на снижение уровней гигиенически-значимых факторов;
- при изменении ситуационных условий – размещения нового оборудования, перепланировке и перепрофилированию помещений, при изменении характера и режима работы оборудования.

При проведении обследования на рабочих местах или в учебных классах производится измерение как факторов (электромагнитных полей), источником которых является оборудование рабочих мест, так и их фоновых значений при выключенном оборудовании. Для этого при проведении аттестационных измерений должно быть включено не менее 2/3 единиц оборудования, которым оснащено рабочее место, техника должна работать в штатном режиме. В протокол обследований заносятся сведения об оборудовании рабочих мест – тип аппаратуры, ее серийный номер, места и даты изготовления. Отмечается наличие заземления, защитных фильтров, массивных металлических предметов вблизи рабочих мест и другая информация, которую необходимо учитывать при оценке результатов измерений.

Реальная ситуация, как обычно, сложнее описанной идеальной схемы. Не все ГОСТ'ы по безопасности труда опираются на соответствующие СанПиН'ы и наоборот – не все СанПиН'ы находят свое продолжение в ГОСТ'ах. Причины здесь могут быть вполне объективны – нельзя, например, откладывать принятие требований к технике до того, когда будет полная ясность с гигиеной, однако существуют организационные и ведомственные разногласия – государственные ведомства больше стремятся заниматься чужими делами, нежели своими прямыми обязанностями.

Основным документом, регламентирующим ЭМП в производственных условиях, являются СанПиН 2.2.4.1191-03, утвержденные 30.01.2003 г. [1]. Они действуют с 01.30.2003 г., их требования распространяются на работников, подвергающихся воздействию ослабленного геомагнитного поля, электростатического поля, постоянного магнитного поля, электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц), электромагнитных полей диапазона радиочастот.

## § 1. НОРМИРОВАНИЕ ПОСТОЯННЫХ И МЕДЛЕННО МЕНЯЮЩИХСЯ (СНЧ-ДИАПАЗОН) ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ

В настоящее время результаты выполненных исследований не могут четко обосновать предельные величины или другие обязательные ограничения для продолжительного облучения населения низкочастотными электромагнитными полями малых уровней.

В таких случаях обычно используется принцип т.н. «благоразумного предотвращения», суть которого состоит в том, что пока наши знания относительно связи между здоровьем и последствием облучения остаются неполными, но существуют силь-

ные подозрения относительно последствий для здоровья, необходимо предпринимать шаги по обеспечению безопасности, которые не связаны с тяжелыми расходами или другими неудобствами.

Подобный подход был использован, например, в начальной стадии работ по проблеме биологического действия неионизирующего излучения: подозрение рисков ущерба для здоровья, основанное на более-менее серьезных научных основаниях, должно само по себе составить достаточные основания для выполнения защитных мероприятий.

В настоящее время считаются недопустимыми как чрезвычайно большие, так и чересчур малые постоянные магнитные поля (см. гл. 2). Последние под названием «фактор ослабления ГМП» включены в состав факторов неионизирующих излучений, подлежащих обязательному периодическому контролю при аттестации производственных рабочих мест по тяжести, напряженности и безопасности труда [1–2]. Некомфортными считаются условия при действии на человека неоднородного, искаженного ГМП, а также если ориентация ГМП на рабочем месте отличается от таковой, характерной для данной местности.

Действие на персонал статического электрического поля с напряженностью от 20 до 60 кВ/м для времени пребывания от 8 часов и до одного часа в сутки вызывает у человека головные боли, раздражительность, повышенную утомляемость, нарушения сна, эмоциональную возбудимость.

Действие положительных потенциалов статического электричества на электризуемых предметах рабочего места, материалах мебели, половых покрытий, занавесок, если время утечки наведенных зарядов более 10 секунд, вызывает дефицит отрицательных ионов в воздухе, снижает работоспособность и нарушает суточный биоритм человека. Однако, несмотря на явную очевидность и значимость обязательной регламентации знака заряда СЭ и времени утечки наведенного заряда, определяющих безопасность рабочего места по отношению к СЭ, в отечественных и зарубежных гигиенических нормативных документах эти показатели отсутствуют.

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 на рабочих местах регламентируются:

- временные допустимые уровни (ВДУ) ослабления геомагнитного поля (ГМП),
- ПДУ электростатического поля (ЭСП),
- ПДУ постоянного магнитного поля (ПМП).

Оценка и нормирование ослабления геомагнитного поля на рабочем месте производится на основании определения его интенсивности внутри помещения, объекта, технического средства и в открытом пространстве на территории, прилегающей к месту его расположения, с последующим расчетом коэффициента ослабления ГМП.

Допустимый коэффициент ослабления интенсивности геомагнитного поля на рабочих местах персонала в помещениях (объектах, технических средствах) в течение смены не должен превышать 2.

Оценка и нормирование ЭСП осуществляется по уровню электрического поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену. При напряженностях ЭСП менее 20 кВ/м время пребывания в электростатических полях не регламентируется.

Предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля ( $E_{\text{пду}}$ ) при воздействии  $\leq 1$  час за смену устанавливается равным 60 кВ/м.

При воздействии ЭСП более 1 часа за смену  $E_{\text{пду}}$  определяются по формуле:

$$E_{\text{пду}} = 60 / \sqrt{t},$$

где  $t$  – время воздействия (час).

В диапазоне напряженностей 20–60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты ( $t_{\text{доп}}$ ) определяется по формуле:

$$t = (60 / E_{\text{факт}})^2,$$

где  $E_{\text{факт}}$  – измеренное значение напряженности ЭСП (кВ/м).

При напряженностях ЭСП, превышающих 60 кВ/м, работа без применения средств защиты не допускается.

Оценка и нормирование постоянного магнитного поля (ПМП) осуществляется по уровню магнитного поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия.

ПДУ напряженности (индукции) ПМП на рабочих местах представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

ПДУ постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день, мин	Условия воздействия			
	общее		локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0–10	24	30	40	50
11–60	16	20	24	30
60–480	8	10	12	15

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью (индукцией) ПМП общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

## § 2. НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Для полей промышленной частоты (50 Гц) основным документом, регламентирующим ЭМП в производственных условиях, являются упоминавшиеся выше СанПиН 2.2.4.1191-03 [1]. Требования распространяются на работников, подвергающихся воздействию электромагнитного поля промышленной частоты.

СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает, в частности, на рабочих местах ПДУ электрического и магнитного полей промышленной частоты 50 Гц (ЭП и МП ПЧ).

Оценка ЭМП ПЧ (50 Гц) осуществляется отдельно по напряженности электрического поля ( $E$ ) в кВ/м и напряженности магнитного поля ( $H$ ) в А/м или индукции

магнитного поля (В), в мкТл. Нормирование электромагнитных полей 50 Гц на рабочих местах персонала дифференцировано в зависимости от времени пребывания в электромагнитном поле.

**Учет поляризации ЭМП.** Для полей промышленной частоты нормируются различные амплитудные параметры ЭМП в зависимости от вида поляризации поля (см. гл. 1).

Электросиловые установки с питанием от однофазной сети излучают линейно поляризованные поля. Для них нормируются действующие (эффективные) значения поля, определяемые как  $A_m/\sqrt{2}$  (здесь  $A_m$  – амплитудные значения напряженности электрического или магнитного поля).

Если питание электроустановки трехфазное, из-за сдвига фаз токов в шинах питания, могут излучаться ЭМП поляризованные эллиптически. В этом случае нормируются сами амплитудные значения полей.

Важно отметить, что определить характер поляризации можно только с помощью специальных измерителей с трехкомпонентными датчиками поля, алгоритм аппаратной обработки сигналов должен предусматривать определение параметров эллипса поляризации поля (см. гл. 5). Регистрация поля обычными приборами с однокомпонентными антеннами может приводить к ошибкам до 40%.

**Электрическое поле.** Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП  $T$  (час) рассчитывается по формуле:  $T=(50/E)^2$ , где  $E$  – напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м,  $T$  – допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч. При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.

Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня, при этом время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП (приведенное время  $T_{пр}$ ) вычисляются по формуле:

$$T_{пр} = 8(tE1/TE1 + tE2/TE2 + \dots + tEn/TEn),$$

где  $T_{пр}$  – приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности,  $tE1, tE2, \dots, tEn$  – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью  $E1, E2, \dots, En$ , ч;  $TE1, TE2, \dots, TE_n$  – допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон. Приведенное время не должно превышать 8 ч.

В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты. Количество контролируемых зон определяется перепадом уровней напряженности ЭП на рабочем месте. Различия в уровнях напряженности ЭП контролируемых зон устанавливается 1 кВ/м.

Требования действительны при условии, что проведение работ не связано с подъемом на высоту, исключена возможность воздействия электрических разрядов на персонал, а также при условии защитного заземления всех изолированных от земли пред-

метов, конструкций, частей оборудования, машин и механизмов, к которым возможно прикосновение работающих в зоне влияния ЭП.

**Магнитное поле.** Предельно допустимые уровни напряженности периодических МП устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (таблица 4.2).

Таблица 4.2  
ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл]	
	общее	локальное
≤1	1 600/2 000	6 400/8 000
2	800/1 000	3 200/4 000
4	400/500	1 600/2 000
8	80/100	800/1 000

Допустимая напряженность МП внутри временных интервалов определяется линейной интерполяцией.

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью (индукцией) МП общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью. Допустимое время пребывания может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня.

**Магнитное поле с прерывистым режимом модуляции.** Для условий воздействия прерывистых магнитных полей 50 Гц (см. гл. 1) предельно допустимые уровни амплитудного значения напряженности поля ( $H_{пду}$ ) дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену ( $T$ ) и характеристик импульсных режимов генерации (определения см. в гл. 1):

Режим I – импульсное с  $\tau_{и} \geq 0,02$  с,  $t_{п} \leq 2$  с,

Режим II – импульсное с  $60$  с  $\geq \tau_{и} \geq 1$  с,  $t_{п} > 2$  с,

Режим III – импульсное  $0,02$  с  $\leq \tau_{и} < 1$  с,  $t_{п} > 2$  с,

где  $\tau_{и}$  – длительность импульса, сек.,

$t_{п}$  – длительность паузы между импульсами, сек.

Соответствующие нормы облучения персонала прерывистыми магнитными полями промышленной частоты приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3  
ПДУ воздействия прерывистых магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в зависимости от режима генерации

T, час	$H_{пду}$ (А/м)		
	Режим I	Режим II	Режим III
≤ 1,0	6000	8000	10000

Т, час	Нпду (А/м)		
	Режим I	Режим II	Режим III
≤ 1,5	5000	7500	9500
≤ 2,0	4900	6900	8900
≤ 2,5	4500	6500	8500
≤ 3,0	4000	6000	8000
≤ 3,5	3600	5600	7600
≤ 4,0	3200	5200	7200
≤ 4,5	2900	4900	6900
≤ 5,0	2500	4500	6500
≤ 5,5	2300	4300	6300
≤ 6,0	2000	4000	6000
≤ 6,5	1800	3800	5800
≤ 7,0	1600	3600	5600
≤ 7,5	1500	3500	5500
≤ 8,0	1400	3400	5400

Следует обратить внимание на то, что режимы I и III характеризуются длительностями импульсов и пауз между ними величиной в единицы и доли секунд. Определить параметры такой модуляции поля можно только с помощью специальных измерителей, реализующих алгоритм аппаратурной обработки сигналов, предусматривающий регистрацию длительностей импульсов и пауз между ними (см. гл. 5). Регистрация поля обычными приборами может приводить к недопустимым ошибкам. Например, при отсутствии возможности отличить режим I от режима II регистрация магнитного поля в 6000 А/м не даст никакой информации о допустимой длительности пребывания в таком поле. Если оно ошибочно будет отнесено к режиму I, это приведет к неоправданным ограничениям на длительность работы. В обратном случае (если поле меняется в режиме I, но ошибочно отнесено к режиму II) возможно шестикратное переоблучение персонала.

### Бытовые условия

ЭМП большей части бытовой техники не оказывает влияния на здоровье основной части населения. Потенциальная опасность может грозить лишь людям с повышенной чувствительностью к ЭМП и аллергикам, также зачастую обладающим повышенной чувствительностью к ЭМП [3].

Основным документом, устанавливающим требования к ПДУ ЭМП бытовых приборов являются МсанПиН 001-96 [4]. Предельно допустимый уровень напряжен-

ности электрического поля, излучаемого бытовой электроаппаратурой, устанавливается равным 0,5 кВ/м. Кроме того, согласно современным представлениям, магнитное поле промышленной частоты может быть опасным для здоровья человека, если происходит продолжительное облучение (регулярно, не менее 8 часов в сутки, в течение нескольких лет) с уровнем выше 0,2 микротесла.

Наибольший вклад в электромагнитную обстановку жилых помещений в диапазоне промышленной частоты 50 Гц вносит электротехническое оборудование здания, а именно кабельные линии, подводящие электричество ко всем квартирам и другим потребителям системы жизнеобеспечения здания, а также распределительные щиты и трансформаторы. В помещениях, смежных с этими источниками, обычно повышен уровень магнитного поля промышленной частоты, вызываемый протекающим электротоком. Уровень электрического поля промышленной частоты при этом обычно не высокий и не превышает ПДУ для населения 500 В/м.

Провода работающей линии электропередачи (ЛЭП) создают в прилегающем пространстве электрическое и магнитное поля промышленной частоты. Расстояние, на которое распространяются эти поля от проводов линии, достигает десятков метров. Дальность распространения электрического поля зависит от класса напряжения ЛЭП (цифра, обозначающая класс напряжения, стоит в названии ЛЭП – например ЛЭП 220 кВ), чем выше напряжение – тем больше зона повышенного уровня электрического поля, при этом размеры зоны не изменяются в течение времени работы ЛЭП. Дальность распространения магнитного поля зависит от величины протекающего тока или от нагрузки линии. Поскольку нагрузка ЛЭП может неоднократно изменяться как в течение суток, так и с изменением сезона года, размеры зоны повышенного уровня магнитного поля также меняются.

В 80-х годах для населения по ЭП ПЧ были введены жесткие нормативы и по настоящее время являющиеся одними из самых жестких в мире. Они изложены в СНиП № 2971-84 [5]. В соответствии с этими нормами проектируются и строятся все объекты электроснабжения. Несмотря на то, что магнитное поле во всем мире сейчас считается наиболее опасным для здоровья, предельно допустимая величина магнитного поля для населения в России не нормируется.

Основной принцип защиты здоровья населения от электромагнитного поля ЛЭП состоит в установлении санитарно-защитных зон для линий электропередачи и снижении напряженности электрического поля в жилых зданиях и в местах возможного продолжительного пребывания людей путем применения защитных экранов. Границы санитарно-защитных зон для ЛЭП на действующих линиях определяются по критерию напряженности электрического поля – 1 кВ/м.

Таблица 4.4  
Границы санитарно-защитных зон для ЛЭП согласно СН № 2971-84

Напряжение ЛЭП	330 кВ	500 кВ	750 кВ	1150 кВ
Размер санитарно-защитной (охранной) зоны	20 м	30 м	40 м	55 м

Для крупных промышленных городов могут быть приняты более детальные санитарные нормы. Например, для Москвы определены следующие границы санитарно-защитных зон:

Таблица 4.5

Границы санитарно-защитных зон для ЛЭП в г. Москве

Напряжение ЛЭП	< 20 кВ	35 кВ	110 кВ	150–220 кВ	330–500 кВ	750 кВ	1150 кВ
Размер санитарно-защитной зоны	10 м	15 м	20 м	25 м	30 м	40 м	55 м

К размещению ВЛЭП ультравысоких напряжений (750 и 1150 кВ) предъявляются дополнительные требования по условиям воздействия электрического поля на население. Так, ближайшее расстояние от оси проектируемых ВЛ 750 и 1150 кВ до границ населенных пунктов должно быть, как правило, не менее 250 и 300 м соответственно.

Таблица 4.6

Допустимые уровни воздействия электрического поля ЛЭП на население

ПДУ, кВ/м	Условия облучения
0,5	внутри жилых зданий
1,0	на территории зоны жилой застройки
5,0	в населенной местности вне зоны жилой застройки; (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов в пределах черты этих пунктов), а также на территории огородов и садов;
10,0	на участках пересечения воздушных линий электропередачи с автомобильными дорогами I–IV категорий;
15,0	в ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья);
20,0	в труднодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения.

В пределах санитарно-защитной зоны высоковольтных линий электропередач запрещается:

- размещать жилые и общественные здания и сооружения;
- устраивать площадки для стоянки и остановки всех видов транспорта;
- размещать предприятия по обслуживанию автомобилей и склады нефти и нефтепродуктов;
- производить операции с горючим, выполнять ремонт машин и механизмов.

Территории санитарно-защитных зон разрешается использовать как сельскохозяйственные угодья, однако рекомендуется выращивать на них культуры, не требующие ручного труда. В случае, если на каких-то участках напряженность электрического поля за пределами санитарно-защитной зоны окажется выше предельно допустимой 0,5 кВ/м внут-

ри здания и выше 1 кВ/м на территории зоны жилой застройки (в местах возможного пребывания людей), должны быть приняты меры для снижения напряженности. Для этого на крыше здания с неметаллической кровлей размещается практически любая металлическая сетка, заземленная не менее чем в двух точках. В зданиях с металлической крышей достаточно заземлить кровлю не менее чем в двух точках. На приусадебных участках или других местах пребывания людей напряженность поля промышленной частоты может быть снижена путем установления защитных экранов, например это железобетонные, металлические заборы, тросовые экраны, деревья или кустарники высотой не менее 2 м.

### § 3. РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО ЭМП ОТ ВДТ

Как отмечалось в гл. 1, современная ПЭВМ представляет собой энергонасыщенный аппарат с потреблением до 200–250 Вт, содержащий несколько электро- и радиоэлектронных устройств с различными физическими принципами действия. Поэтому она создает вокруг себя поля с широким частотным спектром и пространственным распределением, такие как:

- электростатическое поле;
- переменные низкочастотные электрические поля;
- переменные низкочастотные магнитные поля.

Потенциально возможными вредными факторами могут быть также:

- электромагнитное излучение радиочастотного диапазона;
- электромагнитный фон (электромагнитные поля, создаваемые сторонними источниками на рабочем месте с компьютерной техникой).

Достижение цели безопасной работы на ПЭВМ требует в первую очередь определения пределов уровней электромагнитных излучений, обеспечивающих безопасность на том расстоянии от дисплея, где обычно при работе находится пользователь компьютера, т.е. установления нормы предельно допустимого уровня (ПДУ) на рабочем месте оператора ПЭВМ.

Под рабочим местом оператора ПЭВМ понимается обособленный участок общего рабочего помещения (кабинета, зала, цеха и т.п.), оборудованный необходимым комплексом технических средств вычислительной техники, и в пределах которого постоянно или временно пребывает пользователь (оператор) ПЭВМ в процессе своей трудовой деятельности. К понятию «рабочее место» относятся также и учебные места в компьютерных классах.

Наиболее активное и результативное участие в решении проблемы достижения экологически приемлемых условий, связанных с эксплуатацией устройств визуального отображения информации, приняли шведские научные и общественные организации, так или иначе связанные с безопасностью производственных процессов и здравоохранением.

Основную роль в деле изучения, концентрации и осмысления так называемых излучательных и эргономических характеристик по поручению Правительства Швеции, сыграло Национальное Управление по измерениям и тестированию – MPR (впоследствии – «Управление SWEDAC»). Начиная с 1987 года, при участии широкого круга экспертов из самых разнообразных областей науки и техники, были выполнены комплексные испытания различных вариантов устройств визуального отображения и собраны сведения о влиянии электромагнитных полей и излучений присущего дисплеям частотного диапазона на состояние и здоровье людей. Особое внимание при этом бы-

ло уделено установлению предельно допустимых уровней вредных физических факторов и разработке системы добровольного тестирования устройств визуального отображения на предмет выполнения установленных норм.

В 1990 году результаты исследований с учетом накопленного опыта были оформлены Управлением SWEDAC в виде двух документов: справочника для пользователя по оценке устройств визуального отображения (MPR 1990:8) и методов проверки устройств визуального отображения (MPR 1990:10), которые получили широкую известность под названием «Шведские стандарты» [6].

Эти стандарты легли в основу созданных во многих странах национальных систем тестирования и сертификации – как различных дисплеев, так и ПЭВМ в целом. В России соответствующий документ [7] был принят в 1996 г. Ценность этих документов – в комплексности решения проблемы. В этих документах не только установлены предельно допустимые уровни полей и даны методы и средства контроля, но и даны подробные технические требования к техническим средствам для калибровки и поверки средств измерений и контроля.

Представляя нормативы излучательных характеристик дисплеев, авторы указанных выше шведских нормативных документов оговариваются, что эти нормы «не являются предельными значениями с точки зрения санитарии», а имеют своим назначением оказание помощи пользователям в выборе подходящих для них технических средств. Более того, при обосновании выбранных норм, авторы главное внимание уделяют физическим факторам, оказывающим влияние на здоровье пользователей.

Вероятно, эти обстоятельства привели к тому, что в большинстве стран «Шведский стандарт» был воспринят как санитарно-гигиенический, и на его основе создавались национальные нормативные акты. Директивой Совета ЕЭС от 29 мая 1990 г. № 90/270/ЕЕС данный документ введен с июня 1992 года в качестве общеевропейского стандарта.

В Советском Союзе существовал ряд стандартов, нормирующих работу человека в различных полях и устанавливающих предельно допустимые их уровни. Однако не было документов, в которых рассматривалось бы одновременное их воздействие на работника. Некомплектная нормативная база по электромагнитной обстановке рабочих мест дополнялась слабостью метрологического обеспечения.

В настоящее время в России действуют два основополагающих стандарта (гармонизированные с MPR 1990:8 и MPR 1990:10), введенные в действие в 1997 году. Это ГОСТ Р 50948-96 [8] и ГОСТ Р 50949-96 [9].

В практической работе органов Федеральной службы проводятся как лабораторные исследования с целью гигиенической сертификации продукции, так и гигиеническая аттестация рабочих мест. Согласно приведенному выше описанию этих процедур, их содержание и аппаратное обеспечение различно и определяется различием их целей:

**Сертификация:** процедура сертификации ВДТ ПК определяется в документе ГОСТ Р 50949-96 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерения и оценки эргономических параметров и параметров безопасности».

• Сертификационные испытания должны проводиться в испытательных лабораториях, к которым предъявляются требования по климатическим условиям и требования по уровню электромагнитного фона (высокая величина которого, естественно, снижает достоверность оценки характеристик технических средств). Климатические требования (температура окружающего воздуха, относительная влажность, скорость движения воздушно-го потока и концентрация аэроионов) предъявляются при измерениях электростатическо-

го потенциала экрана, а требования по электромагнитному фону – при измерениях переменных электрических и магнитных полей. Для измерения электростатического потенциала наиболее критичным параметром является влажность; при повышенной влажности электростатические заряды стекают с поверхности экрана ВДТ и реально измеренное значение потенциала становится меньше истинного. Допускается проводить такие испытания в помещениях пользователей ВДТ и ПК, если в этих помещениях можно обеспечить регламентированные или близкие к ним условия проведения испытаний.

• В соответствии с ГОСТ Р 50949-96 к приборам для измерения компьютерной техники предъявлены специальные требования по конструктивному исполнению приемных антенн. Антенна прибора для измерения магнитного поля должна состоять из 3-х плоских катушек, имеющих общий центр и расположенных в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, а антенна прибора для измерения электрического поля должна иметь вид диска диаметром 300 мм с активной частью диаметром 100 мм.

• Измерение магнитного поля осуществляется в 48 точках (по 16 точек вокруг дисплея на трех уровнях по высоте относительно центра экрана). Измерение электрического поля осуществляется в 4-х точках вокруг дисплея. Точки измерения расположены по окружности с касательной на расстоянии 0,5 м от его экрана и центром в центре дисплея (рисунок 4.1).

• Измерение переменных электрических и магнитных полей должно проводиться приборами, позволяющими осуществлять контроль отдельно в двух частотных диапазонах – 5 Гц...2 кГц и 2 кГц...400 кГц. Основная погрешность измерений должна быть в пределах 10%.

• Для электрического и магнитного полей в каждом из поддиапазонов частот в протокол заносится значение поля перед экраном, а также максимальное значение, полученное при измерении в других точках с указанием координат этой точки.

• При измерении электростатического потенциала и переменного электрического поля измерительные приборы и испытываемые технические средства должны быть заземлены на общую клемму заземления.

• Все средства измерений, используемые при сертификационных испытаниях, должны быть включены в Реестр средств измерений РФ.

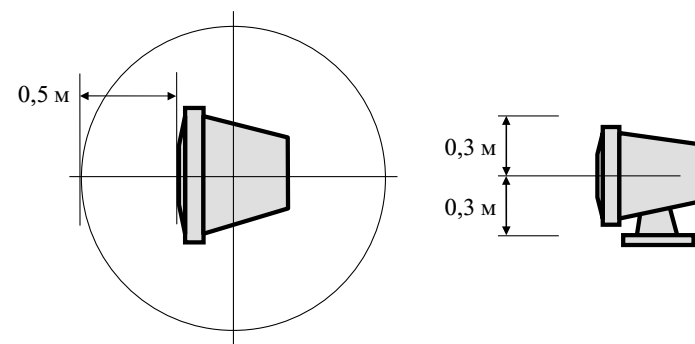


Рисунок 4.1. Схема расположения контрольных точек при измерении электромагнитных полей (точки измерения расположены равномерно по окружности)

С учетом принятых стандартов на средства отображения информации индивидуального пользования Госсанэпиднадзор России разработал и ввел в действие обязательные санитарные правила и нормы – СанПиН 2.2.2.542-96 [7]. В 2003 году появилась новая редакция этих правил СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [10], в которых учитывался накопленный опыт работы по контролю уровня ЭМП ВДТ.

Аттестация рабочих мест: процедура аттестации рабочих мест операторов ПЭВМ определяется в документе СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

При проведении обследования на рабочих местах или в учебных классах производится измерение как факторов (электромагнитных полей), источником которых оборудование рабочих мест, так и их фоновых значений при выключенном оборудовании. Для этого при проведении аттестационных измерений должно быть включено не менее 2/3 единиц оборудования, которым оснащено рабочее место, техника должна работать в штатном режиме. В протокол обследований заносятся сведения об оборудовании рабочих мест – тип аппаратуры, ее серийный номер, места и даты изготовления. Отмечается наличие заземления, защитных фильтров, массивных металлических предметов вблизи рабочих мест и другая информация, которую необходимо учитывать при оценке результатов измерений.

Предельно допустимые уровни генерируемого монитором электромагнитного поля и поверхностного электростатического потенциала установлены СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

*ПДУ электромагнитного поля и поверхностного электростатического потенциала монитора компьютера*

Вид поля	Диапазон частот	Единица измерения	ПДУ
магнитное поле	5 Гц–2 кГц	нТл	250
магнитное поле	2–400 кГц	нТл	25
электрическое поле	5 Гц–2 кГц	В/м	25
электрическое поле	2–400 кГц	В/м	2,5
эквивалентный (поверхностный) электростатический потенциал		В	500

#### **Особенности работы с компьютером женщин**

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, женщины со времени установления беременности и в период кормления ребенка грудью к выполнению всех видов работ, связанных с использованием ВДТ и ПЭВМ, не допускаются. Трудоустройство беременных женщин следует осуществлять в соответствии с «Гигиеническими рекомендациями по рациональному трудоустройству беременных женщин».

По мнению ряда специалистов, женщинам, имеющим намерение забеременеть также целесообразно отказаться от работы с компьютером, поскольку эмбрион на ранних стадиях развития чрезвычайно чувствителен к электромагнитному полю.

#### **Особенности работы с компьютером детей**

Для работы детей, особенно в домашних условиях, необходимо приобретать мониторы излучающие меньше всего, – мониторы, прошедшие тестирование на соответствие любому из шведских стандартов ТСО.

Необходимо строго следить за продолжительностью работы детей с компьютером. В таблице 4.8 приведены требования, установленные на этот счет в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 4.8

*Допустимое время работы детей за компьютером*

Дошкольники, возраст (лет)	Максимальное допустимое время работы, мин
5	7
6	10
Школьники, класс	Максимальное допустимое непрерывное время работы, мин
1 (шестилетки)	10
2–5	15
6–8	20
8–9	25
10–11	30 на первом часу занятий, 20 на втором часу

## **§ 4. НОРМИРОВАНИЕ ЭМП РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА**

### **Производственные условия.**

Основным документом, регламентирующим ЭМП в производственных условиях, являются СанПиН 2.2.4.1191-03 [1]. Их требования распространяются, в частности, на работников, подвергающихся воздействию электромагнитных полей диапазона радиочастот.

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот  $\geq 10$  кГц–30 кГц осуществляется отдельно по напряженности электрического поля (Е) в кВ/м и напряженности магнитного поля (Н) в А/м. Нормирование электромагнитных полей на рабочих местах персонала дифференцировано в зависимости от времени воздействия.

ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при воздействии в течение всей смены составляет 500 В/м и 50 А/м, соответственно.

ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при продолжительности воздействия до 2-х часов за смену составляет 1000 В/м и 100 А/м, соответственно.

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот  $\geq 30$  кГц–300 ГГц осуществляется по величине энергетической экспозиции (ЭЭ). Определение величины ЭЭ дано в гл. 1. ПДУ энергетических экспозиций (ЭЭпду) на рабочих местах за смену представлены в таблице 4.9.



Таблица 4.9

ПДУ энергетических экспозиций ЭМП  
диапазона частот  $\geq 30$  кГц–300 ГГц

Параметр	ЭЭпду в диапазонах частот (МГц)			
	0,03–3,0	3,0–30,0	30,0–50,0	50,0–300,0
ЭЭе, (В/м) <sup>2</sup> •ч	20 000	7 000	800	800
ЭЭн, (А/м) <sup>2</sup> •ч	200		0,72	
ЭЭппэ, (мкВт/см <sup>2</sup> )•ч				

Максимальные допустимые уровни напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии ЭМП не должны превышать значений, представленных в таблице 4.10.

Таблица 4.10

Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП  
диапазона частот  $\geq 30$  кГц–300 ГГц

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	0,03–3,0	3,0–30,0	30,0–50,0	50,0–300,0	300,0–300000,0
Е, В/м	500	300	80	80	
Н, А/м	50		3		
ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>					1000/5000*

\* Для условий локального облучения кистей рук.

Для случаев облучения от устройств с перемещающейся диаграммой излучения (вращающиеся и сканирующие антенны с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 20) и локального облучения рук при работах с микрополосковыми устройствами предельно допустимый уровень плотности потока энергии для соответствующего времени облучения (ППЭ<sub>пду</sub>) рассчитывается по формуле:

$$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = K \cdot \text{ЭЭ}_{\text{пду}} / T,$$

где К – коэффициент снижения биологической активности воздействий: К=10 – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн; К=12,5 – для случаев локального облучения кистей рук (при этом уровни воздействия на другие части тела не должны превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup>).

Кроме этих общих норм ЭМП диапазона частот  $\geq 10$  кГц–30 ГГц на рабочих местах персонала, специфические санитарно-гигиенические требования предъявляются к размещению и эксплуатации средств подвижной радиосвязи диапазона частот 27 МГц –

2,4 ГГц, включая абонентские терминалы спутниковой связи. Требования соответствующих СанПиН'ов [11] направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека электромагнитных полей, создаваемых базовыми и подвижными станциями сухопутной подвижной радиосвязи.

Требования к условиям труда работающих, подвергающихся в процессе трудовой деятельности профессиональному воздействию ЭМП различных частотных диапазонов при любом характере воздействия ЭМП должны соответствовать требованиям санитарных правил по электромагнитным полям в производственных условиях (см. выше).

Оборудование базовых станций не должно создавать на рабочих местах персонала ЭМП, превышающих предельно допустимые уровни (ПДУ), указанные в таблице 4.11.

Таблица 4.11

Предельно допустимые уровни воздействия электромагнитных полей  
базовых станций на рабочих местах персонала

Нормируемые параметры	Диапазоны частот, МГц		
	27–30	30–300	300–2 400
Предельно допустимое значение ЭЭ	7000 (В/м) <sup>2</sup> •ч	800 (В/м) <sup>2</sup> •ч	200 (В/м) <sup>2</sup> •ч
Максимальный ПДУ	296 В/м*	80 В/м*	1000 мкВт/см <sup>2</sup> *
ПДУ для T $\geq 8$ ч за смену	30 В/м	10 В/м	25 мкВт/см <sup>2</sup>

\* в диапазоне частот от 27 МГц до 300 МГц – для T  $\leq 0,08$  ч;  
в диапазоне частот от 300 МГц до 2,4 ГГц – для T  $\leq 0,2$  ч;

Уровни электромагнитных полей, создаваемых антеннами базовых станций на территории жилой застройки, внутри жилых, общественных и производственных помещений, не должны превышать следующих предельно допустимых значений:

- В диапазоне частот от 27 МГц до 30 МГц–10 В/м
- В диапазоне частот от 30 МГц до 300 МГц–3 В/м
- В диапазоне частот от 300 МГц до 2,4 ГГц–10 мкВт/см<sup>2</sup>

Уровни ЭМП, создаваемых антеннами подвижных станций сухопутной радиосвязи, воздействующих непосредственно на пользователей, не должны превышать следующих предельно допустимых значений:

- В диапазоне частот от 27 МГц до 30 МГц–45 В/м
- В диапазоне частот от 30 МГц до 300 МГц–15 В/м
- В диапазоне частот от 300 МГц до 2,4 ГГц–100 мкВт/см<sup>2</sup>

Уровни напряженности электрического поля промышленной частоты (50 Гц), создаваемые питающим и силовым оборудованием базовых станций внутри жилых и общественных зданий, не должны превышать предельно допустимые уровни (ПДУ) для населения.

Основной принцип обеспечения безопасности: соблюдение установленных Санитарными нормами и правилами предельно допустимых уровней электромагнитного поля [12]. Каждый радиопередающий объект должен иметь Санитарный паспорт, в ко-

тором определены границы санитарно-защитной зоны. Только при наличии этого документа территориальные органы Госсанэпиднадзора разрешают эксплуатировать радиопередающие объекты. Периодически они производят инструментальный контроль электромагнитной обстановки на предмет её соответствия установленным ПДУ.

### Бытовые условия

**Микроволновые печи.** В бытовых условиях наиболее интенсивные ЭМП радиочастотного диапазона могут излучаться микроволновыми печами (см. гл. 1). Для обеспечения безопасности при использовании печей в быту в России действуют санитарные нормы, ограничивающие предельную величину утечки СВЧ-излучения микроволновой печи. Соответствующие документы [13–15]. Согласно этим санитарным нормам, величина плотности потока энергии электромагнитного поля не должна превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup> на расстоянии 50 см от любой точки корпуса печи при нагреве 1 литра воды. На практике практически все новые современные микроволновые печи выдерживают это требование с большим запасом. Тем не менее, при покупке новой печи следует убедиться, что в сертификате соответствия зафиксировано соответствие вашей печи требованиям этих санитарных норм.

Надо помнить, что со временем степень защиты может снижаться, в основном из-за появления микротрещин в уплотнении дверцы. Это может происходить как из-за загрязнения уплотнения, так и из-за механических повреждений. Поэтому дверца и ее уплотнение требует аккуратности в обращении и тщательного ухода. Срок гарантированной стойкости защиты от утечек электромагнитного поля при нормальной эксплуатации – несколько лет. Через 5–6 лет эксплуатации целесообразно проверить качество защиты для чего пригласить специалиста из специально аккредитованной лаборатории по контролю электромагнитного поля.

Кроме СВЧ-излучения работу микроволновой печи сопровождает интенсивное магнитное поле, создаваемое током промышленной частоты 50 Гц протекающим в системе электропитания печи. При этом микроволновая печь является одним из наиболее мощных источников магнитного поля в квартире. Для населения уровень магнитного поля промышленной частоты в нашей стране до сих пор не ограничен несмотря на его существенное действие на организм человека при продолжительном облучении. В бытовых условиях однократное кратковременное включение (на несколько минут) не окажет существенного влияния на здоровье человека.

**Передающие радиочастоты.** На территории населенных пунктов в настоящее время размещается значительное количество передающих радиочастотных станций различной принадлежности. Передающие радиочастоты (ПРЦ) размещаются в специально отведенных для них зонах и могут занимать довольно большие территории (до 1000 га). По своей структуре они включают в себя одно или несколько технических зданий, где находятся радиопередатчики, и антенные поля, на которых располагаются до нескольких десятков антенно-фидерных систем (АФС). АФС включает в себя антенну, служащую для излучения радиоволн, и фидерную линию, подводящую к ней высокочастотную энергию, генерируемую передатчиком.

Высокие уровни ЭМП наблюдаются на территориях, а нередко и за пределами размещения передающих радиочастотных станций низкой, средней и высокой частоты (ПРЦ НЧ, СЧ и ВЧ). Детальный анализ электромагнитной обстановки на территориях ПРЦ свидетельствует о ее крайней сложности, связанной с индивидуальным характером ин-

тенсивности и распределения ЭМП для каждого радиочастотного центра. В связи с этим специальные исследования такого рода проводятся для каждого отдельного ПРЦ. Каждый радиопередающий объект имеет Санитарный паспорт, в котором определены границы санитарно-защитной зоны. Только при наличии этого документа территориальные органы Федеральной службы разрешают эксплуатировать радиопередающие объекты. Периодически они производят инструментальный контроль электромагнитной обстановки на предмет её соответствия установленным ПДУ.

Таблица 4.12

*Предельно допустимые уровни воздействия ЭМП, создаваемых радиотехническими объектами для основного населения*

Источник	Диапазон частот	Значение ПДУ	Примечание
Радиотехнические объекты	30–300 кГц	25 В/м	Для всех случаев облучения
	0,3–3 МГц	15 В/м	
	3–30 МГц	10 В/м	
	30–300 МГц	3 В/м	
	300 МГц–300 ГГц	10 мкВт/см <sup>2</sup>	

Менее интенсивным, однако более распространенным источником ЭМП радиочастотного диапазона являются объекты системы сотовой связи. Соответствующие уровни электромагнитного излучения, создаваемые объектами системы сотовой связи, нормируются в России в соответствии с Гигиеническими нормативами [16] (см. таблицу 4.13).

Таблица 4.13

*Временно допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи (для населения)*

Категория облучения	Величина ВДУ ЭМИ	Примечание
Облучение населения, проживающего на прилегающей селитебной территории, от антенн базовых станций	ППЭ <sub>ПД</sub> = 10 мкВт/см <sup>2</sup>	
Облучение пользователей радиотелефонов	ППЭ <sub>ПДУ</sub> = 100 мкВт/см <sup>2</sup>	Измерения ППЭ следует производить на расстоянии от источника ЭМИ, соответствующего расположению головы человека, подвергающегося облучению

В настоящее время действующий документ [17] устанавливает «временные допустимые уровни воздействия» (ВДУ) сроком на 3 года. Такая ситуация вызвана отсутствием достаточного объема адекватных исследований о биологическом действии ЭМП, создаваемого элементами сотовой связи.

Модели сотовых телефонов разрабатываются в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP), которые несколько отличаются от значения ВДУ ЭМП сотовых телефонов, установленного в РФ. Поэтому необходима разработка и обоснование ПДУ сотовых телефонов, методов и условий их контроля, по возможности максимально учитывающих результаты программы по международной гармонизации стандартов ВОЗ.

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Санитарно-гигиенические нормативы воздействий ЭМП разработаны для отдельных диапазонов частот:

- Электростатического поля
- Электрического и магнитного полей промышленной частоты (50 Гц)
- Электромагнитного поля радиочастотного диапазона (30 кГц–300 ГГц)

Разработаны также самостоятельные гигиенические нормативы для ЭМП от отдельных видов оборудования бытового и производственного назначения:

- Поля промышленной частоты, генерируемые товарами народного потребления
- Индукционных печей, работающих в диапазоне частот 20–22 кГц
- СВЧ – печей в диапазоне частот 300 МГц–37,5 ГГц
- Персональных компьютеров – электростатический потенциал и ЭМП в диапазоне частот 5 Гц–400 кГц

- Средств сухопутной подвижной радиосвязи, включая сотовую связь в диапазоне частот 27 МГц–2,4 ГГц

Общая характеристика действующих гигиенических нормативов – в них регламентируются в основном амплитудные (энергетические) нагрузки, слагаемые из интенсивности и времени контакта с ЭМП. Эти нормативы не позволяют распространить ПДУ на условия воздействия ЭМП со сложными физическими характеристиками, в частности применительно к различным режимам модуляции.

**Учет поляризации ЭМП.** Для полей промышленной частоты нормируются различные амплитудные параметры ЭМП в зависимости от вида поляризации поля. Для контроля таких полей необходимо использовать специальные измерители с трехкомпонентными датчиками поля, алгоритм аппаратурной обработки сигналов должен предусматривать определение параметров эллипса поляризации поля. Регистрация поля обычными приборами с однокомпонентными антеннами может приводить к ошибкам до 40%.

**Роль модуляции полей.** Для условий воздействия прерывисто модулированных магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) предельно допустимые уровни напряженности поля дифференцированы в зависимости от характеристик импульсных режимов генерации. Определить параметры такой модуляции поля можно только с помощью специальных измерителей, реализующих алгоритм аппаратурной обработки сигналов предусматривающий регистрацию длительностей импульсов и пауз между ними. Регистрация поля обычными приборами может приводить к недопустимым ошибкам.

## ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 4

1. Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.2.4.1191-03

2. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Руководство Р2.2.755-99

3. ДУМАНСКИЙ Ю.Д. и др. Гигиеническое нормирование ЭМП в условиях быта. Гигиена и санитария. 1984. №10. С. 20–23.

4. Межгосударственные санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях, МСанПиН 001-96.

5. Санитарные нормы и правила «Защита населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» СНИП № 2971-84.

6. Компьютерная техника – Методы измерения создаваемых ими электрического и магнитного поля. Шведский стандарт SS 436 1490. 1995.

7. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ. СанПиН 2.2.2.542-96. М.: ГКСЭН, 1996.

8. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности. ГОСТ Р 50948-96.

9. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности. ГОСТ Р 50949-96.

10. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

11. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03.

12. Допустимые параметры электромагнитных излучений в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебных территориях. МГСН 2.03.-97. М.: ГУП «НИ-АЦ», 1997.

13. Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами. СН № 2666-83.

14. Методологические вопросы гигиенического нормирования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона Под ред. Б.М. Савина. М., 1979. – 138 с.

15. Предельно допустимые нормы напряженности электромагнитного поля, создаваемого индукционными бытовыми печами, работающими на частоте 20–22 кГц. СН 2550-82. М., 1982.

16. Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи. ГН 2.1.8/2.2.4.019-94.

17. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. СанПиН [17] 2.1.8/2.2.4.1190-03.

## ГОСТЫ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

1. ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах».

2. ГОСТ 12.1.051-90 «ССБТ. Электробезопасность. Расстояние безопасности в охранной зоне электропередачи напряжением свыше 1000 В».

3. ГОСТ 12.1.006-84 «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот, допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля», с изменениями № 1, утвержденными Постановлением Госкомитета СССР по стандартам от 13.11.87. № 4161.

4. ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля, допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

5. ГОСТ Р 51724-2001 «Экранированные объекты, помещения, технические средства. Поле гипогеомагнитное. Методы измерения и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам».

## ГЛАВА 5. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Процесс проведения измерений ЭМП, являясь ключевым моментом всей процедуры экологического мониторинга, требует повышенного внимания и тщательной подготовки со стороны ответственного за эту работу. Собственно измерениям должна предшествовать предварительная проработка, включающая в себя несколько моментов:

- проводится изучение размещения (планировки) в здании рабочих мест и их привязка к организационным структурам учреждения. Необходимо получение от администрации обследуемого предприятия планировки всех помещений, где размещены все рабочие места. В случае отсутствия таковых, следует организовать их составление;

- при наличии планировок силами исполнителя работ производится сверка планировок с реальным размещением рабочих мест и при необходимости планировки уточняются и корректируются, а рабочие места нумеруются;

- особое внимание следует уделять взаимному расположению рабочих мест, их оборудование вспомогательными приборами и оргтехникой, наличие силовых кабелей и кабелей связи;

- находящиеся вблизи рабочих мест незаземленные массивные металлические конструкции (стойки, металлические шкафы, сейфы и пр.) являются переизлучателями создаваемых электротехническими средствами переменных электрических полей, расширяя тем самым область взаимного влияния аппаратуры соседних рабочих мест.

Необходимо разработать и согласовать с администрацией пространственно-временной план-график проведения измерений, содержащий

- перечень и последовательность аттестации рабочих мест;
- время проведения измерений на каждом из рабочих мест;
- требования к режиму работы электрооборудования, находящегося на рабочем месте и вблизи него – какое и в какой последовательности должно быть включено (кроме взаимоисключающих установок), перемещено, выключено или добавлено;
- требования к персоналу, работающему на обследуемом месте и в помещении – необходимость отсутствия или присутствия, перемещения в помещении и т.п.

Результаты измерений следует оформлять протоколом аттестации в котором приводятся измеренные уровни напряженности ЭМП в обследуемом частотном диапазоне. Для всех результатов приводятся погрешности измерений, определяемые либо техническими характеристиками измерительных приборов, либо разностью показаний приборов в серии последовательных измерений в одних и тех же местах (в зависимости от того – какая из этих величин больше).

По результатам измерений выносятся заключения о том, удовлетворяет или нет требованиям СанПиН каждое из обследованных рабочих мест. Для всех результатов приводятся также погрешности измерений, определяемые либо техническими характеристиками измерительных приборов, либо разностью показаний приборов в серии последовательных измерений в одних и тех же местах (в зависимости от того – какая из этих величин больше).

Обязательным приложением к протоколу аттестации являются планировки и результаты инвентаризации рабочих мест. Если в результате измерений обнаружено превышение санитарных норм, в заключении целесообразно отметить наиболее вероятные источники повышенной электромагнитной радиации.

Результаты измерений следует оформлять в виде протокола и (или) карты распределения уровней электрических, магнитных или электромагнитных полей, совмещенной с планом размещения оборудования или помещения, где производились измерения.

В протокол обследований заносятся сведения об оборудовании рабочих мест – тип аппаратуры, ее серийный номер, места и даты изготовления. Отмечается наличие заземления, защитных фильтров, массивных металлических предметов вблизи рабочих мест и другая информация, которую необходимо учитывать при оценке результатов измерений.

При гигиенической оценке напряженности ЭСП на рабочем месте определяющим является наибольшее из всех зарегистрированных значений.

## § 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМП

Задача измерения общего уровня ЭМП, как правило, не представляет принципиальных трудностей. Методики проведения отдельных видов измерений приводятся в многочисленных разработках, методических материалах и указаниях [1–22]. Ниже приводятся некоторые общие принципы проведения измерений.

Контроль уровней ЭМП на рабочих местах должен осуществляться:

- при проектировании, приемке в эксплуатацию, изменении конструкции источников ЭМП и технологического оборудования, их включающего;
- при организации новых рабочих мест;
- при аттестации рабочих мест;
- в порядке текущего надзора за действующими источниками ЭМП.

Контроль может осуществляться путем использования расчетных методов и/или проведения измерений на рабочих местах.

Расчетные методы используются преимущественно при проектировании новых или реконструкции действующих объектов, являющихся источниками ЭМП.

На стадии проектирования допускается определение уровней ЭП и МП расчетным способом с учетом технических характеристик источника ЭМП по методикам (программам), обеспечивающим получение результатов с погрешностью не более 10%, а также по результатам измерений уровней электромагнитных полей, создаваемых аналогичным оборудованием.

Для действующих объектов контроль ЭМП осуществляется преимущественно посредством инструментальных измерений, позволяющих с достаточной степенью точности оценивать напряженности ЭП и МП или ППЭ.

Измерения рекомендуется производить приборами ненаправленного приема с трехкоординатным датчиком, автоматически определяющим максимальный модуль напряженности электрической или магнитной компонент ЭМП при любом положении в пространстве. Допускается применение приборов направленного приема с датчиком в виде диполя, требующих ориентации датчика, обеспечивающей совпадение направления оси диполя и максимального вектора напряженности с допустимой относительной погрешностью  $\pm 20\%$ .

Измерения и расчет напряженности ЭП должны производиться при наибольшем рабочем напряжении электроустановки, или измеренные значения должны пересчитываться на это напряжение путем умножения измеренного значения на отношение  $U_{\max}/U$ , где  $U_{\max}$  – наибольшее рабочее напряжение электроустановки,  $U$  – напряжение электроустановки при измерениях.

Измерения и расчет напряженности (индукции) МП должны производиться при максимальном рабочем токе электроустановки, или измеренные значения должны пересчитываться на максимальный рабочий ток ( $I_{\max}$ ) путем умножения измеренных значений на отношение  $I_{\max}/I$ , где  $I$  – ток электроустановки при измерениях.

Измерения уровней ЭП следует проводить приборами, не искажающими ЭП, в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора при обеспечении необходимых расстояний от датчика до земли, тела оператора, проводящего измерения, и объектов, имеющих фиксированный потенциал.

К измерителям МП требования менее жесткие. Тем не менее напряженность (индукция) МП измеряется при обеспечении отсутствия его искажения находящимися вблизи рабочего места железосодержащими предметами. Измерения рекомендуется производить приборами с трехкоординатным индукционным датчиком, обеспечивающим автоматическое измерение модуля напряженности МП при любой ориентации датчика в пространстве с допустимой относительной погрешностью  $\pm 10\%$ .

При использовании средств измерения приборов направленного приема (преобразователем Холла и т.п.) необходимо осуществлять поиск максимального регистрируемого значения путем ориентации датчика в каждой точке в разных плоскостях.

Измерения выполняются при работе источника с максимальной мощностью.

Измерения уровней ЭМП на рабочих местах должны осуществляться после выведения работника из зоны контроля.

Инструментальный контроль должен осуществляться приборами, прошедшими государственную аттестацию и имеющими свидетельство о поверке. Пределы основной погрешности измерения должны соответствовать требованиям, установленным соответствующими санитарными правилами.

Гигиеническая оценка результатов измерений должна осуществляться с учетом погрешности используемого средства метрологического контроля.

Не допускается проведение измерений при наличии атмосферных осадков, а также при температуре и влажности воздуха, выходящих за предельные рабочие параметры средств измерений.

Контроль уровней ЭП и МП должен осуществляться во всех зонах возможного нахождения человека при выполнении им работ, связанных с эксплуатацией и ремонтом электроустановок.

Измерения уровней ЭМП внутри помещения на каждом рабочем месте производятся на 3-х уровнях от поверхности пола с учетом рабочей позы: 0,5 м, 1,0 м и 1,4 м – при рабочей позе сидя; 0,5 м, 1,0 м и 1,7 м – при рабочей позе стоя.

Измерения уровней ЭМП в открытом пространстве на территории, где размещается обследуемый объект, выполняются на уровнях 1,5–1,7 м от поверхности Земли.

Измерения должны проводиться на расстоянии не ближе 0,5 м от металлических предметов, конструкций, оборудования.

Контроль интенсивности ЭМП в случае локального облучения рук персонала следует дополнительно проводить на уровне кистей, середины предплечья.

При использовании прибора направленного приема в каждой точке определяются три взаимно перпендикулярные компоненты вектора индукции или вектора напряженности электрического или магнитного поля. Измеренные значения используются для расчета значения модуля вектора.

Расчеты проводят по следующей формуле:

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2},$$

где  $A_x$  – измеренная компонента поля вдоль оси X (одна из произвольно выбранных взаимно перпендикулярных осей координат) и аналогично для других компонент.

## § 2. ПРИНЦИП ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ

При описании биологического действия ЭМП (см. гл. 2) постоянно подчеркивается, что такое действие характеризуется эффектом накопления – чем дольше воздействие, тем заметнее последствия. Это обстоятельство нашло свое отражение и в нормативных актах (см. гл. 4). Соответствующий пункт (разд. 4) в Руководстве [23] гласит, что «условия труда при действии неионизирующих электромагнитных полей и излучений ... устанавливаются ... с учетом значений энергетических экспозиций в тех диапазонах частот, где они нормируются». Это обстоятельство можно проиллюстрировать на примере модуляции прерывистого магнитного поля промышленной частоты (см. также [24]).

При такой модуляции излучаются импульсы гармонического поля с длительностью  $t_n$ , затем пауза в течение времени  $t_n$ , затем все повторяется (см. гл. 1)

Для этого случая можно ввести два (оба среднеквадратических) значения напряженности поля:

- $A_s^H$  определяемое только по тем интервалам времени (внутри длительности импульса), когда поле меняется гармонически, эта величина совпадает со среднеквадратическим значением немодулированного поля, можно рассматривать также среднеквадратического значения напряженности поля;

- $A_s^U$  определяемое по интервалам времени длительностью достаточной для того, чтобы в них попали несколько импульсов и пауз между ними.

Соотношение между ними имеет вид:

$$A_s^U = A_s^H \sqrt{t_u / (t_u + t_n)}.$$

В этом случае гармонического поля с импульсной модуляцией учет значений энергетической экспозиции требует, чтобы для оценки среднего квадратического значения поля измерялась не только величина поля в импульсах, но также и временные характеристики модуляции – длительности импульсов  $t_n$  и пауз  $t_n$  между ними.

На рисунке 5.1 представлена первая четверть плоскости ( $t_n, t_n$ ) с несколькими линиями равной энергетической экспозиции. На этом же рисунке штриховыми линиями нанесены границы областей с различной эффективностью облучения (согласно [25]). Область I ( $t_n < 2c$ ) считается самой опасной (время пребывания в ней должно быть минимальным), область III ( $t_n < 1c, t_n > 2c$ ) – наименее опасна (допускается самое длительное пребывание в ней), а область II ( $t_n > 1c, t_n > 2c$ ) занимает промежуточное положение.

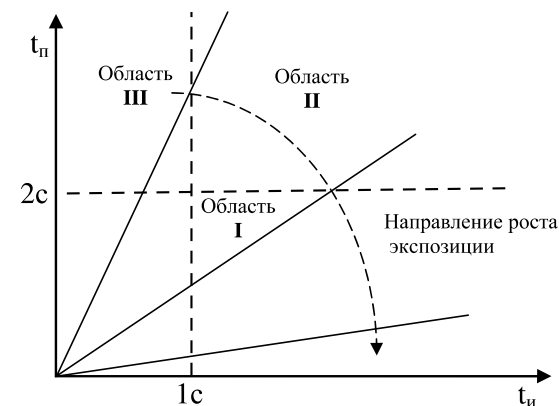


Рисунок 5.1. Экспозиционные характеристики на плоскости ( $t_n, t_n$ )

Видно, что расположение областей I–III коррелирует с направлением изменения энергетической экспозиции, но руководствуясь соотношениями (10) и (11) можно гораздо точнее учесть роль временной структуры прерывистого воздействия.

Рассмотрим, например, ситуацию, когда зарегистрировано прерывистое магнитное поле с амплитудным значением 4000 А/м (5000 мкТл). Согласно нормативным требованиям [25], в таком поле можно работать не более 3 ч, если длительность пауз между импульсами меньше 2 с (параметры импульсов в области I). Если длительность пауз больше 2 с, а длительность самих импульсов больше 1 с, то параметры импульсов лежат в области II и, согласно [25], работать в таком поле можно не более 6 часов. Если же длительность пауз больше 2 с, а длительность импульсов меньше 1 с (параметры импульсов в области III), то в таком поле можно работать полную смену.

Аналогичные заключения можно сделать, используя приведенное на рисунке 5.1 разбиение плоскости ( $t_n, t_n$ ) на области I–III и таблицу 3 из [25], для других значений зарегистрированного амплитудного значения прерывистого магнитного поля.

## § 3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМП

Достаточно рутинной ситуацией в области экологического мониторинга ЭМП является невоспроизводимость результатов измерений. Замеры одного и того же параметра произведенные в одной точке практически вслед друг за другом, могут продемонстрировать различия в разы и более. Довольно показательна работа [26], выполненная в рамках исследования ЭМП, воздействующих на пользователей персональных компьютеров с электроннолучевыми видеодисплейными терминалами. На наш взгляд, результаты имеют довольно общий характер и представляют столь же общий интерес.

Практика контроля за соблюдением требований по гигиенической регламентации полей (см. гл. 4), обеспечивающих защиту работающих, выявила ряд проблем (см. напр. [26]), основная из которых – вариабельность результатов такого контроля. Чтобы уточнить постановку и содержание этой проблемы, был создан специальный измеритель параметров электромагнитного поля, генерируемого видеодисплейными терминалами ЭВМ. Его особенности:

- Точная и быстрая регистрация полей;
- Возможность программировать режимы измерения, используя собственные часы;
- Запоминание длинных (до 1 Мб) рядов данных измерения и времени их получения;
- Возможна связь с компьютером для перезаписи данных в память РС и их последующего анализа.

Измерения проводились в научно-исследовательской лаборатории учебного института. Для характеристики общей электромагнитной обстановки следует отметить два главных обстоятельства:

- Лаборатория насыщена электротехническим оборудованием (контрольно-измерительная аппаратура, генераторы, электроинструмент и т.п.). В связи с этим можно ожидать повышенного уровня электромагнитного излучения.
- Оборудование смонтировано и эксплуатируется грамотно – действуют контуры заземления, возможные источники излучения заэкранированы, силовая электропроводка выполнена бронированным кабелем и т.п. Таким образом, уровень электромагнитного излучения сведен к возможному минимуму.

Каких-либо специальных условий для измерения не создавалось – всё и все работали в «штатном режиме».

Характерные результаты одного из сеансов регистрации электрического поля в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц приведены на рисунке 5.2.

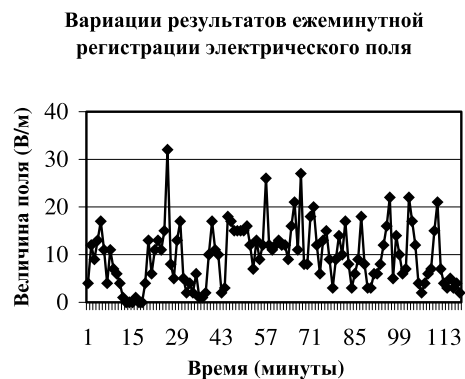


Рисунок 5.2. Пример записи результатов ежеминутной регистрации электрического поля на рабочем месте оператора ПЭВМ с электроннолучевым ВДТ

Видно, что реально измеряемая величина случайна. Это вполне общий результат в области экологического мониторинга, когда приходится иметь дело с малыми величинами регистрируемого параметра, причем сами эти величины есть результат действия многих, не связанных друг с другом, факторов. Следует отметить, что практически все исследования биологического действия электромагнитных полей (см. гл. 4) проводятся при длительном воздействии полей на организмы. При использовании результатов этих исследований в задачах нормирования ЭМП это обстоятельство отражается либо требованием измерять среднее квадратическое значение поля (см. гл. 1), либо ограничениями на время пребывания в области воздействующих полей (см. гл. 4). Почти очевидно, что нормирование в области экологического мониторинга должно учитывать реальный (случайный) характер нормируемых величин и сами нормы должны формулироваться в соответствующей системе понятий.

Например, в описанном выше случае электрического поля на рабочем месте оператора ЭВМ следует ограничивать не верхний предел поля (в этом случае практически всегда можно дожидаться превышения этого предела), а, например, среднее число выбросов за данный уровень или (что практически то же самое) среднюю длительность превышения полем заданного уровня. Исчерпывающее вероятностное описание характеристик выбросов случайной функции было дано в работах S.O.Rice [27]. В частности, для определения среднего (в единицу времени) числа  $\Omega$  выбросов за уровень  $x=a$  необходимо знать распределения плотности вероятности  $F(x,v)$  как самой нормируемой величины  $x$ , так и скорости ее изменения  $v$ :

$$\Omega = \int_0^{\infty} v F(x = a, v) dv .$$

Если нормировать уровень  $a$  и величину  $\Omega$ , то задачей мониторинга становится экспериментальное определение вероятностных характеристик процесса  $X(t)$  – функции распределения  $F(x,v)$ , либо ее моментов. Это, очевидно, требует нового подхода к процессам измерения и использования новой аппаратуры.

Более последовательным представляется подход, в рамках которого целью экологического мониторинга является принятие решения о качестве среды. Соответственно вероятностному характеру используемых при этом данных, решение должно основываться на вероятностной логике. В общем виде задачу можно сформулировать в следующих терминах.

Среда описывается  $N$  измеряемыми параметрами  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , ее состояние относится к одному из  $K$  классов  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_K\}$  (например – (1) оптимальным, (2) приемлемым, (3) вредным, (4) опасным). На основании измерений реальных значений параметров  $X$  следует принять одно из  $L$  решений из набора  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_L\}$ . Очевидно, что принимаемое решение может быть только вероятностным по существу. Здесь определяющую роль играет вероятностный характер результата отдельного измерения, но и само решение может формулироваться только как вероятностное: «Решение  $a_i$  вероятно лучше, чем решение  $a_j$ ».

Существует вероятность обнаружения любого значения параметров  $X$  для сред любого класса из  $W$ , однако для различных сред эти вероятности различны. Иными словами, вероятность  $P$  обнаружения  $X$  зависит от  $w$  как от параметра:

$$P = P(X, w) .$$

Сама по себе вероятность реализации состояния среды  $w$  вероятна, т.е. существует вероятность  $P(w)$  принадлежности среды к любому из состояний  $\mathbf{W}$ . Очевидно, что априорная вероятность обнаружения параметра  $x$  определяется соотношением

$$P(X) = \sum_{k=1}^{k=K} P(X, w_k) \cdot P(w_k).$$

Реальный интерес представляет обратная задача – по измеренному набору величин  $\mathbf{X}$  определить к какому классу относится среда. Это можно сделать, используя теорему Байеса для апостериорных вероятностей

$$P(w_i, X) = P(X, w_i) \cdot P(w_i) / P(X).$$

Используя последнее соотношение можно по результатам измерений  $\mathbf{X}$  определить наиболее вероятное состояние среды, но и не более того. Это ограничение принципиально, поэтому никакое увеличение точности измерительных приборов не позволит сказать о среде больше, чем говорит последняя формула. Из этой же формулы следует, что результат – соотношение среды с одним из возможных классов  $\mathbf{W}$  зависит не только от результата  $\mathbf{X}$  конкретного измерения, но и от априорных вероятностей обнаружить среду в одном из состояний  $\mathbf{W}$ . Иными словами, узаконить можно только метод классификации среды:

- Нормировать вероятность обнаружения параметра  $\mathbf{X}$  в среде класса  $w_i$ .
- Предварительную «паспортизацию» среды, т.е. определение априорных вероятностей нахождения ее в одном из состояний  $\mathbf{W}$ .

Для выбора одного из решений  $\mathbf{A}$  необходимо а priori задать матрицу потерь  $M_{ij}$ , связанных с каждым из возможных решений. Эта матрица определяет цену ошибки от решения  $a_i$ , принятого при обнаружении среды в состоянии  $w_j$ . Далее следует рассчитать суммарный риск  $R(a_i, X)$ , принятия решения  $a_i$  в том случае, если измерения дали величину параметра  $\mathbf{X}$ . Очевидно:

$$R(a_i, X) = \sum_{j=1}^{j=K} M_{ij} \cdot P(w_j, X).$$

В рамках такой стратегии принятия решений необходимо вычислить все возможные риски и выбрать решение, для которого суммарный риск минимален.

Несмотря на то, что конкретный материал, лежащий в основе цитированной работы, относится к области обеспечения электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники, результаты по-видимому имеют более широкий смысл. Это один из примеров ситуаций, когда никакими методологическими приемами невозможно получить достоверный результат, если только не использовать приборы, сконструированные специально для решения задач экологического контроля.

Дело в том, что по мере углубления знаний о биологическом действии ЭМП на живые организмы (см. гл. 2) выясняется роль все более «тонких» параметров электромагнитных полей. Так, например, в последнее время обнаружено, что неоднородное магнитное поле более эффективно действует на организмы, чем однородное. Для полей промышленной частоты выявлена зависимость биоэффективности от поляризации магнитного поля. Показано, что действие прерывистого поля определяется соотношением между длительностями импульсов и пауз между ними. Необходимость уч-

та этих параметров отражена в нормативных документах (см. гл. 4) что накладывает специфические требования на аппаратуру экологического мониторинга.

С вариабельностью и случайной природой результатов экологического мониторинга непосредственно связан вопрос о необходимой точности регистрации полей. Она должна определяться надежностью результатов не самого измерения, а риском неверной классификации среды и ошибочного решения. Как видно из приведенных соотношений (3–4), возможные ошибки определяются не только точностью исходных данных, но и точностью априорной информации о среде и ее вероятных состояниях. Если последние характеризуются ошибками 50–100%, становится неважным с точностью 5% или с точностью 25% регистрируются сами поля.

Как следует из приведенного анализа проблемы экологического мониторинга, задачу оценки электромагнитной безопасности нельзя вычлнять из общей задачи принятия решения о приемлемости среды в качестве жилой или рабочей. Известно, что тяжесть условий по одному из параметров, как правило, можно компенсировать улучшением условий по другим параметрам. Выписанные соотношения дают математически строгую основу для оценки эффективности такой компенсации. Для реализации такого подхода необходимо, однако, изменить как подход к гигиеническому нормированию (поставить его на «вероятностное основание»), так и использовать специфические приборы экологического мониторинга – многоканальные, обладающие памятью, способные определять статистические характеристики регистрируемых параметров, снабженные логикой принятия (или подсказки) решения. Наличие таких возможностей у прибора представляется гораздо более важным, нежели стандартные метрологические характеристики – погрешность измерений, время выхода на рабочие параметры и пр.

Здесь мы сталкиваемся с другой проблемой, связанной с выбором единицы измерения времени в экологических исследованиях. Дело в том, что результаты экологического мониторинга имеют практическую ценность лишь постольку, поскольку они имеют прогностическую значимость – знание настоящего состояния среды может быть как-то использовано лишь в том случае, если мы сможем утверждать, что пребывание человека в этой среде в настоящем приведет к определенным последствиям в будущем. Последние понятия («настоящего» и «будущего») требуют более подробного обсуждения.

Ясно, что настоящее – это множество эмпирических состояний и событий в некотором пространственно-временном объеме. Ясно также, что каждое событие характеризуется некоторым конечным временным интервалом и может быть зарегистрировано только внутри этого интервала. Если рассматривать множество эмпирических состояний и событий, то временной интервал, определяемый как «настоящее», должен быть не меньше наибольшего интервала из совокупности характеризующих это настоящее состояний.

Конкретизируем сказанное.

Если речь идет о, например, температуре, то для нее определение «настоящего» состояния занимает несколько секунд. Для определения, например, радиационного фона необходимы десятки минут и часы. Анализ химических примесей в воздухе с помощью точных современных методов (напр. – газовой хроматографии) занимает сутки. Для анализа микрофлоры помещений необходим срок порядка недели. Таким образом, реальна альтернатива – либо считать «настоящим» недельные интервалы, либо следует смириться с доступностью лишь апостериорной информации о среде. Практическая ценность такой информации, очевидно, существенно ниже.



Рассмотрим эту ситуацию на примере измерений состава химических примесей в воздухе. Как было отмечено выше, точные и чувствительные хроматографические газоанализаторы работают медленно (необходим отбор проб воздуха, барбатирование его через растворы специально подобранных реактивов, проведение колориметрических измерений). В настоящее время разработаны более оперативные, однако менее точные методы химического анализа воздуха, например – с использованием полупроводниковых газовых сенсоров. Процесс измерения здесь занимает минуты (до десятков минут), однако за счет меньшей точности и чувствительности. Можно привести промежуточные (как по чувствительности, так и по длительности анализа) методы. Подобные факторы действуют и в области мониторинга ЭМП. Единичный отсчет занимает немного времени, но если результатом должны стать статистические характеристики электромагнитной обстановки, получение надежных результатов может занять не один рабочий день.

Выбор того или иного метода представляет собой компромисс между требованиями точности и оперативности. Здесь обоснованные метрологические требования являются решающим фактором, определяющим не только выбор того или иного метода измерений, но и саму принципиальную возможность проведения необходимых измерений. Эта проблема становится особенно насущной, если учесть, что аналогичные задачи оперативного измерения таких факторов как химические загрязнения атмосферы, радиационного контроля и т.п., обычно характеризуются невысокой точностью (не лучше 40–80%), достижение более точных результатов возможно, но менее оперативно.

#### § 4. ИЗМЕРЕНИЯ НА ФОНЕ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Практически все измерения техногенных ЭМП происходят на фоне полей промышленной частоты (50 Гц). Эти поля излучаются блоками питания, подводящими кабелями, распределительными щитами и пр. Как правило, эти поля не меньше, чем специфические излучения технических средств (оргтехники, коммуникационных устройств, радио- и телепередающих устройств и пр.). Во многих случаях отстроиться от фона промышленной частоты можно, применяя частотную селекцию сигналов. Есть, однако, практически важный случай – поля, излучаемые видеодисплейными терминалами – когда частотное разделение «полезного» и фоновое ЭМП невозможно. Дело в том, что согласно международным стандартам MPR II и TCO 92/95/98 (и, практически, повторяющих эти стандарты российских норм) излучение ВДТ нормируется в широком диапазоне частот от 5 Гц до 400 кГц, в который попадает и промышленная частота 50 Гц. Остановимся на этом вопросе подробнее.

Необходимость аттестации рабочих мест по параметрам неионизирующих излучений обусловлена тем, что электромагнитные поля ВДТ могут являться составной частью совокупного поля единого комплекса электрических устройств, обеспечивающих технологический процесс обработки информации [28–29]. При аттестации требуется определить суммарный эффект возможных воздействий на операторов полей от всех находящихся на рабочих местах или в непосредственной близости от них электроустройств. При аттестации и текущем контроле рабочих мест, помимо качества ВДТ, влияние на результаты могут оказывать:

- Соседние рабочие места: их планировка и относительное размещение. Влияние соседних рабочих мест обусловлено интенсивным боковым излучением ВДТ. Не

рекомендуется размещать рабочие места скученно (ближе 1,5 м), в ряд друг за другом, вблизи щитков электропитания.

- Вспомогательные приборы и оргтехника. Имеющиеся на рабочих местах кроме основного ВДТ дополнительные электротехнические устройства (калькуляторы, принтеры, факсы и т.п.) могут являться источниками электрических и магнитных полей различной интенсивности и частоты.

- Временные шнуры (удлинители, «переноски» и т.п.) электропитания оборудования. Эти устройства не сертифицируются по требованиям электромагнитной совместимости и в большинстве случаев являются серьезными источниками поля промышленной частоты (50 Гц).

- Находящиеся вблизи рабочих мест незаземленные массивные металлические конструкции (стойки, металлические шкафы, сейфы и пр.) являются переизлучателями создаваемых ВДТ и другими электротехническими средствами переменных электрических полей, расширяя тем самым область.

В случае, если при аттестации рабочих мест оказывается, что уровень электромагнитной радиации превышает норму, желательно указать источник повышенной радиации. Целесообразно использовать несколько способов определения таких источников:

- поочередно включать и выключать различные электроустройства на самом рабочем месте и вблизи него, отмечая при этом изменения уровня радиации; можно полагать, что устройство, выключение которого приводит к существенному снижению уровня радиации, является источником повышенной радиации;

- перемещая измерительную антенну вдоль различных направлений и отмечая при этом изменения радиации, можно определить направление, вдоль которого происходит наиболее существенный рост величины электромагнитного поля; движение вдоль этого направления, как правило, приближает к источнику повышенной радиации;

По результатам таких измерений можно судить о том, какое из электроустройств является источником повышенной радиации.

Если при измерении уровня ЭМП на рабочем месте обнаруживается превышение предельно допустимого уровня, следует убедиться, что это не связано с наличием фона ЭМП промышленной частоты. Уровень излучения на рабочем месте в частотном диапазоне I (5Гц–2кГц) можно считать допустимым, если

- в частотном диапазоне II уровень излучения не превышает допустимых значений;
- разность напряженности электрического поля в диапазоне I при включенном и выключенном (выключателем питания прибора) ВДТ не превышает 20 В/м;
- суммарная напряженность электрического поля в диапазоне I не превышает 500 В/м.

Проводя указанные измерения следует, однако, иметь в виду, что реальные источники электромагнитной радиации имеют сложную структуру, а пространственное распределение электромагнитных полей является результатом процессов пространственно-временной интерференции полей, генерируемых различными источниками. Поэтому заключения, сделанные по результатам таких измерений, могут быть лишь вероятностными. Точный ответ на вопрос о причине повышенной радиации на рабочих местах может дать только специалист на основе анализа конкретных схем, по которым на данном предприятии (или в жилом помещении) осуществляется электропитание и заземление оборудования (см. [26]).

Поле промышленной частоты можно выделить на аппаратном уровне при использовании в тракте обработки сигнала измерительного прибора фильтров, настроенных на эту

частоту. Однако это, верное с технической точки зрения решение, нельзя признать методологически правильным и законным при контроле полей компьютерной техники. В соответствии с требованиями как международных стандартов, так и стандартов Российской Федерации системный блок ПЭВМ и дисплей ПЭВМ рассматриваются в совокупности с их кабелями питания. Соответственно, в спектре полей ПЭВМ и дисплеев ПЭВМ в обязательном порядке присутствуют составляющие промышленной частоты 50 Гц. Поля частоты 50 Гц создаются также цепями коммутации, находящимися внутри ПЭВМ и дисплеев ПЭВМ. Все эти поля – собственные поля данных технических средств. При селекции 50-герцовой составляющей измерительный прибор не сможет отделить их от полей внешнего фона частоты 50 Гц. Оценка уровней собственных полей компьютерной техники при такой методологии также будет проведена некорректно.

В случае, если совокупность результатов проведенных измерений указывает на повышенный уровень фона ЭМП промышленной частоты как на причину повышенных значений измеряемых показателей, следует требовать организации качественного заземления вычислительной техники и другого электрооборудования, находящегося в пределах и вблизи рабочего места пользователя.

Приведем, в заключение этого параграфа, несколько замечаний на смежную тему о сертификации ВДТ.

- Сертификационные испытания должны проводиться в испытательных лабораториях, к которым предъявляются требования по климатическим условиям и требования по уровню электромагнитного фона (высокая величина которого, естественно, снижает достоверность оценки характеристик технических средств). Климатические требования (температура окружающего воздуха, относительная влажность, скорость движения воздушного потока и концентрация аэроионов) предъявляются при измерениях электростатического потенциала экрана, а требования по электромагнитному фону – при измерениях переменных электрических и магнитных полей. Для измерения электростатического потенциала наиболее критичным параметром является влажность; при повышенной влажности электростатические заряды стекают с поверхности экрана ВДТ и реально измеренное значение потенциала становится меньше истинного. Допускается проводить такие испытания в помещениях пользователей ВДТ и ПЭВМ, если в этих помещениях можно обеспечить регламентированные или близкие к ним условия проведения испытаний.

- В соответствии с ГОСТ Р 50949-96 к приборам для измерения компьютерной техники предъявлены специальные требования по конструктивному исполнению приемных антенн. Антенна прибора для измерения электрического поля должна иметь вид диска диаметром 300 мм с активной частью диаметром 100 мм.

- Измерение магнитного поля осуществляется в 48 точках (по 16 точек вокруг дисплея на трех уровнях по высоте относительно центра экрана). Измерение электрического поля осуществляется в 4-х точках вокруг дисплея. Точки измерения расположены по окружности с касательной на расстоянии 0,5 м от его экрана и центром в центре дисплея.

- Измерение переменных электрических и магнитных полей должно проводиться приборами, позволяющими осуществлять контроль раздельно в двух частотных диапазонах – 5 Гц...2 кГц и 2 кГц...400 кГц. Основная погрешность измерений должна быть в пределах 10%.

- Для электрического и магнитного полей в каждом из поддиапазонов частот в протокол заносится значение поля перед экраном, а также максимальное значение, полученное при измерении в других точках с указанием координат этой точки.

- При измерении электростатического потенциала и переменного электрического поля измерительные приборы и испытуемые технические средства должны быть заземлены на общую клемму заземления.

Все средства измерений, используемые при сертификационных испытаниях, должны быть включены в Государственный Реестр средств измерений РФ.

## § 5. ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

**Воздействие ЭМП, создаваемых радиотехническими объектами на население.** Контроль ЭМП в местах размещения радиосредств осуществляется для определения санитарно-защитных зон (СЗЗ) и зон ограничения застройки (ЗОЗ), а также для определения условий труда на собственно территории передающих радиопередатчиков, где размещены все службы, обеспечивающие работу радиопередатчиков и антенно-фидерных систем (АФС). Эта территория охраняется и на нее допускаются только лица, профессионально связанные с обслуживанием передатчиков, коммутаторов и АФС. Контроль может осуществляться путем использования расчетных методов и/или проведения измерений на рабочих местах.

Расчетные методы используются преимущественно при проектировании новых или реконструкции действующих объектов, являющихся источниками ЭМП. На стадии проектирования допускается определение уровней ЭП и МП расчетным способом с учетом технических характеристик источника ЭМП по методикам (программам), обеспечивающим получение результатов с погрешностью не более 10%, а также по результатам измерений уровней электромагнитных полей, создаваемых аналогичным оборудованием. Для обеспечения требований по контролю уровней ЭМП от определенных источников разработана серия методических указаний (МУК). Предельно допустимые уровни в них определяются методом расчета.

Для действующих объектов контроль ЭМП осуществляется преимущественно посредством инструментальных измерений, позволяющих с достаточной степенью точности оценивать напряженности ЭП и МП или ППЭ:

- на этапе предупредительного санитарного надзора (при приемке объекта в эксплуатацию);
- на этапах текущего санитарного надзора (при изменении ситуационных планов размещения антенн, технических характеристик или режимов работы объекта);
- после проведения защитных мероприятий, направленных на снижение уровней ЭМП;
- в порядке плановых контрольных измерений.

Для инструментального контроля используются измерители уровней ЭП и МП или ППЭ, к которым предъявляются следующие требования:

- измерительная антенна не должна существенно искажать структуру измеряемого поля;
- измерительная антенна должна иметь изотропную характеристику направленности;
- кабель, соединяющий антенну с блоком индикации результатов, не должен обладать антенным эффектом;
- частотный диапазон измерительной антенны должен соответствовать диапазону частот измеряемых ЭМП;

• прибор должен обладать достаточной помехозащищенностью для работы в мощных мешающих ЭМП.

При определении границ СЗЗ и ЗОЗ требуется проведение измерений во многих точках, обычно они выполняются вдоль определенных трасс (маршрутов) измерений. Выбор трасс определяется рельефом прилегающей к излучающей антенне местности и целью измерений. При первых измерениях, когда границы СЗЗ и ЗОЗ устанавливаются впервые, выбирается несколько трасс, определяемых по конфигурации предполагаемых границ СЗЗ с учетом характера прилегающей местности (рельеф, растительность). Район, прилегающий к объекту, разбивается на секторы. В каждом секторе выбирается радиальная относительно объекта трасса, измерения вдоль которой позволяют дать наиболее репрезентативную картину распределения ЭМП в районе излучающей антенны передающего радицентра.

Выбор мест измерения определяется необходимостью исключить (по возможности) облучение населения в местах его возможного нахождения как в пределах СЗЗ и ЗОЗ, так и вне их.

В каждой точке измерения следует находить максимальное значение ЭМП по высоте до 2 м, при этом следует ориентировать измерительную антенну на излучающую и вращением ее добиться максимальных показаний. Целесообразно проводить несколько (не менее трех) независимых измерений и в качестве результата принимать максимальное из измеренных значений. По результатам измерений составляется протокол, который является неотъемлемой частью санитарного паспорта передающего радицентра.

При текущем санитарном надзоре, когда характеристики работы объекта и условия его эксплуатации остаются неизменными, измерения могут проводиться по одной характерной трассе или по границам СЗЗ и ЗОЗ.

**Особенности контроля систем подвижной радиосвязи.** Процедура контроля уровней ЭМП от средств подвижной радиосвязи установлена в нормативном документе [30]. Измерения уровней напряженности ЭМП и плотности потока электромагнитной энергии, излучаемой подвижными станциями, должны проводиться в условиях, позволяющих стабильно обеспечить максимальный уровень излучения.

Измерение контролируемого уровня напряженности ЭМП, создаваемого подвижными станциями, проводится на расстояниях от излучающей антенны, указанных в таблице 5.1.

Таблица 5.1

*Расстояния, на которых следует проводить измерения напряженности ЭМП от подвижных станций*

Частота ЭМП, МГц	Расстояние между антеннами (передающей и измерительной), м
27–30	0,38
30–40	0,2
150	4,9
180	4,2
300	2,5

Уровень зарегистрированного электрического поля не должен превышать 1,5 В/м. Предполагается, что при этом будут выполняться соответствующие требования нормативных документов [30] и [25]. Для больших частот (выше 300 МГц) измеряется плотность потока электромагнитной энергии. Для диапазона частот 300–800 МГц контроль должен производиться на расстояниях от передней панели аппарата, задаваемых графиком на рисунке 5.3.

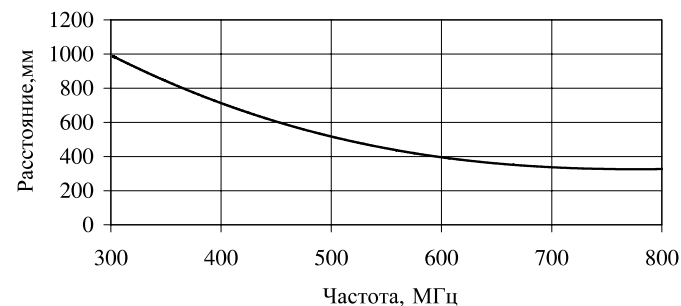


Рисунок 5.3. Расстояния, на которых следует производить измерения

Для диапазона частот 0,8–2,4 ГГц расстояние должно быть выбрано 370 мм.

На указанных расстояниях уровень зарегистрированного потока электромагнитной энергии не должен превышать 3 мкВт/см<sup>2</sup>. Предполагается, что при этом будут выполняться соответствующие требования нормативных документов [25] и [30].

**Особенности контроля систем сотовой связи.** Очевидно, что никакие предостережения не могут остановить стремительный рост числа абонентов сотовой связи. Именно поэтому специалисты во всем мире видят свою задачу в выработке четких рекомендаций для обеспечения безопасности пользователей.

При эксплуатационных испытаниях базовых станций (БС, см. гл. 1) контролируются следующие параметры:

- среднюю мощность передатчика в режиме генерации несущей радиочастотно-го пакета;
- центральную частоту спектра излучения;
- ширину необходимой полосы излучений;
- уровень внеполосных излучений.

Измеренные значения параметров радиопередающих устройств БС должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 50016-92 и ГОСТ Р 50657-94. При санитарно-гигиенической оценке электромагнитной безопасности населения контролируется плотность потока энергии ЭМП. Так как передатчик БС работает в режиме, близком к непрерывной генерации, при контроле ПДУ ЭМП используется измеритель средней плотности потока энергии, что соответствует гигиеническим требованиям.

Что касается излучения телефонных трубок сотовых телефонов, излучение всех их попадает в диапазон 0,3–2,4 ГГц (см. гл. 1, таблица 1.7) и на них распро-

строятся требования к системам подвижной радиосвязи. Контрольный уровень потока электромагнитной энергии составляет  $3 \text{ мкВт/см}^2$  (см. выше). В зависимости от частоты, на которой работает телефон, этот поток следует измерять на расстояниях от  $\approx 0,6 \text{ м}$  (для аналоговых стандартов) до  $\approx 0,4 \text{ м}$  для цифровых стандартов GSM-1800 (DCS).

Следует отметить, что в странах-производителях сотовых телефонов приняты более сложные методы измерений параметров излучения телефонных трубок. Измеряется (методом замещения) выходная мощность на антенне в режиме передачи сообщений. Эта величина, усредненная по углам поворота трубки вокруг вертикальной оси, не должна превышать  $0,8 \text{ Вт}$ .

Разработан также европейский стандарт EN 50361 исследований поглощенной удельной (на единицу массы) мощности при облучении человека электромагнитными полями мобильных телефонов. Для таких исследований должен использоваться фантом, моделирующий голову человека, с встроенной миниатюрной антенной внутри. Фантом заполняется жидкостью, так что антенна может перемещаться внутри с помощью системы автоматического позиционирования. Диэлектрические свойства жидкости фантома должны быть близки к диэлектрическим свойствам тканей человеческого мозга.

В настоящее время эти правила в России не действуют, однако можно ожидать, что в русле общей тенденции гармонизации российских стандартов к европейским, нечто подобное описанным выше процедурам будет применяться и в России.

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

(1) Процесс проведения измерений ЭМП, являясь ключевым моментом всей процедуры экологического мониторинга, требует тщательной подготовки. Здесь должны быть продуманы как организационные вопросы (согласованные планы проведения измерений, оформление результатов), так и проблемы подбора аппаратуры, соответствующей задачам мониторинга.

Общие требования к Измерителям параметров ЭМП:

- инструментальный контроль должен осуществляться приборами, прошедшими государственную аттестацию и имеющими свидетельство о поверке;
- датчики-преобразователи электрического поля не должны серьезно искажать поле подводными кабелями;
- желательно использовать Измерители с трехкомпонентными датчиками-преобразователями поля, обеспечивающими изотропную диаграмму направленности приемной антенны;
- при использовании в качестве средств измерения приборов направленного приема (дипольные антенны) необходимо осуществлять поиск максимального регистрируемого значения путем ориентации датчика в каждой точке в разных плоскостях.

(2) Нормирование импульсно модулированных полей осуществляется на основе принципа дозовой нагрузки, гласящей, что условия труда при действии неионизирующих электромагнитных полей и излучений устанавливаются с учетом значений энергетических экспозиций в тех диапазонах частот, где они нормируются. Инструментальный контроль таких полей может проводиться с использованием специаль-

ных измерителей, реализующих алгоритм аппаратурного измерения параметров модуляции сигналов.

(3) Представляет реальный интерес возможность определения статистических характеристик ЭМП – среднего уровня, среднеквадратического отклонения от среднего уровня, среднее число выбросов за априорно установленный уровень, среднюю длительность превышения полем заданного уровня и т.п. Эти данные можно использовать для определения параметров вероятностной логики принятия решений. Для проведения таких измерений необходимо, однако, использовать специфические приборы экологического мониторинга – многоканальные, обладающие памятью, способные определять статистические характеристики регистрируемых параметров, снабженные логикой принятия (или подсказки) решения. Наличие таких возможностей у прибора представляется гораздо более важным, нежели стандартные метрологические характеристики – погрешность измерений, время выхода на рабочие параметры и пр.

(4) Нормирование и контроль излучения базовых станций и телефонных трубок сотовой связи осуществляется на основе требований к системам подвижной радиосвязи. В странах-производителях сотовых телефонов приняты более сложные методы измерений параметров излучения телефонных трубок. Можно ожидать, что в русле общей тенденции гармонизации российских стандартов к европейским, нечто подобное процедурам европейского стандарта EN 50361 будет применяться и в России.

## ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 5

1. МУ 4109-86 «Методические указания по определению электромагнитного поля воздушных высоковольтных линий электропередачи и гигиенические требования к их размещению».
2. МУ 3207-85 «Методические указания по гигиенической оценке основных параметров магнитных полей, создаваемых машинами контактной сварки переменным током частотой 50 Гц».
3. МУК 4.3.045-96 «Методические указания. Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения средств телевидения и ЧМ-радиовещания».
4. МУК 4.3.046-96 «Методические указания. Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной подвижной радиосвязи СВЧ и УВЧ-диапазонов».
5. МУ 4550-88 «Методические указания по определению уровней электромагнитного поля средств управления воздушным движением гражданской авиации ВЧ-, ОВЧ-, УВЧ- и СВЧ-диапазонов».
6. МУ 2055-79 «Методические указания по осуществлению государственного санитарного надзора за объектами с источниками электромагнитных полей неионизирующей части спектра».
7. МР 2159-80 «Методические рекомендации по проведению лабораторного контроля за источниками электромагнитных полей неионизирующей части спектра при осуществлении государственного санитарного надзора».
8. МУК 4.3.679-97 «Методические указания. Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто-, и декаметрового диапазонов».

9. МУК 4.3.677-97 «Методические указания. Определение уровней электромагнитных полей на рабочих местах персонала радиопредприятий, технические средства которых работают в НЧ,СЧ и ВЧ диапазонах».
10. МУК 4.3.680-97 «Методические указания. Определение плотности потока излучения электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц-300 ГГц».
11. МУ 3913-85 «Методические указания по определению и нормализации электромагнитной обстановки в местах размещения метеорологических радиолокаторов».
12. МУ 4562-88 «Методические указания по нормализации электромагнитной обстановки в местах размещения двухканальных метеорологических РЛС».
13. МР 2551-82 «Методические рекомендации по уточнению электромагнитной обстановки (ЭМО) в местах расположения линейных и плоскостных переизлучателей».
14. РД № 2552-82 «Информационное письмо о размерах санитарно-защитных зон в местах расположения радиолокаторов типов МРЛ-5 и МРЛ-6».
15. «Гигиеническая оценка электромагнитных излучений радиолокационных станций на судах. Методические указания», утв. МЗ РСФСР 20.06.77.
16. «Методические указания Предупредительный и текущий санитарный надзор за радиопередающими средствами связи на судах.», утв. МЗ РСФСР 20.09.80.
17. МУ 4258-87 «Методические указания по определению и гигиенической регламентации ЭМП, создаваемых береговыми и судовыми РЛС».
18. МУ 1837-78 «Методические указания по гигиене труда в пищевой промышленности при работе на установках, оборудованных генераторами электромагнитных полей сверхвысокой частоты».
19. МУ 4109-86 «Методические указания по определению электромагнитного поля воздушных высоковольтных линий электропередачи и гигиенические требования к их размещению».
20. «Методические рекомендации. Гигиеническая оценка электромагнитного излучения радиолокационных станций на судах». Утверждены МЗ РСФСР 20.06.77.
21. «Методические рекомендации. Предупредительный и текущий санитарный надзор за радиопередающими средствами связи на судах». Утверждены МЗ РСФСР 26.08.80.
22. МУК 4.3.678-97 «Методические указания. Определение уровней напряжений, наведенных на проводящие элементы зданий и сооружений в зоне действия мощных источников радиоизлучений».
23. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Руководство Р2.2.755-99
24. ЗОЛОТАРЕВСКИЙ Ю.М., ИВАНОВ В.С., ИСАЕВ Л.К. и др. Методы и проблемы экологического мониторинга среды. Законодательная и прикладная метрология. 2000 г., № 2, С. 6–13.
25. Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.2.4.1191-03.
26. СТЕРЛИКОВ А.В., ТИМОФЕЕВА Е.И., ФЕДОРОВИЧ Г.В. и др. Опыт контроля уровня электромагнитных полей. АНРИ, 1998 г., № 2, С. 4-15.
27. RISE S.O., Mathematical Analysis of Random Noise, Bell.Sys.Tech.J. v. 23, 1944.
28. Обеспечение электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники. Справочное руководство / Под ред. А.А. Туркевича. Фрязино: ГНПП «Циклон-Тест», 1999. – 120 с.
29. Типовая программа по обеспечению электромагнитной безопасности рабочих мест с использованием персональных электронно-вычислительных машин в организациях, осуществляющих деятельность в Московской области. Фрязино, 1999. – 22 с.
30. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03.

# ГЛАВА 6. АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЭМП

## ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Парк аппаратных средств экологического мониторинга ЭМП, использующихся в настоящее время, включает широкую гамму электронно-измерительных приборов – от простейших, сконструированных несколько десятилетий назад, до современных высокоточных, с программным управлением и встроенными микропроцессорами.

Эти приборы применяются при производстве, эксплуатации и техническом обслуживании электротехнического, коммуникационного, офисного и другого оборудования.

Предлагается широкий выбор измерителей для выполнения различных измерительных задач. Например, перечень только отечественных приборов, предназначенных для экологического контроля ЭМП, в книге [1] состоит из трех десятков типов приборов, если сюда включить приборы зарубежных фирм, их число перевалит сотню. В такой ситуации трудно сделать осознанный выбор, тем более оптимизированный по отношению цена / качество. Существует опасность приобретения прибора, использование которого будет проблематичным.

Основное, из чего следует исходить при выборе прибора, это, очевидно, цель, с которой предполагается его использование: исследования, рутинный мониторинг, контроль норм и т.п. Важно также – насколько интенсивно предполагается использовать Измеритель. Для проведения разовых или достаточно редких измерений можно не принимать во внимание его сервисные возможности, если же предполагается постоянное использование Измерителя, его сервисные возможности приобретают важное значение.

При выборе измерителя следует принимать во внимание не только выполняемые функции, такие как диапазон частот измеряемых сигналов, разрешающую способность, точность, быстродействие, но и качество прибора, его надежность, стоимость обслуживания, универсальность применения, возможность работы в составе измерительной системы.

Следует иметь в виду, что задачи экологического контроля достаточно специфичны. Например, биологическое воздействие ЭМП не слишком селективно по отношению к частоте воздействующего поля, соответственно и приборы контроля должны быть широкополосными, в отличие от большинства технических приложений, где избирательность по частоте – важный параметр. С другой стороны, в задачах экологического контроля часто необходимы длительные серии измерений довольно переменных полей (см. напр. гл. 4), поэтому к приборам предъявляются жесткие требования по стабильности и длительности автономных измерений с возможностью запоминания длинных рядов данных измерений.

При использовании Измерителей в некоторых ситуациях самым важным является быстродействие. В других случаях (например – при решении исследовательских проблем) нужна высокая точность, высокая разрешающая способность, хорошее подавление наводок. Как правило, требования многих потребителей лежат где-то посередине.

При приобретении специфического прибора следует исходить из предполагаемой основной области применения и особенностей объекта контроля. Для многих измерительных задач нет необходимости использования самых чувствительных измерителей, так как применяемые датчики не позволяют реализовать предельную чувствительность прибора. Высокочувствительные прецизионные измерители рассчитаны, в основном, на работу в автономном режиме, а не в быстродействующем автоматизированном комплексе.

При необходимости измерений полей сложной временной зависимости (напр. – прерывистое поле промышленной частоты, см. гл. 1) следует оценивать частотный спектр и коэффициент амплитуды сигналов и, исходя из таких оценок, выбирать соответствующий измеритель.

## § 1. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТУРЫ МОНИТОРИНГА ЭМП

### Общая блок-схема

Стандартная схема Измерителя параметров ЭМП приведена на рисунке 6.1.

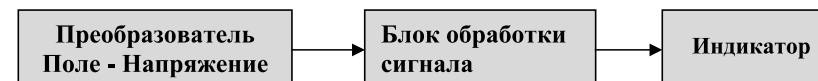


Рисунок 6.1. Основные блоки Измерителя

### Преобразователь:

- для магнитных полей это катушки, магниторезисторы, феррозонды, датчики Холла, очень редко (как правило – в физико-технических исследовательских установках) датчики на магнитооптических ячейках;
- для электрических полей это электрические вибраторы, многоэлектродные подвижные системы (для измерения электростатических полей), также редко – датчики на электрооптических ячейках;
- для измерения потока энергии СВЧ ЭМП используются дипольно-детекторные микросборки (диполи как магнитные так и электрические), СВЧ-термисторы и термопарные преобразователи.

При измерениях полей на частотах > 10 МГц необходимая точность обеспечивается использованием у приборов входных устройств – антенн с малой входной емкостью.

Блок обработки, как правило, включает в себя:

- усилители,
- фильтры,
- выпрямители сигналов,
- корректирующие элементы.

Индикатор – либо:

- стрелочный (характерно для старых измерителей) прибор,
- жидкокристаллический индикатор (современные измерители),

- то и другое вместе (как правило – в дорогих моделях измерителей).

В последних случаях (при выводе результата на жидкокристаллический индикатор) сигнал предварительно цифруется.

Приборы, выполненные по такой схеме, могут быть предназначены для решения довольно широкого круга задач, которые можно объединить по главному признаку.

#### Измерение параметров сигналов без анализа их формы.

Это наиболее быстрые и простые измерения, при которых Измеритель выполняет функции, свойственные Измерителям переменных периодических или импульсных сигналов общего применения. При таких измерениях регистрируются:

- среднеквадратические значения переменных сигналов с насыщенным спектральным составом в широкой полосе частот 1 кГц–300 МГц,
- средневыпрямленные значения переменных сигналов широкополосных сигналов,
- амплитудные значения повторяющихся переменных сигналов,
- амплитуд повторяющихся импульсов длительностью от единиц наносекунд до десятков секунд,
- мгновенные значения изменяющихся сигналов в заданный момент времени,
- максимальные значения однократных сигналов в заданном временном окне.

По типу применяемого преобразователя в блоке обработки сигнала, все измерители делятся на две категории:

(1) Более простые приборы на базе преобразователей средневыпрямленного или амплитудного значения, обеспечивающие измерение синусоидальных полей в диапазоне частот 10 Гц–1,5 ГГц.

(2) Приборы на базе преобразователей истинного среднеквадратического значения, измеряющие поля с произвольной формой временной зависимости. Такие преобразователи более сложные и, соответственно, более дорогие, однако именно эти (среднеквадратические) значения поля нормируются в соответствующих нормативных документах. Если прибор предназначен для контроля за соблюдением норм по величине полей, следует обращать внимание на то, какую именно величину он измеряет.

Практически все преобразователи Поле-Напряжение характеризуются направленностью приема, т.е. результат измерения поля будет зависеть от угла между направлением вектора поля и направлением оси чувствительности антенны преобразователя. Использование Измерителей с такими преобразователями для измерения величины поля требует либо проведения измерений при различных ориентациях антенны и выбора в качестве результата максимального по всем направлениям значения, либо измерения полей вдоль трех взаимно перпендикулярных направлений и подсчета среднеквадратического значения из этих величин. И тот и другой методы трудоемки, неоперативны и приводят к значительным ошибкам при изменении меняющихся полей. Для того, чтобы упростить измерения и сделать результаты более точными, используются

#### Измерители с трехкомпонентными датчиками.

Блок-схема такого Измерителя приведена на рисунке 6.2. Здесь используется три преобразователя, ориентированных в трех взаимно-перпендикулярных направлениях, а блок обработки сигнала включает в себя среднеквадратическое суммирование сигналов с трех преобразователей. В остальном схема и функциональные возможности Измерителя не отличаются от предыдущих.

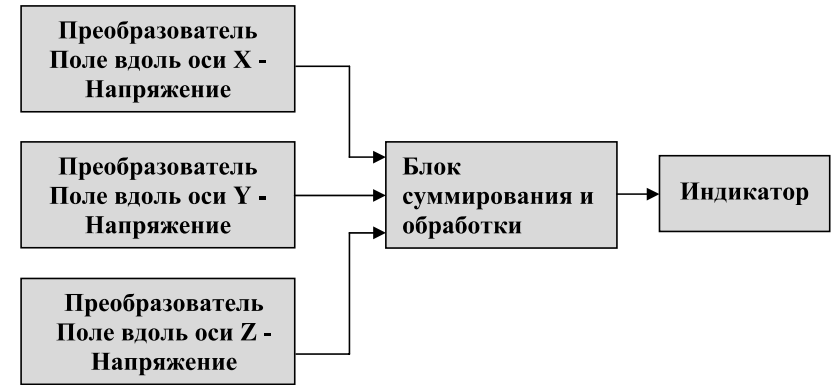


Рисунок 6.2. Основные блоки Измерителя с трехкомпонентным датчиком поля

#### Процессорные измерители.

Появление микропроцессоров привело к революционным переменам в архитектуре всего приборостроения, в том числе и в области Измерителей ЭМП. Процессорные Измерители работают с числами, получающимися после оцифровки входных сигналов. Они являются наиболее перспективными приборами, как для проведения единичных, так и повторяющихся рутинных измерений. Блок-схема процессорного Измерителя приведена на рисунке 6.3.

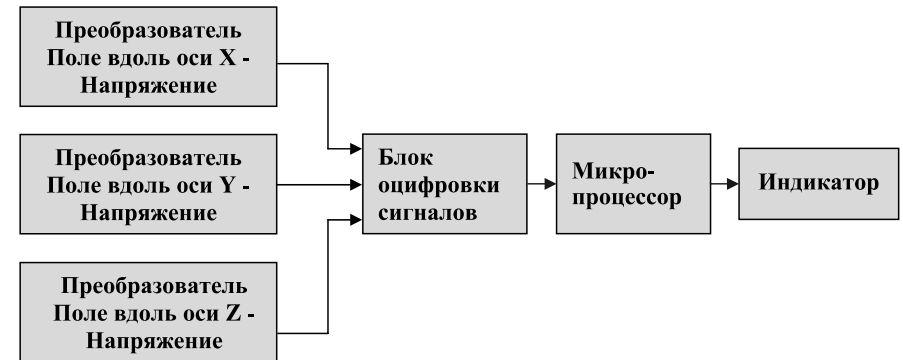


Рисунок 6.3. Основные блоки микропроцессорного Измерителя с трехкомпонентным датчиком поля

В измерительной схеме приборов этого класса использован метод регистрации мгновенных значений сигнала с последующим аналого-цифровым преобразованием и математической обработкой результатов.

Внешние проявления прогресса – тенденция к постоянному повышению уровня пользовательских функций: автоматизация измерений, освобождение оператора от рутинных

подготовительных и вычислительных операций, документальной фиксации результатов. Более серьезные изменения касаются расширения функциональных возможностей приборов. Повышение степени интегрированности микросхем и микроконтроллеров, совершенствование технологий позволяют наращивать функциональные возможности приборов с одновременным уменьшением их веса и габаритов. В настоящее время с помощью компактных, портативных приборов можно выполнять измерения, которые еще недавно были доступны только стационарной аппаратуре значительного веса и габаритов.

#### **Измерение параметров сигналов с анализом их формы.**

Современные Измерители используются для аналого-цифрового преобразования широкополосных сигналов с возможностью записи и хранения информации о сигнале, вывода графической информации о сигнале на внешний дисплей, автоматического измерения различных параметров сигнала:

- времени нарастания сигнала на фронте (длительность фронта) импульсного сигнала между двумя уровнями, заданными в долях от установившегося значения вершины импульса,
- времени спада (длительность среза) импульсного сигнала между двумя уровнями, заданными в долях от установившегося значения вершины импульса,
- суммарная длительность импульсного сигнала, измеренная на уровне, заданном в долях от установившегося значения вершины импульса,
- длительность периода периодического сигнала.

Математические операции с сигналами:

- арифметика – сложение, вычитание, умножение, деление,
- извлечение квадратного корня,
- интегрирование,
- быстрое Фурье преобразование.

Измерители с трехкоординатными датчиками в режиме цифровых измерений могут осуществлять синхронное стробирование по трем каналам исследуемых сигналов взаимно-ортогональных датчиков поля, аналого-цифровое преобразование значений сигнала в точках стробирования, вычисление фазовых сдвигов в каналах регистрации, запоминание массива данных, характеризующих форму сигнала, в цифровом оперативном запоминающем устройстве.

Появляются Измерители параметров ЭМП, оборудованные различными типами анализаторов сигнала, которые могут выполнять измерения в частотной области. Это анализаторы спектра, преобразования Фурье, измерители флуктуаций, нелинейных искажений, модуляций.

Спектральный анализ, т.е. выделение, наблюдение и измерение параметров спектров сигналов является наиболее эффективным средством исследования и контроля излучения различных устройств. Этот метод позволяет выявить такие особенности сигналов, которые невозможно обнаружить другими методами исследования.

Современные анализаторы спектра – это многофункциональные приборы, позволяющие решить множество измерительных и исследовательских задач:

- панорамный анализ спектра,
- измерение уровней и отношений уровней слабых сигналов и составляющих спектра сигналов,
- измерение уровней и отношений уровней спектральной плотности мощности стационарных случайных процессов,

- измерение частот спектральных составляющих и частотных интервалов между ними,
- измерение параметров модулированных сигналов,
- измерение спектров шумов вблизи несущей, уровней гармоник и побочных колебаний в излучениях,
- поиск свободных каналов и обнаружение несанкционированных излучений.

Появление алгоритмов быстрого преобразования Фурье открыло возможность создания цифровых устройств для обработки и анализа сигналов с большой скоростью. Преобразования Фурье дает возможность определения комплексного спектра, что недоступно алгоритмам численной фильтрации.

#### **Измерения статистики сигналов.**

Важное значение при обработке результатов измерения имеет возможность выделения сигналов из шумов, наводок, флуктуаций. Как правило, для этого требуется иметь возможность накопления и усреднения сигналов по множеству реализаций, а так же возможность локализации помех с помощью перемещаемого временного окна.

Усреднение сигналов, позволяющее регистрировать его при значительном уровне наводок. В этом режиме обеспечивается измерение параметров усредненного сигнала. При этом результаты обновляются на экране после записи заданного количества реализаций. Число записанных реализаций и коэффициент усреднения индицируются на экране прибора. В результате математической обработки массива запомненных данных определяются наиболее значимые параметры поля.

Представляет реальный интерес возможность определения амплитудного распределения сигналов (гистограммы) в координатах «относительная частота – амплитуда». Гистограмма характеризует плотность вероятности появления случайных событий и может использоваться для определения их статистических характеристик, в простейшем случае – дисперсии и среднеквадратического отклонения сигнала. При более углубленном анализе эти данные можно использовать для определения параметров вероятностной логики принятия решений (см. гл. 5, § 2).

#### **Система интерфейса для сопряжения устройств.**

Многие современные приборы имеют стандартный RS 232 интерфейс, что позволяет при создании тестовых и измерительных систем объединить их с приборами и устройствами многих стран-производителей измерительной и компьютерной техники.

Система интерфейса (интерфейс) предназначена для связи тестовых измерительных приборов, периферийных устройств и контроллеров – персональных компьютеров, микромини-компьютеров – при использовании их в автоматизированной системе измерений.

В большинстве современных измерительных приборов, имеющих интерфейсный порт, интерфейс реализован в соответствии со стандартом RS 232 (байт-последовательная асинхронная передача). В настоящее время сотни фирм в десятках стран мира выпускают тысячи устройств с RS 232 интерфейсом. Соответственно, задача создания автоматической системы измерений становится более простой за счет:

- наличия большого выбора компьютеров для использования в качестве контроллера автоматической системы измерений;
- наличия большого выбора совместимых контрольно-измерительных приборов и периферийных устройств для создания автоматической системы измерений;
- тщательной апробации и отработки принципов стыковки устройств, наличия базового программного обеспечения в компьютерах применительно к интерфейсу RS 232.



Решение использовать автоматическую систему измерений вместо обычных («вручную») методов измерений должно быть основано на технической оценке преимуществ с учетом затрат. Преимущества, связанные с использованием автоматической системы измерений:

- более точные результаты при повторяющихся измерениях – работа системы не зависит от уровня квалификации и внимания персонала;
- более высокая производительность – автоматическая система измерений может работать с более высокими скоростями;
- более полное испытание – обеспечивается измерение большого количества параметров на высокой скорости, т.е. за более короткий временной интервал;
- результаты измерений выражаются в виде, необходимом для их обработки в контроллере, при этом обработка может вестись с использованием самых современных методов анализа результатов;
- высокий уровень точности – ошибки системы могут измеряться автоматически, храниться в памяти компьютера и обрабатываться до получения конечных результатов;
- результаты измерений можно распечатывать или сохранять в памяти компьютера для последующего использования.

В настоящее время комбинация вышеперечисленных условий может обеспечить значительное сокращение затрат на разработку автоматической системы измерений.

#### Самотестирование и автокалибровка.

Принципы цифровой калибровки, используемые в процессорных Измерителях ЭМП, обеспечивают коррекцию погрешностей аналоговых устройств путем учета соответствующих поправочных коэффициентов. Поправки смещения нуля, коррекция нелинейности и относительные масштабные коэффициенты определяются при выполнении автокалибровки. Встроенные калибраторы обеспечивают автоматическую калибровку прибора и проверку основных погрешностей измерения при тестировании с возможной выдачей результатов тестирования на экран. Автокалибровка выполняется после включения прибора и в любое время по выбору пользователя.

Общие масштабные коэффициенты вносятся при внешней калибровке прибора по образцовым мерам. Калибровочные коэффициенты хранятся в энергонезависимом запоминающем устройстве.

Самодиагностика и самоконтроль параметров. Позволяет полностью контролировать не только работоспособность прибора, но и его метрологические характеристики. Прилагаемые в технической документации алгоритмы поиска неисправностей облегчают ремонт прибора.

Во многих приборах реализуется режим консультативных сообщений, исключающих неправильные действия оператора.

## § 2. ЧАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АППАРАТУРЫ МОНИТОРИНГА ЭМП

Перечень возможных свойств аппаратуры мониторинга ЭМП, приведенный в предыдущем параграфе, является результатом суммирования характеристик реальных приборов. Не следует думать, что существует Измеритель ЭМП, обладающий всеми перечисленными свойствами. Для реальных измерительных задач большая часть возможностей, описанных выше, просто не требуется и соответствующие при-

боры разрабатываются и конструируются по упрощенным схемам. Следует, однако, признать, что возможности многих из выпускаемых в настоящее время приборов не в полной мере соответствуют тем требованиям, выполнение которых необходимо для проведения полноценного мониторинга согласно действующим нормативам.

Эти положения иллюстрируются ниже на конкретных примерах. При этом возможности будем проводить сравнение отечественной техники с аналогичными зарубежными образцами. В качестве последних выбрана продукция приборостроительной фирмы Wavetek Wandel & Goltermann (Германия). Это наиболее современные приборы для измерения уровней электромагнитных полей, полностью отвечающие требованиям к средствам инструментального контроля ЭМП стандартов ЕЭС.

#### Статические поля.

Для регистрации электростатических полей используется электрическая дипольная антенна с периодически изменяющейся геометрией. На выходе первичного преобразователя Поле-Напряжение появляется переменное напряжение, амплитуда которого пропорциональна напряженности измеряемого электростатического поля. Конкретная реализация этой идеи может выглядеть как вращающаяся вокруг поперечной оси дипольная антенна, можно вращать только одно плечо диполя, оставляя другое неподвижным. Можно использовать неподвижную дипольную антенну, но периодически экранировать ее от внешнего поля.

Выбор приборов для измерения электростатических полей достаточно широк. Характеристики некоторых приведены ниже в таблице 6.1 (данные взяты из [2]). Следует отметить, что в этой области измерений не нужен какой-либо специальный анализ сигнала, поэтому здесь обработка измерений простейшая – фильтрация частот от единиц Гц и выше. Применение процессорных приборов целесообразно, если необходимо запоминание данных в серии измерений, либо если прибор предназначен для работы в составе автоматизированной измерительной системы. Если процессор используется, то как правило, на него возлагаются также и функции самотестирования и автокалибровки.

Таблица 6.1  
Приборы для измерения постоянного электрического поля

Название прибора	Измеряемая величина	Диапазон	Погрешность (%)	Питание	Изготовитель
Измеритель электростатического потенциала ИЭСП-6 (на заряженных поверхностях)	Электростатический потенциал	0,1–10 кВ	10	автономное (батареи)	Москва, А/Я-7, НПЦ «ЭМС»
Измеритель напряженности электрического поля ИЭСП-7	Напряженность электростатического поля	+(2–200 кВ/м)	10	автономное (батареи)	- // -
Измеритель напряженности электростатического поля «СТ-01»	Электростатический потенциал, напряженность электростатического поля	поле: 0,3–180 кВ/м потенциал: 0,1–15 кВ	15	автономное (батареи)	Москва, ООО «НТМ-Защита»

В качестве характерного зарубежного образца прибора для измерений уровней постоянного магнитного поля можно привести магнитометр ЕТМ-1. Этот прибор имеет автоматический или ручной выбор диапазона измерений, дистанционное управление по RS-232. Прибор разработан для измерений уровней постоянного магнитного поля, источниками которого являются, например, медицинское оборудование, металлплавильные печи и транспорт на электрической тяге.

ЕТМ-1 обеспечивает измерения постоянных магнитных полей. Прибор имеет как автоматический, так и ручной выбор диапазона измерений. Результаты представляются на ЖК дисплее (3+1/2 символа). Возможны измерения по одной или трем осям. Датчик Холла соединяется с прибором экранированным кабелем длиной 1,5 м.

В измерительной головке установлены три датчика, сигналы с которых обрабатываются в измерителе раздельно. Результатом является геометрическая сумма измеренных значений. Диапазон измерений от 0,1 до 2000 мТл.

Для дистанционного управления ЕТМ-1 используется интерфейс RS-232.

В комплект прибора входят измеритель, измерительная головка, экран измерительной головки, сумка-чехол, соединительный кабель RS-232, батарея и сетевой блок питания.

В России выпускается несколько типов аналогичных приборов, характеристики которых приведены ниже в таблице 6.2 (данные взяты из [2]).

Таблица 6.2

Приборы для измерения постоянного магнитного поля

Название прибора	Измеряемая величина	Диапазон (мТл)	Погрешность (%)	Питание	Изготовитель
Магнитометр феррозондовый МФ-1 (нанотесламетр)	Магнитная индукция (постоянное геомагнитное поле)	0,01–200	0,5	автономное (батареи) электросеть	РПКБ г. Раменки
Тесламетр Ф–4354/1	Магнитная индукция (постоянное магнитное поле)	150–1500	0,5	автономное (батареи)	ЗПО «Электроизмеритель»
Тесламетр Ф–4355	Магнитная индукция (постоянное геомагнитное поле)	100–1500	2,5	автономное (батареи) электросеть	ЗПО «Электроизмеритель»

Все эти приборы вполне соответствуют своему назначению.

#### Поля промышленной частоты.

Проведенный в гл. 3 и в гл. 4 краткий обзор проблем, связанных с регистрацией полей промышленной частоты согласно действующим гигиеническим нормам, демонстрирует необходимость использования для этих целей приборов, способных измерять все параметры эллипса поляризации – как величину полуосей, так и эксцентриситет  $\epsilon$  (или параметр эллипсности  $E$ ) одновременно. Кроме того, действующие нор-

мы требуют использования приборов, позволяющих измерять не только уровни, но и временные характеристики прерывистого магнитного поля. Учитывая длительности соответствующих временных интервалов (от сотых долей секунды до десятков секунд, см. гл. 3), следует признать, что здесь также нецелесообразно использование аналоговых методов обработки сигнала. Аналого-цифровое преобразование с последующей числовой обработкой и анализом временных характеристик сигнала представляется наиболее эффективным.

Эффективным решением в этой области является использование для мониторинга электромагнитного поля измерительной аппаратуры, сконструированной на базе сигнальных микропроцессоров, позволяющих проводить быструю оцифровку входных сигналов и последующую числовую обработку результатов в режиме реального времени, по ходу проведения измерений. За рубежом такие приборы стали выпускаться несколько лет назад и стоят они дорого. В качестве примера приведем характеристики Анализатора переменного магнитного поля EFA-1 (выпускается фирмой Wandel&Goltermann, Eningen, Germany):

Трехкоординатный датчик, встроенный в корпус прибора и позволяющий автоматически определять максимальный модуль индукции магнитного поля при любом положении в выбранной точке.

Встроенный частотомер, позволяющий проводить измерения индукции магнитного поля в диапазоне частот 5–30 кГц, в т.ч. на фиксированной частоте  $50 \pm 2$  Гц.

Цифровое и аналоговое отсчетное устройство, работающее одновременно. Отсчет показаний возможен в действующих и максимальных значениях.

Многофункциональный жидкокристаллический индикатор с подсветкой, позволяющий работать при малой освещенности.

Меню пользователя, позволяющее устанавливать требуемый предел измерений, частоту (фиксированную или диапазон), режим работы (непрерывный отсчет показаний или выделение наибольшего значения), измеряемое значение (действующее или максимальное).

Модификация прибора EFA-1, модель EFA-3, имеет вход для электрической антенны. Следует отметить, что одна из принципиальных проблем регистрации электрического поля состоит в том, что при использовании антенн, связанных с измерительным блоком электрическим кабелем, последний вносит существенные возмущения в измеряемое поле, при этом результаты могут меняться в разы при изменении относительного расположения антенны и измерительного блока. Решение, реализованное в приборе EFA-3, состоит в том, что электрическая антенна выполнена в виде автономного блока небольшого размера (куб со стороной 10 см), связанного с измерительным блоком оптоволоконным кабелем, который практически не влияет на электрическое поле. Таким способом достигнуто минимальное возмущение измеряемого электрического поля.

В остальном по своим функциональным возможностям прибор EFA-3 не отличается от EFA-1. Это прецизионный анализатор магнитного и электрического полей в диапазоне частот от 5 Гц до 30 кГц с развитыми функциями фильтрации, частотомер, память данных. Дистанционное управление и передача результатов измерений.

- Диапазон частот 5 Гц–30 кГц
- Изотропные измерения
- Диапазон измерения от 5 нТл до 10 мТл и от 0,1 В/м до 100кВ/м
- Среднеквадратичные и пиковые значения

- Развитые функции фильтрации
- Встроенный частотомер
- Настраиваемая сигнализация
- Встроенный таймер
- Сохранение настроек пользователя
- Автокалибровка

Существующий отечественный приборный парк измерителей магнитного поля – это Измерители с однокоординатными датчиками, способные измерять лишь эффективное значение линейно поляризованного непрерывного магнитного поля. Некоторые из них перечислены в таблице 6.3 (данные взяты из [2]).

Таблица 6.3

Приборы для измерения электромагнитного поля промышленной частоты 50 Гц

Название прибора	Измеряемая величина	Диапазон (мГл)	Погрешность (%)	Питание	Изготовитель
Измеритель напряженности электрического поля ИНЭП-50	Напряженность ЭП	0,5–50 кВ/м	10	автономное (батареи)	Опыт. пр-во, СибНИИЭ, г.Новосибирск
Измеритель напряженности электрического поля ПЗ-1М	Напряженность ЭП	0,1–100 кВ/м	25	автономное (батареи)	ЛИИОТ СПб
Измеритель напряженности магнитного поля ИНМП-50	Напряженность МП	1–10000 А/м	10	автономное (батареи)	Опыт. пр-во, СибНИИЭ, г.Новосибирск
Измеритель магнитной индукции промышленной частоты ИМП-50	Магнитная индукция	0,01 мкТл –10 мТл	10	автономное (батареи)	Москва ВНИИФТРИ

Гармонизация норм (см. гл. 4) сравнительно легко происходит на бумаге, но для своего внедрения в практику экологического мониторинга ЭМП требует обновления аппаратного обеспечения соответствующих служб.

Единственный сопоставимый (с Анализатором переменного магнитного поля ЕФА-1) по своим функциональным возможностям прибор – Измеритель эллиптически поляризованного магнитного поля промышленной частоты 50 Гц «В-метр», сконструированный на базе сигнального микропроцессора. В режиме цифровых измерений прибор осуществляет синхронное стробирование по трем каналам исследуемых сигналов взаимно-ортогональных датчиков поля, аналого-цифровое преобразование значений сигнала в точках стробирования и запоминание массива данных, характеризующих форму сигнала, в цифровом оперативном запоминающем устройстве.

Математические операции с сигналами:

- арифметика – сложение, вычитание, умножение, деление,
- извлечение квадратного корня,
- интегрирование,
- вычисление фазовых сдвигов в каналах регистрации.

В результате математической обработки массива запомненных данных определяются наиболее значимые параметры поля – основная частота, эффективная величина поля, параметры эллипса поляризации.

Для сравнения с зарубежным аналогом, приведем здесь его характеристики.

Выносной (на штанге) трехкомпонентный датчик, позволяющий автоматически определять параметры индукции эллиптически поляризованного магнитного поля при любом положении в выбранной точке.

Встроенный частотомер, позволяющий проводить измерения частоты осциллирующий магнитного поля в районе 50±2 Гц.

Цифровое отсчетное устройство на основе жидкокристаллического индикатора.

Меню пользователя, позволяющее устанавливать режимы измерения эффективного значения индукции магнитного поля (непрерывный отсчет показаний или выделение наибольшего значения), частоты (в указанном диапазоне), эллипсности.

Прибор обеспечивает (благодаря встроенной возможности автоматического выбора коэффициента усиления) измерения в широком (не менее 60 дБ) диапазоне величин поля.

Возможно запоминание параметров зарегистрированного сигнала.

Как видно, прибор «В-метр» удовлетворяет всем перечисленным выше минимальным требованиям для регистрации параметров эллиптически поляризованного магнитного поля, а также выдерживает сравнение с одним из лучших зарубежных аналогов.

**ЭМП, излучаемые ВДТ ПК**

Излучение видеодисплейных терминалов персональных компьютеров обладает рядом специфических особенностей (см. гл. 1), которые необходимо учитывать. Для контроля параметров ЭМП ВДТ согласно нормам MPR II и TCO'92/95 шведской фирмой Radians Innova разработаны специальные измерители ЭМП:

ЕММ-4 Измеритель электрических полей от экранов компьютерных дисплеев в диапазонах частот: 5 Гц–2кГц, 2 кГц–400 кГц.

ВММ-3000 Light Измеритель магнитных полей, в том числе и от экранов компьютерных дисплеев в диапазонах частот: 5 Гц–2 кГц, базовая версия.

ВММ-3000 Измеритель магнитных полей, в том числе и от экранов компьютерных дисплеев в диапазонах частот 5 Гц–2 кГц, с математическим обеспечением работающим под Windows.

ВММ-5 Измеритель магнитных полей, в том числе и от экранов компьютерных дисплеев в диапазонах частот: 2 кГц–400 кГц.

Приборы компактные, имеют питание от подзаряжаемых аккумуляторных батарей и просты в использовании. Оптимизированы для персонального применения. Подключение к компьютеру через интерфейс RS 232 для передачи результатов измерений. Автоматическое проведение измерений длительностью до 24 часов. Обработка полученных данных с помощью широкодоступных программ (например, Microsoft® Excel™). Развитые функции фильтрации сигнала. Возможность поставки программных средств расчета переменных электрического и магнитного полей с учетом множественных источников.

В России в 1996 г. были приняты аналогичные MPR II нормы на излучение терминалов ПК (см. гл. 4), тогда же появились разработки отечественных Измерителей для соответствующих измерений ЭМП. Следует отметить здесь комплекты приборов «Циклон-04», «Циклон-05» и «Циклон-05м», выпускаемых предприятием «Циклон-Тест». По метрологическим параметрам эти приборы аналогичны шведской аппаратуре, хотя и уступают ей по сервисным возможностям.

Предприятием ООО «НТМ-Защита» выпускается Измеритель параметров электрического и магнитного полей «В&Е-метр», который объединяет в себе комплект измерительной аппаратуры для измерения среднеквадратических значений напряженности электрического поля и магнитной индукции переменных электромагнитных полей при сертификации технических средств и аттестации рабочих мест по условиям труда. Это стало возможным благодаря использованию высокоэффективной процессорной обработки сигналов. Измеритель соответствует Российским стандартам на приборы для измерения электромагнитных излучений (ГОСТ Р 51070-97), отечественным и международным стандартам по методам измерения параметров безопасности компьютерной техники (ГОСТ Р 50949-01, MPR II). Технические характеристики Измерителя (частотные характеристики, динамический диапазон) выбраны в полном соответствии с нормируемыми по санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 параметрами излучений ВДТ. Измеритель внесен в Государственный реестр средств измерений под №17396-98.

Таким образом, можно констатировать, что этот вид измерений ЭМП вполне обеспечен аппаратурно как зарубежной, так и отечественной промышленностью.

#### ЭМП радиочастотного диапазона.

При описании приборов ЕФА (см. выше) отмечалось, что их можно использовать для регистрации полей в частотном диапазоне до 30 кГц, причем диапазон измеряемых величин сигналов, полоса пропускания и параметры АЧХ измерительного тракта могут быть выбраны пользователем и оперативно изменяться в процессе работы.

Для более высокочастотных измерений напряженности электрических полей, создаваемых различными источниками: радиовещательными и телевизионными передатчиками, медицинским оборудованием, радаром, передатчиками систем радио- и сотовой связи, микроволновыми печами и т. п., измерения в безэховых и ТЕМ-камерах можно использовать Измерители электромагнитного излучения EMR-20 и EMR-30. Они работают в диапазоне частот от 100 кГц до 3 ГГц, при этом датчиками поля служат трехкомпонентные антенны, обеспечивающие изотропную диаграмму направленности. Динамический диапазон от 1 до 800 В/м.

Характеристики (функциональные и сервисные) приборов:

- показание прибора в процентах от устанавливаемого граничного значения;
- высокая точность измерений с автоматической настройкой нулевого уровня;
- непосредственное подключение к персональному компьютеру через волоконно-оптический двунаправленный последовательный интерфейс V.24 (RS 232) для передачи результатов измерений, дистанционного управления и калибровки;
- хранение 1500 значений результатов измерений (только для EMR-30);
- обработка полученных данных с помощью широкодоступных программ (например, Microsoft® Excel™);
- EMR-30 позволяет проводить измерения с пространственным усреднением.

Существующий отечественный приборный парк измерителей высокочастотных ЭМП достаточно полон: диапазон измеряемых частот от десятка кГц до десятков ГГц. Приборы

этого класса снабжены набором внешних антенн электрического и магнитного полей. В частотном диапазоне от 300 МГц и выше измеряется плотность потока энергии электромагнитного поля (как и рекомендуется нормативами, см. гл. 4). Все эти приборы выпускаются СКБ «РИАП», некоторые из них перечислены в таблице 6.4 (данные взяты из [2]).

Таблица 6.4

Приборы для измерения ЭМП в диапазоне радиочастот

Название прибора	Измеряемая величина	Диапазон (мТл)	Погрешность (дБ)	Питание	Изготовитель
Измеритель напряженности поля ПЗ-16 (ПЗ-15, ПЗ-17)	Среднеквадратичное значение напряженности ЭП: 0,01–300 МГц МП: 0,01–30 МГц	ЭП: 1–1000 В/м МП: 0,5–16 А/м	3	автономное (батареи)	603057 Н.Новгород, ул. Бектова, 13, СКБ «РИАП»
Измеритель напряженности поля ПЗ-21	Среднеквадратичное значение напряженности ЭП: 0,01–300 МГц МП: 0,01–30 МГц	ЭП: 1–1000 В/м МП: 0,5–16 А/м	3	автономное (батареи)	- // -
Измеритель напряженности поля ПЗ-22 (ПЗ-22/2, ПЗ-22/3, ПЗ-22/4)	Среднеквадратичное значение напряженности ЭП: 0,01–300 МГц МП: 0,01–300 МГц	ЭП: 1–3000 В/м МП: 0,1–500 А/м	2,5	автономное (батареи)	- // -
Измеритель магнитной индукции промышленной частоты ИМП-50	Среднее значение ППЭ 0,3–39,65 ГГц	(0,32–10) мкВт/см <sup>2</sup> (3,2–10) мВт/см <sup>2</sup>	2	автономное (батареи)	- // -

## ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В настоящее время предлагается широкий выбор измерителей для выполнения различных измерительных задач. Парк достаточно специфических аппаратных средств экологического мониторинга ЭМП включает широкую гамму электронно-измерительных приборов. Для осознанного выбора Измерителя ЭМП под ту или иную задачу необходимо иметь представление о возможностях современных приборов.

Наиболее перспективными приборами, как для проведения единичных, так и повторяющихся рутинных измерений являются процессорные Измерители, работающие с числами, получающимися после оцифровки входных сигналов. Эти приборы находят широкое применение благодаря следующим функциональным особенностям:

- широкий динамический и частотный диапазон,
- высокая скорость измерения,

- высокая точность,
  - наличие оперативного запоминающего устройства (памяти прибора),
  - наличие разнообразных программ обработки результатов измерений,
- а также высоким эксплуатационным характеристикам (сервисные возможности):
- наличием внутренней диагностики неисправностей и программ автокалибровки,
  - возможность применения в составе автоматизированных измерительных систем,
  - эксплуатации в условиях жестких климатических и механических воздействий.

Доступные математические операции с сигналами:

- арифметика – сложение, вычитание, умножение, деление,
- извлечение квадратного корня,
- интегрирование,
- быстрое Фурье преобразование
- вычисление фазовых сдвигов в каналах регистрации.

Повышение степени интегрированности микросхем и микроконтроллеров, совершенствование технологий позволяют наращивать функциональные возможности приборов с одновременным уменьшением их веса и габаритов. В настоящее время с помощью компактных, портативных приборов можно выполнять измерения, которые еще недавно были доступны только стационарной аппаратуре значительного веса и габаритов.

За рубежом такие приборы стали выпускаться несколько лет назад. Наиболее распространены в России Анализаторы переменного электромагнитного поля EFA (выпускается фирмой Wandel&Goltermann, Eningen, Germany).

Выпуск таких приборов в России находится в самой начальной стадии. В основном парк приборов отечественного производства – это Измерители с однокоординатными датчиками, способные измерять лишь эффективное значение линейно поляризованного непрерывного электромагнитного поля. Процессорная техника практически не используется (за редкими исключениями).

Причина здесь не только в неразвитости электронного производства в России, но и в не всегда оправданных требованиях потребителей к аппаратуре экологического контроля, в том числе и по отношению цена/качество. Для многих измерительных задач нет необходимости использования самых чувствительных и высокоточных измерителей. С другой стороны, в задачах экологического контроля часто необходимы длительные серии измерений переменных полей, поэтому к приборам предъявляются жесткие требования по стабильности и длительности автономных измерений с возможностью запоминания длинных рядов данных.

## ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 6

1. ТИЩЕНКО В.А., ТОКАТЛЫ В.И., ЛУКЬЯНОВ В.И., РУБЦОВА Н.Б., ПОХОДЗЕЙ Л.В. Электромагнитное поле. В кн. Крутиков В.Н., Брегадзе Ю.И., Круглов А.Б. Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека (Энциклопедия) М., Изд. Стандартов, 2003 г., 376 с.

2. Измерители напряженности электрического и магнитного полей. Общие технические требования и методы испытаний. ГОСТ Р 51070-97.

3. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Руководство Р 2.2.755-99.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из задач, которую автор ставил перед собой при работе над этой книгой, было обрисовать картину современного состояния дел в области экологического мониторинга электромагнитных полей. При этом была сделана попытка представить эту тему как единый комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных проблем. Одновременно такой взгляд позволил упорядочить картину в достаточно сложной области. Только на этой основе возможно квалифицированное решение основных задач экологического мониторинга – планирование и выполнение измерений, выбор необходимой измерительной аппаратуры, формулировка итоговых выводов и рекомендаций.

Если кратко подытожить содержание книги, картина получается такой:

- Современное состояние наук об электричестве – электродинамики и электротехники – позволяет понять, предсказать и рассчитать электромагнитное излучение любого технического устройства, используемого человеком.

- Это излучение имеет, как правило, сложную пространственно-временную структуру и характеризуется, помимо амплитуды, набором параметров – тип поляризации, характер модуляции, пространственные градиенты, плотность и поток энергии и пр.

- Следующая ступень в теории экологических эффектов – взаимодействие ЭМП с материальными средами вообще и с тканями живых организмов в частности – представляется не столь ясной. Это достаточно интенсивно развивающаяся область электродинамики, и в настоящее время на фоне понимания общих закономерностей остается достаточно много «белых пятен» в понимании конкретных явлений.

- К настоящему времени гигиенистами и врачами-эпидемиологами набрана достаточно надежная статистика, свидетельствующая о том, что работа в условиях воздействия ЭМП (практически всех частотных диапазонов) может вызывать функциональные расстройства нервной и сердечно-сосудистой систем. Длительное и интенсивное облучение может привести к резким колебаниям сосудистого тонуса и дисэнцефальному синдрому. Эти изменения могут вызвать стойкое снижение трудоспособности.

- Эти результаты выдержали вторжение в семидесятые годы в область физиков и биофизиков, пытавшихся найти «физически обоснованные механизмы воздействия ЭМП на биообъекты» и много сделавших для того, чтобы была утеряна ясность взгляда и замкнутость концепции гигиенической значимости этого фактора. В настоящее время активность здесь, к счастью, затихает.

- Достаточно надежно установленные статистически значимые причинно-следственные связи в области гигиены труда и быта дали возможность установить санитарно-гигиенические нормативы воздействий ЭМП практически для всех диапазонов частот. Разработаны также самостоятельные гигиенические нормативы для ЭМП от отдельных видов оборудования бытового и производственного назначения.

- Общая характеристика действующих гигиенических нормативов – в них регламентируются в основном амплитудные (энергетические) нагрузки, слагаемые из интенсивности и времени контакта с ЭМП. Эти нормативы не позволяют распространить ПДУ на условия воздействия ЭМП со сложными физическими характеристиками, в частности применительно к различным режимам модуляции и поляризации полей.

## СОДЕРЖАНИЕ

- Для полей промышленной частоты нормируются различные амплитудные параметры ЭМП в зависимости от вида поляризации поля и от характеристик импульсных режимов генерации. Для контроля таких полей необходимо использовать специальные измерители с трехкомпонентными датчиками поля, алгоритм аппаратной обработки сигналов должен предусматривать определение параметров эллипса поляризации поля, а также регистрацию длительностей импульсов и пауз между ними. Регистрация поля обычными приборами может приводить к недопустимым ошибкам.

- Практически важной представляется возможность определения статистических характеристик ЭМП – среднего уровня, среднеквадратического отклонения от среднего уровня, среднее число выбросов за априорно установленный уровень, среднюю длительность превышения полем заданного уровня и т.п. Эти данные можно использовать для определения параметров вероятностной логики принятия решений. Для проведения таких измерений необходимо, однако, использовать специфические приборы экологического мониторинга – многоканальные, обладающие памятью, способные определять статистические характеристики регистрируемых параметров, снабженные логикой принятия (или подсказки) решения.

- Гармонизация российских норм с международными, декларируемая государственной и законодательной властями, сравнительно легко происходит на бумаге, но для внедрения в практику экологического мониторинга ЭМП необходимо обновление аппаратного обеспечения соответствующих служб.

- Задачи экологического мониторинга ЭМП требуют внедрения в практику процессорных Измерителей, которые работают с числами, получающимися после оцифровки входных сигналов. Широкие функциональные возможности, а также высокие эксплуатационные характеристики позволяют проводить измерения, которые еще недавно были доступны только стационарному лабораторному оборудованию. Использование Измерителей с однокоординатными датчиками, способными измерять лишь эффективное значение линейно поляризованного непрерывного электромагнитного поля, которые в основном и составляют парк приборов отечественного производства, может приводить к серьезным ошибкам в принятии решений.

<b>Введение</b> .....	3
§ 1. Общая картина .....	3
§ 2. Государственная структура мониторинга .....	7
§ 3. Некоторые аспекты работы Госсанэпидслужбы .....	9
§ 4. Международный уровень .....	10
Литература к Введению .....	11
<b>Глава 1. Электродинамические и электротехнические аспекты проблемы мониторинга ЭМП</b> .....	13
Вводные замечания .....	13
§ 1. Характеристики электромагнитных полей .....	15
§ 2. Характеристики взаимодействий электромагнитных полей с веществом .....	24
§ 3. Характеристики техногенных электромагнитных полей .....	27
Заключительные замечания .....	39
Литература к Главе 1 .....	40
<b>Глава 2. Биологическое действие ЭМП</b> .....	41
Вводные замечания .....	41
§ 1. Действие постоянных и медленно меняющихся (СНЧ-диапазон) электрического и магнитного полей .....	44
§ 2. Действие электрического и магнитного полей промышленной частоты .....	48
§ 3. Широкодиапазонное ЭМП от ВДТ .....	51
§ 4. Действие электромагнитного поля радиочастотного диапазона .....	55
§ 5. Действие электромагнитного поля сотовых телефонов .....	57
Заключительные замечания .....	59
Литература к главе 2 .....	62
<b>Глава 3. Электростатика и аэроионы</b> .....	64
Вводные замечания .....	64
§ 1. Аэроионы в природе .....	64
§ 2. Биологическое действие аэроионов .....	68
§ 3. Лечебное действие аэроионов .....	71
§ 4. Аэроионы и электростатическое поле .....	74
§ 5. Вопросы искусственной аэроионизации .....	76
Заключительные замечания .....	77
Литература к главе 3 .....	78
<b>Глава 4. Законодательная база экологического мониторинга ЭМП</b> .....	80
Вводные замечания .....	80
§ 1. Нормирование постоянных и медленно меняющихся (СНЧ-диапазон) электрического и магнитного полей .....	83
§ 2. Нормирование электрического и магнитного полей промышленной частоты .....	85
§ 3. Регламентация широкодиапазонного ЭМП от ВДТ .....	91
§ 4. Нормирование ЭМП радиочастотного диапазона .....	95
Заключительные замечания .....	100
Литература к главе 4 .....	100

<b>Глава 5. Проведение измерений</b> .....	103
Вводные замечания .....	103
§ 1. Общие принципы измерения ЭМП .....	104
§ 2. Принцип дозовой нагрузки .....	106
§ 3. Статистические характеристики результатов измерения ЭМП .....	107
§ 4. Измерения на фоне полей промышленной частоты .....	112
§ 5. Особенности мониторинга полей радиочастотного диапазона .....	115
Заключительные замечания .....	118
Литература к главе 5 .....	119
<b>Глава 6. Аппаратурное обеспечение экологического мониторинга ЭМП</b> .....	122
Вводные замечания .....	122
§ 1. Общие характеристики аппаратуры мониторинга ЭМП .....	123
§ 2. Частные особенности аппаратуры мониторинга ЭМП .....	128
Заключительные замечания .....	135
Литература к главе 6 .....	136
<b>Заключение</b> .....	137