

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИИ

**М. Ю. Маслов**, директор Научно-образовательного центра технической электродинамики и антенных систем филиала ФГУП НИИР–СОНИИР, к.т.н.; mikem@soniir.ru

**Ю. М. Сподобаев**, главный научный сотрудник Научно-образовательного центра технической электродинамики и антенных систем филиала ФГУП НИИР–СОНИИР, д.т.н.; spod@soniir.ru

**М. Ю. Сподобаев**, директор филиала ФГУП НИИР–СОНИИР, к.т.н.; mspd@soniir.ru

Рассмотрены проблемы электромагнитной экологии в контексте современного уровня развития отрасли телекоммуникаций. Материал структурирован в соответствии с существующими в настоящее время методологическими тенденциями: вопросы электромагнитного мониторинга, нормирования электромагнитных полей, прогнозирования, инструментального контроля и защиты от электромагнитных полей и излучений. Особое внимание уделено методическим подходам к комплексному решению практических задач электромагнитной экологии. Статья является логическим продолжением публикации одного из авторов в журнале «Электросвязь» («ЭС», 1992, № 3) и в значительной степени обобщает результаты научно-практической деятельности авторов за прошедшие 20 лет.

**Ключевые слова:** электромагнитные поля, электромагнитное загрязнение, электромагнитный мониторинг, электромагнитное прогнозирование, геоэкологическое картографирование.

**Введение.** Более 20 лет назад, в 1992 г., в журнале «Электросвязь» была опубликована статья Ю. М. Сподобаева «Проблемы электромагнитной экологии» [1]. В ней впервые в центральной печати появилось понятие «электромагнитная экология», которое автор ввел в обращение еще в начале 80-х годов. Термин с трудом пробивал себе дорогу в технических и научных публикациях, поскольку в те времена с понятием «экология» ассоциировались преимущественно медико-биологические проблемы окружающей среды. Сейчас термин «электромагнитная экология» прочно вошел в лексикон специалистов различного профиля: проводятся научно-технические конференции, в названии которых он присутствует, открыты рубрики журналов с таким названием, защищаются диссертации, посвященные этим проблемам, и пр.

Введение термина в широкий обиход шло параллельно с развитием нового научного направления — электромагнитной экологии, в рамках которого сегодня успешно сотрудничают специалисты как технического, так и медико-биологического, педагогического, информационно-технологического и других профилей. За первой статьей в «Трудах НИИР» [2] последовали сотни публикаций, десятки монографий, диссертации, многочисленные НИР, доклады на различных конференциях, формирование научных школ — все это характерные признаки существования электромагнитной экологии как научного направления в России в последние 30 лет.

Своеобразным обобщением результатов научных исследований за первые два десятилетия развития электромагнитной экологии стала изданная в 2000 г. монография [3], об актуальности которой и по сей день свидетельствуют многочисленные ссылки на нее, зарегистрированные в системе РИНЦ. Народно-хозяйственное значение проблем электро-

магнитной экологии было подчеркнуто включением соответствующего раздела в Федеральный справочник [4].

Все это время головной научной организацией в области электромагнитной экологии, координирующей эволюцию, решение и внедрение результатов научных исследований, оставался Самарский филиал НИИР–СОНИИР. Тесное сотрудничество с рядом профильных организаций Министерства здравоохранения РФ привело к решению серьезных научно-технических, медико-биологических, информационных, образовательных вопросов, а также способствовало созданию в России нормативно-методической базы электромагнитной безопасности.

**Электромагнитная экология и электромагнитная безопасность.** Авторы статьи давно предложили различать эти два понятия, а проблемы, касающиеся защиты человека от электромагнитных полей (ЭМП) антропогенного происхождения, относить к электромагнитной безопасности. Однако «более совершенный и желательный подход заключается в изучении реакции биологических компонентов экосистем на воздействие любого загрязняющего фактора и в разработке на этой основе шкалы оценок вредности воздействия» [1] — т.е. речь идет о биоиндикации по электромагнитному фактору, а значит, это уже проблематика электромагнитной экологии. Некоторые организмы резко деградируют или даже исчезают при воздействии ЭМП гораздо меньших уровней, чем предельно допустимые для человека. Хотя, конечно, электромагнитная безопасность является составной частью направления электромагнитной экологии, как и человек — неотъемлемая составляющая биосферы.

Остановимся на еще одном важном аспекте — понятии электромагнитного мониторинга, различная трактовка которого приводит порой к неоднозначному толкованию проблем электромагнитной экологии.

В общем случае электромагнитный мониторинг должен включать наблюдение за воздействующим фактором, оценку состояния среды по соответствующим критериям, прогнозирование обстановки по этому фактору и создание информационных систем различного целевого назначения.

Авторы предлагают различать несколько видов электромагнитного мониторинга по целевой направленности [5].

*Электромагнитный мониторинг для оценки санитарно-гигиенического состояния окружающей среды, загрязненной ЭМП энергетических и телекоммуникационных технических средств.* Его особенность — строгое соответствие действующей в Российской Федерации нормативно-методической документации. Такой мониторинг, осуществляемый для целей санитарно-гигиенической экспертизы, проводится на этапах проектирования, строительства и эксплуатации излучающих технических средств. Его основой является прогнозирование электромагнитной обстановки расчетными методами. Расчеты проводятся обычно на критические режимы работы: ус-

ловия прямой видимости, предельные нагрузки, максимальные излучаемые мощности и, что важно, в непосредственной близости к излучающим объектам [3, 6–8].

Результаты этого мониторинга оформляются в виде санитарно-гигиенического заключения на излучающий объект, включающего материалы по санитарным зонам конкретного объекта. Для формирования обобщенной картины поля какого-то района, города или любой территории они мало-пригодны.

*Геоэкологический электромагнитный мониторинг* состояния окружающей среды [8–10] охватывает, как правило, намного большие, чем анализируемые при санитарно-гигиенической оценке, территории. Его особенность — значительное количество разнородных технических средств, пространственная разнесенность излучающих объектов, влияние рельефа местности и застройки на электромагнитную обстановку. Для оценок электромагнитной обстановки целесообразно иметь систему обобщенных оценок как размещенного на территориях оборудования, так и уровней создаваемой электромагнитной угрозы.

Результаты этого мониторинга должны допускать детальный анализ электромагнитной обстановки, предполагающий оценку вкладов различных излучающих технических средств и возможность прогнозирования энергетических запасов оборудования [7, 11]. Именно такой мониторинг должен сопровождать любую хозяйственную деятельность в современных условиях.

*Социально ориентированный электромагнитный мониторинг* [12]. На сегодняшний день развитие телекоммуникационных систем достигло такого уровня, что вопросы электромагнитной безопасности и мониторинга ЭМП на различных территориях становятся все более актуальными. Учащаются случаи возникновения социальной напряженности при размещении излучающих объектов на селитебных территориях.

Возникает необходимость своевременного и оперативного информирования населения об уровне электромагнитного загрязнения той или иной территории, причем с визуализацией полученных данных. Предоставление доступной и достоверной информации о состоянии окружающей среды — это требование Конституции РФ (ст. 42). Результаты такого мониторинга должны быть известны населению и непрерывно корректироваться при появлении новых проблем, касающихся электромагнитной обстановки.

*Оперативный электромагнитный мониторинг, осуществляемый операторами телекоммуникационных сетей на базе современного оборудования* [13]. Это часть общего мониторинга работоспособности телекоммуникационных сетей. Проблемы оперативного мониторинга уровней электромагнитного излучения представляют интерес преимущественно для владельцев технических средств: операторов связи, организаций, занятых эксплуатацией энергосетевых объектов, и т.п.

При непосредственном участии специалистов СОНИИР разработаны основные нормативные документы (санитарные нормы и правила — СанПиН, временные допустимые уровни — ВДУ и пр.), устанавливающие предельные для человека уровни ЭМП, а также методические документы (методические указания — МУК), определяющие порядок расчетного прогнозирования и инструментального контроля электромагнитной обстановки. Это более двух десятков документов, имеющих статус федеральных.

Рассмотрим современное состояние проблем электромагнитной экологии по тем же направлениям, что и в [1].

**Нормирование ЭМП** — сложный процесс, включающий различные виды медико-биологических исследований (гигиенические, клинично-физиологические, экспериментальные), технические работы, сопровождающие физическое моделирование полей, электродинамическое моделирование воздействий ЭМП на биологические объекты, экономическое обоснование работ по нормированию, социальные исследования и др.

Принципы построения нормативно-методической документации и предельно допустимые уровни были установлены на основе результатов фундаментальных исследований, проведенных в середине 70-х — начале 80-х годов. За прошедшие десятилетия произошли необратимые изменения в отрасли, выражающиеся не только в наращивании сетевых емкостей, но и в качественном преобразовании технологий.

Основные тенденции в эволюции телекоммуникаций:

- Активно расширяются сети связи с повсеместным использованием новых архитектурных решений.

- Стремительно увеличивается количество операторов, обслуживающих одну и ту же территорию.

- Активно внедряются новые телекоммуникационные услуги — на основе как традиционных сетей, так и новых (например, сети LTE).

- Осваиваются новые и перераспределяются ранее используемые участки радиочастотного спектра.

- Изменяются спектральные характеристики излучаемых сигналов.

- Появляются принципиально новые телекоммуникационные технологии массового обслуживания населения (в частности, спутниковое радиовещание).

- Активно внедряются беспроводные технические решения на всех уровнях систем передачи данных, включая клиентские.

- Происходит интеграция телекоммуникационных систем и иных систем массового обслуживания (так, услуги спутникового позиционирования и навигации предоставляются с использованием функционала сотовых сетей).

Все это определяет необходимость возобновления в России работ по исследованию воздействия ЭМП на биосистемы и человека с целью развития комплекса регламентаций и корректировки предельно допустимых уровней, которые учитывали бы тенденции развития телекоммуникационных систем.

**Прогнозирование ЭМП.** Сейчас уже никто не сомневается, что электромагнитный мониторинг окружающей среды должен сопровождаться электродинамическим моделированием излучающих систем. Причем моделирование необходимо практически во всех диапазонах частот, включая промышленные частоты, по всем составляющим поля, на произвольных расстояниях от излучателей, для всего многообразия излучающих систем, под которыми понимаются как антенные системы, так и любые устройства, создающие ЭМП. Результаты научно-исследовательских работ в этом направлении позволили в значительной степени дополнить теорию и практику излучающих систем [14–15].

При этом, в конечном счете, требуется пространственное распределение характеристик поля от множества источников в конкретных географических координатах, что целесообразно делать с применением геоинформационных систем и современных методов визуализации полей.

Как отмечалось в [1], уже в те времена была «создана и передана в эксплуатацию система автоматизированного прогнозирования электромагнитной обстановки (САПР ЭО), с помощью которой ЭО можно анализировать для

одиночных антенн по всем составляющим излучения и для комплексов антенн с оценкой вклада каждой антенны, проводить санитарную электромагнитную экспертизу и решать задачи ЭМС для реальных комплексов технических средств различного состава». Непременным условием создания программных продуктов для санитарно-гигиенической экспертизы излучающих объектов является их соответствие действующей нормативно-методической документации.

Впоследствии САПР ЭО была положена в основу программного комплекса анализа электромагнитной обстановки (ПК АЭМО) — все электродинамические модели САПР ЭО вошли как составная часть в ПК АЭМО. В последующие годы программный комплекс развивался и дополнялся в сторону расширения возможностей расчета электромагнитной обстановки вблизи антенн УВЧ-, ОВЧ- и СВЧ-диапазонов и совершенствования интерфейса [16–17].

Отметим, что перечисленные тенденции и факторы развития излучающих телекоммуникационных систем предопределили существенные изменения в электромагнитной обстановке, которые сопровождаются как количественными, так и качественными особенностями:

- Наблюдается общее увеличение электромагнитного фона за счет наращивания количества излучающих технических средств, несмотря на некоторое снижение парциальных мощностей.

- Имеет место распространенная практика концентрации излучающих технических средств на ограниченных территориях с повышенным уровнем урбанизации, а также на высотных сооружениях и специализированных башнях.

- Некоторые технологии сопровождаются излучением ЭМП с качественно отличными пространственно-временными характеристиками (поляризация, спектр, несущие частоты).

- На общую электромагнитную обстановку, создаваемую техническими средствами телекоммуникаций, накладывается фон, обусловленный функционированием устройств клиентского уровня сетей.

Электромагнитная обстановка в значительной степени стала зависеть от тактики работы технических средств, определяемой нагрузкой сети.

Существующая система электромагнитного мониторинга в виде нормативно-методической документации ориентирована в основном на анализ разрозненных технических средств, работающих в режимах максимальной нагрузки без учета функционирования других объектов, и геоинформационные технологии в ней отсутствуют.

В связи с перечисленными обстоятельствами следует признать, что существующая система электромагнитной безопасности телекоммуникационных излучающих технических средств и объектов отстает по уровню развития от современных радиотехнологий, затрудняет их дальнейший прогресс и требует существенной переработки.

**Инструментальный контроль уровней ЭМП.** Несмотря на большой объем информации, расчетные методы часто не могут заменить инструментальный контроль, который является единственным средством, позволяющим в условиях статистически неоднородной среды оценить биологическую опасность ЭМП, и причина тому — невозможность учета в моделях излучения всего многообразия влияющих факторов. Различают два отличающихся своими целями вида инструментального контроля: это инструментальный контроль расчетного прогноза и профилактический санитарный инструментальный контроль [3].

*Инструментальный контроль расчетного прогноза ЭМП* имеет своей целью оценить достоверность расчетного прогноза, при необходимости его скорректировать, выявить и обосновать неучтенные факторы в условиях реального размещения объекта. Правильная постановка задачи и ее решение позволяют значительно сократить объем трудоемких экспериментальных работ.

Методики инструментального контроля расчетного прогноза, разрабатываемые в соответствии с методиками расчетного прогнозирования, не только включают в себя перечень и эксплуатационные требования к измерительной аппаратуре, но и учитывают особенности и предпосылки, заложенные в основу расчета. В качестве иллюстрации здесь уместно назвать инструментальный контроль ЭМП базовых станций сотовой связи, при котором весьма сложно контролировать излучаемую мощность из-за изменчивости трафика и скрытности действий оператора. Или другой пример — инструментальный контроль магнитных полей, зависящих от токовых нагрузок элементов, их создающих.

*Профилактический инструментальный контроль санитарно-гигиеническими службами* предполагает проверку уровней поля в любых точках, в том числе в зонах, не поддающихся расчетному прогнозированию. Отдельную сложную проблему представляет инструментальный контроль ЭМП вблизи переизлучающих конструкций и в замкнутых объемах, к которым следует отнести и помещения.

Игнорирование очевидного существования двух видов инструментального контроля приводит, как правило, к недооценке и отрицанию расчетных методов электромагнитного мониторинга, с одной стороны, а с другой — к гиперболизации инструментального контроля окружающей среды, неправильной трактовке результатов измерений и, как следствие, к ошибочному заключению о состоянии окружающей среды по электромагнитному фактору.

Быстрые темпы развития элементной базы радиотехники и применение новейших технологий за последние десятилетия позволили резко поднять уровень современной измерительной аппаратуры. В настоящее время на рынке измерительной аппаратуры присутствует множество образцов зарубежной техники, удовлетворяющей практически любым требованиям к контролю ЭМП в широких частотных и динамических диапазонах. Обычно они представлены в виде удобных по компоновке и пригодных к любым климатическим условиям панорамных анализаторов спектра.

**Защита от ЭМП.** Продолжительный и богатый опыт авторов в проведении электромагнитной экспертизы излучающих объектов свидетельствует, что наиболее действенным способом защиты населения от ЭМП антропогенного происхождения является создание правильно построенной системы электромагнитной безопасности страны и использование научно обоснованных принципов и методов управления электромагнитной безопасностью.

Управление системой электромагнитной безопасности России — весьма сложный процесс, он требует решения множества различных проблем, согласования подходов и проведения объемных научно-исследовательских работ, осуществляемых коллективами ученых и специалистов различных министерств и ведомств. Из этого следует необходимость при решении проблем электромагнитной безопасности придерживаться *принципа системности*.

Непрерывный технический прогресс и соответственно прогресс в области телекоммуникаций, радиотехнологий и энергетики сопровождается неослабным вниманием к состоянию электромагнитной обстановки со стороны как на-

селения и производственного персонала, так и контролируемых организаций, что определяет еще один из основных принципов — непрерывность при управлении электромагнитной безопасностью и мониторингом.

Процессы электромагнитного мониторинга и безопасности должны быть юридически и организационно всесторонне обеспеченными, поскольку в них вовлекается больше участников, и осуществляются они в интересах всего общества. Из этого следует принцип легитимности мероприятий управления электромагнитной безопасностью, сопровождающийся подготовкой и утверждением соответствующей регламентирующей и методической документации.

Движущей силой процесса электромагнитной безопасности и мониторинга являются требования к общей экологической безопасности населения (ст. 25 Конституции РФ), а также потребности рынка телекоммуникационных услуг и энергетических систем. При этом объективно возникающие межведомственные и социальные противоречия должны регулироваться органом, наделенным достаточными полномочиями. Из этого вытекает принцип обязательной государственной поддержки и контроля мероприятий по электромагнитной безопасности, а также важнейший принцип безопасности.

Данные об электромагнитной обстановке, как правило, представляют собой массивы значительного объема. При этом весьма существенным обстоятельством, отличающим такие данные от результатов, получаемых в иных формах экологического мониторинга, является «генетическая» привязанность к географическим координатам. Действительно, области опасных ЭМП, очевидно, оказываются локализованными вблизи мест расположения технических источников, а результирующая электромагнитная обстановка образует сложную пространственную картину, привязанную к рельефу местности.

Иными словами, неотъемлемой частью технологии электромагнитного мониторинга является частная технология визуализации и графической обработки геоэкологической информации. Применение геоинформационных технологий в экологическом контроле в последние годы стало стандартом. Вопросам, связанным с геоэкологическим картографированием, посвящены работы многих авторов. Общие подходы и способы представления векторных и матричных данных на электронных картах могут быть с успехом применены для реализации задач электромагнитного мониторинга.

Использование геоэкологического картографирования в электромагнитном мониторинге целесообразно еще и ввиду того обстоятельства, что практически во всех крупных регионах России в настоящее время созданы и развиваются комплексные геоинформационные системы, в том числе и экологической направленности. Присутствие в данных системах компонентов, содержащих информацию об экологической обстановке по электромагнитному фактору, очевидно, крайне желательно [5, 18].

Проблемы электромагнитной экологии и безопасности населения являются актуальными и весьма значимыми, их последовательное решение непременно сопутствует целям обеспечения благоприятных условий развития инфокоммуникационных технологий (ИКТ), гармонизации технического, экономического и социального аспектов ИКТ.

Учитывая специфику ИКТ, функционирующих как интегрированная инфраструктура, гармоничное решение задач электромагнитной экологии возможно лишь в комплексе, причем целеопределяющие, стратегические и методические функции должны быть сосредоточены там, где накоплен

опыт и имеется потенциал по соответствующим компетенциям. Предстоит серьезная многоплановая разработка новой концепции, методологических основ и структуры нормативно-методической базы Российской Федерации по вопросам электромагнитной безопасности как телекоммуникационных технических средств, так и энергетических систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Сподобаев Ю. М.** Проблемы электромагнитной экологии // Электросвязь.— 1992.— № 3.— С. 8–9.
2. **Сподобаев Ю. М., Шередько Е. Ю.** Плотность потока мощности поля технических средств телевизионного и УКВ ЧМ вещания // Труды НИИР.— 1983.— № 4.— С. 45–51.
3. **Сподобаев Ю. М., Кубанов В. П.** Основы электромагнитной экологии.— М.: Радио и связь, 2000.— 240 с.
4. **Бузов А. Л., Романов В. А., Сподобаев Ю. М.** и др. Экологическая безопасность отрасли «Связь». Федеральный справочник «Связь и информатизация в Российской Федерации».— М.: «Родина-Про», 2001.— С. 353–362.
5. **Маслов М. Ю., Сподобаев М. Ю., Сподобаев Ю. М.** Электромагнитный мониторинг мегаполиса // Труды НИИР.— 2013.— № 4.— С. 5–11.
6. **Кубанов В. П., Сподобаев М. Ю., Сподобаев Ю. М.** Электромагнитная безопасность. Антенны СВЧ диапазона.— Самара, ООО «Офорт», 2014.— 108 с.
7. **Довбыш В. Н., Маслов М. Ю., Сподобаев Ю. М.** Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем.— Самара: ИПК «Содружество», 2009.— 198 с.
8. **Довбыш В. Н., Сподобаев Ю. М., Маслов М. Ю.** Электромагнитный мониторинг энергетических систем // Академия энергетики.— 2006.— № 1.— С. 4.
9. **Жуков В. Т., Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н.** Компьютерное геоэкологическое картографирование.— Научный мир, 1999.— 128 с.
10. **Берлянт А. М., Тикунов В. С.** Геоинформационные системы: Сб. переводных статей.— М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 1994.— 180 с.
11. **Довбыш В. Н., Сивков В. С., Сподобаев Ю. М.** Визуализация электромагнитной обстановки, создаваемой телекоммуникационными техническими средствами, расположенными на больших территориях // Антенны.— 2006.— № 10 (113).— С. 58–62.
12. **Ильин А. М., Сподобаев М. Ю.** Разработка информационной системы социального электромагнитного мониторинга // Инфокоммуникационные технологии.— 2011.— Т. 9.— № 3.— С. 102–105.
13. **Моденов С. В., Сподобаев М. Ю.** Принципы оперативного мониторинга электромагнитной обстановки в сети подвижной связи // Инфокоммуникационные технологии.— 2010.— Т. 8.— № 2.— С. 78–81.
14. **Маслов М. Ю., Сподобаев М. Ю., Сподобаев Ю. М.** Задачи электромагнитной экологии в теории и практике излучающих систем // Электросвязь.— 2011.— № 12.— С. 28–35.
15. **Маслов М. Ю.** Численный анализ электромагнитной обстановки в офисном помещении // Вестник СНИИР.— 2004.— № 1.
16. **Романов В. А., Сподобаев М. Ю., Сподобаев Ю. М.** Концепция создания автоматизированных систем для анализа электромагнитных полей в окружающей среде // Труды НИИР.— 2000.— С. 69–72.
17. **Сподобаев М. Ю.** Проблемы и перспективы разработки программных комплексов анализа электромагнитной обстановки // Вестник СНИИР.— 2006.— № 1 (11).— С. 4–8.
18. **Григорьев О. А., Маслов М. Ю., Сподобаев М. Ю., Сподобаев Ю. М.** Специфика и современное состояние электромагнитного мониторинга Москвы и Московской области // Электросвязь.— 2014.— № 2.— С. 30–36.