

УДК 620.9+577.4.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ. ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

КАСИМЗАДЕ М.С., САЛАХОВ В.М.

АзНИИ Энергетики и Энергетического Проектирования

В современных условиях широчайших масштабов электрификации и электронизации всех областей жизни и деятельности общества, проникновения электрической энергии, теле-, радио, компьютерных сетей и систем, сотовой связи и многих других подобных систем в сферу производства, технологические процессы, повседневный быт, проблемы электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности, как в технической, так и, особенно, в биологической (экологической) сферах, приобрели особую остроту.

Отрицательное влияние друг на друга таких систем через электромагнитные поля (ЭМП) ставит под угрозу нормальное функционирование не только технических, но и биологических объектов, окружающую среду, здоровье человека.

В настоящей статье основное внимание уделяется биологическому аспекту, проблеме защите электромагнитной безопасности человека.

Статья состоит из двух частей:

В части I рассматриваются некоторые общенаучные вопросы электромагнитной безопасности, особенность электромагнитных полей промышленной частоты (ЭМП ПЧ) в электроэнергосистемах (ЭЭС), метод определения их характеристик, механизм биологического действия и нормирования ЭМП.

Во II части приводятся сведения о методах защиты человека от действия ЭМП, разработанных в АзНИИЭ и ЭП в содружестве с Институтом Физики НАН Азербайджана, средствах измерения и дозиметров ЭМП ПЧ, проведенных натурных исследованиях ЭМП ПЧ на объектах высокого напряжения ЭЭС "Азербээнержи", мерах защиты персонала.

Часть I

Источники, характеристики ЭМП.

Электромагнитные – электрические и магнитные поля, представляют собой форму проявления электрических зарядов, токов.

С позиции биологического действия следует различить естественные и техногенные ЭМП. Естественные ЭМП обусловлены межпланетными процессами, гелио-геофизическими факторами – явлениями, происходящими на солнце, в биосфере, недрах земли [1].

Крупнейшими источниками техногенных ЭМП являются электроэнергетические системы (ЭЭС), в особенности ее объекты высокого и сверхвысокого напряжений [2,3], мощные электротехнические установки предприятий, транспорт на электротяге, радиотелевизионные средства связи и информации, компьютерные сети и системы, в том числе, широко используемые в ЭЭС, радиолокационные, навигационные средства, лазерные установки и др.

Немаловажную роль в создании ЭМП играют и установки низкого напряжения – коммунальные электрические сети, все виды бытовых электротехнических, приборов [4].

В реальных условиях, в пространстве вокруг электрооборудования возникает и действует на окружающую среду единое электромагнитное поле (ЭМП).

Однако, в зависимости от конкретных условий, преимущественно проявляется электрическая (ЭП) или магнитная (МП) составляющие этого поля, или же приходится учитывать обе составляющие одновременно. В ближней (индукционной) зоне, когда расстояние L от источника до объекта $L < 1/6 \lambda$ (λ – длина волны), действует преимущественно электрическое и магнитное поля. В дальней (волновой) зоне, начиная с расстояний $L \geq 6 \lambda$, следует рассматривать единое сформировавшееся электромагнитное поле. При прочих равных условиях интенсивность ЭП определяется уровнем напряжения, а интенсивность магнитного поля – силой протекающих токов. Поскольку эти токи, в зависимости от времени года и суток, претерпевают резкие изменения, а изменение напряжения на электроустановках относительно невелико, интенсивность магнитной составляющей ЭМП носит резко изменяющийся характер.

ЭМП, излучаемые высоковольтными установками ЭЭС, обладают рядом специфических особенностей, в частности, им присущи довольно сложные пространственные распределения, зависящие от геометрической конфигурации элементов электроустановок, их взаимного расположения, наличия вблизи заземленных предметов, защитных экранов, и т.д.; кроме того, модули векторов напряженностей магнитного и электрического полей в многофазных системах вращаются по эллиптической траектории, взаимное отношение полуосей которой меняется в зависимости от указанных выше факторов. При оценке биологического действия за нормируемый параметр принимаются наибольшие значения векторов напряженностей ЭП и МП в исследуемой точке пространства.

В задачах электромагнитной безопасности для оценки картины распределения электрических и магнитных полей на объектах электроэнергетики – ЛЭП, подстанций, распределительных устройств, в зонах расположения отдельно-установленного высоковольтного оборудования применяются как расчетные, так и экспериментальные методы. Наиболее удобными для практики расчетов электрических полей является метод эквивалентных зарядов (МЭЗ), а расчет магнитных полей базируется на уравнениях Био-Савара-Лапласа [5,6,11].

Расчетные методы используются, в основном, на этапе проектирования, реконструкции электроустановок. К тому же, они не могут учитывать все многообразие влияющих на точность факторов.

На эксплуатируемых действующих объектах наиболее точные результаты обеспечивают натурные – инструментальные исследования, при этом полнее учитываются реально существующие условия – взаимное влияние элементов конструкций оборудования, влияние окружающей среды, характеристики земляного покрова и почвы, растительности, возможность изменения схем подключения высоковольтного оборудования, введение временных схем коммутации, всевозможных нестандартных эксплуатационных режимов, аварийных ситуаций и т.д. Суть экспериментальных методов заключается в измерении параметров электрических и магнитных полей непосредственно на объектах, в частности, на рабочих местах персонала, с помощью специализированных электро– магнитоизмерительных приборов по особой методике [7-9]. При этом должны соблюдаться правила техники безопасности для работающих на установках ВН, СВН.

Характер биологического действия ЭМП на человека.

В общем плане механизм биологического действия ЭМП может быть объяснен тем, что все живое в природе родилось, развивалось и существует при воздействии полей различного происхождения, в том числе электромагнитных полей, действующих в биосфере. За длительный период эволюции живой мир, организм человека адаптировались, приспособились к этим полям и их вариациям. Более того, живые

существа, растения обладают собственными биоэлектрическими полями; многие процессы жизнедеятельности осуществляется посредством электромагнитных сигналов.

Техногенные ЭМП по интенсивности и другим параметрам могут превзойти естественные многократно и, тем самым, налагаясь на естественные и биополя, нарушить нормальное протекание жизненных процессов, вызвать различные заболевания. На биологический эффект при облучении оказывают влияние все основные параметры поля – интенсивность, формы кривой, спектральный состав, частотный диапазон и др.

Живые системы являются открытыми; их функционирование происходит в условиях непрерывного обмена с окружающей средой веществом, энергией и информацией. С позиции электроэнергетики человеческий организм можно рассматривать, как биоэнергетическую систему, обладающую высочайшей степенью саморегуляции, саморазвития, самосохранения. И, естественно, всякие внешние и внутренние возмущения, в том числе электромагнитного происхождения, приводят к реакции со стороны соответствующих органов человека.

Поля звуковой, звуковой, радиочастотного диапазонов ($3 \cdot 10^4$ – $3 \cdot 10^{11}$ Гц) относятся к неионизирующим излучениям (НЭМП). Ультрафиолетовые, рентгеновские, гамма излучения, имеющие частотный диапазон 10^{16} – 10^{24} Гц, являются ионизирующими. Чем выше частота, тем излучение более энергонасыщено.

На высоких частотах биологическое действие носит, в основном, энергетический, а на относительно низких – энергоинформационный характер.

Частоты, близкие и равные биоритмам организма (для мозга 5-13 Гц), вызывают более существенную реакцию. Наиболее чувствительными, критичными к воздействию НЭМП оказываются важнейшие системы организма – нервная, иммунная, эндокринная, половая.

Основным энергетическим фактором, вызывающим биологические эффекты в организме человека при облучении ЭМП промышленной частоты, считаются токи (плотности тока), индуцированные в организме под действием внешних электрических и магнитных полей. Плотности тока $j \leq 0,1$ мкА/см² признаются безопасными для человека, поскольку токи, обычно протекающие в мозге, имеют тот же порядок [3]. При плотности $j = 1$ мкА/см², начинаются мелькания в глазах. В пределах плотности тока $j = 10$ -50 мкА/см² расположены пороговые значения стимуляции сенсорных рецепторов, а также нервных и мышечных клеток.

При плотностях тока $j > 100$ мкА/см², которые могут индуцироваться в магнитных полях частотой 50 Гц, свыше 500 мкТл, напряженностях электрического поля $E > 20$ кВ/м, возможны перебои в работе сердца и даже остановке сердечной деятельности, спазмы дыхательных путей, ожоги.

При воздействии ионизирующих излучений происходит ионизация атомов и молекул в клетках живой ткани, делающая их электропроводными и сопровождающаяся нарушением биохимических процессов на клеточном уровне, с катастрофическими для организма последствиями.

Для здоровья вредно излучение в любом диапазоне частот, даже малой интенсивности, если действие ее носит длительный характер, т.е. выше поглощенная организмом доза электромагнитной энергии. Облучение же неионизирующими ЭМП, в том числе промышленной частоты 50 Гц, также приводит не только к функциональным нарушениям, дестабилизации нормального протекания жизненных процессов в живой природе, организме человека, но и ко многим, иногда очень тяжелым онкологическим, нервно-психическим заболеваниям.

Так, в документах Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) 2001 года указывается:

"Предполагается что медицинские последствия, такие как, заболевание раком, изменения в поведении, потери памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, СПИД, синдром внезапной смерти внешне здорового ребенка и многие другие состояния, включая рост числа самоубийств, являются результатом воздействия электромагнитных полей".

В медицинском центре Веллингтона (Новая Зеландия) было обнаружено, что в одной группе пациентов - мужчин, страдающих от рака крови, оказалось непропорционально много электромонтеров, радио и телевизионных техников.

Исследования ученых США показали, что рак мозга в 13 раз чаще случается у электриков, чем у людей других профессий.

Исследования в США и Швеции установили факт возникновения опухолей у детей при облучении их магнитными полями 60 Гц всего 2-3 мГ (при норме 1000 мГ – 0,1 мТл) в течение нескольких дней, даже часов.

Такие поля излучаются телевизорами, дисплеями ПЭВМ.

ЭМП при совместном действии с другими неблагоприятными физическими факторами, усиливает их разрушающие влияния.

В литературе указывается, что заболевания раком легких у курящих людей при воздействии ЭМП увеличиваются в 20 раз. Выявлено опасное для Ихтиофауны (рыб) водоемов влияние ЭМП высоковольтных подводных кабелей.

Замеры напряженности магнитного поля от бытовых электроприборов показали, что их кратковременное действие может оказаться даже более сильным, чем длительное пребывание человека рядом с ЛЭП высокого напряжения [4].

Исследования ученых института земного магнетизма РАН среди 230000 работников электрифицированных железных дорог Санкт-Петербурга показали, что машинисты электропоездов, рабочие места которых находятся рядом с электродвигателями, болеют гипертонией, ишемической болезнью сердца в 2 раза чаще, чем их коллеги, рабочие места которых находятся на электричках с иным расположением электродвигателей.

Специально поставленные эпидемиологические исследования среди 223000 работников на гидроэлектросистеме в Онтарио (Канада) в общей сложности в продолжении 10000 человеко - дней показали 3,15 - кратное увеличение вероятности заболеваний острой лейкемией (рак крови) и 12 - кратное увеличение заболеваний раком мозга среди 10% наиболее подверженных облучению части людей [2].

Крупные эпидемиологические исследования, проведенные в Швеции, подтвердили факт развития опухолей у людей, проживающих вблизи ЛЭП.

Так, наблюдения над 500000 жителями, проживающими в продолжение различного времени на расстоянии 800 м от ЛЭП 200 кВ и 400 кВ, показали существование прямой взаимосвязи развития рака, в особенности детской лейкемии, и воздействия ЭМП ЛЭП.

При этом нахождение в зоне сильного электромагнитного излучения увеличивает риск заболеть раком крови почти в 4 раза.

Все эти и множество других результатов исследований подтверждают реальную опасность для здоровья населения, в особенности работников электроэнергетической сферы, неионизирующих электромагнитных излучений промышленной частоты.

Между тем, механизмы первичного биологического действия ЭМП на человека в широком интервале интенсивности и частот оставались не полностью вскрытыми.

Такие явления, как реакция организма на ЭМП, по интенсивности на несколько порядков меньших, чем интенсивность естественного поля в биосфере, т.е. когда квант энергии поля λV – меньше кинетической энергии молекул при обычной температуре тела kT – ($\lambda V < kT$. k – постоянная Больцмана), наличие "частотных окон" при действии ЭМП на человека, возможность полезного использования ЭМП в лечебных целях и многие другие, не находили должного объяснения. Только в последнее время,

благодаря исследованиям ученых - физиков, базирующихся на современной передовой теории элементарных частиц, тонких физических полей, теорий "Физического вакуума", "Торсионных полей" академиков Акимова А.Е. и Щипова Г.И., "Микролептонной теории поля" Охартина А.Ф. [10], удалось раскрыть первичный механизм действия колебательных, волновых процессов, в том числе, электромагнитных полей, на структуру человека, роли биоритмов, процессов саморегуляции и развития в живой природе и др.

Важнейшим для практики электромагнитной безопасности результатом является обоснование не только энергетического, но и информационного характера действия внешних полей на человека, частотной и амплитудной модуляции биоритмов с действующим на организм ЭМП. А это потребует пересмотра ныне существующих положений по электромагнитной безопасности, построенных на концепции только энергетического механизма биологического действия ЭМП.

Нормирование ЭМП.

Нормирование ЭМП преследует цель обеспечить безопасную и безвредную для здоровья пребывание человека в электромагнитном поле. Гигиеническое нормирование электромагнитного загрязнения среды базируется на общих принципах: проведения многоплановых исследований, опытов на животных, наблюдений за людьми в соответствующих реальных или моделированных ситуациях.

Различают длительно-допустимые, предельно допустимые, кратковременно допустимые, безопасные уровни, допустимые уровни для производственных условий, и для населения.

В настоящее время во многих странах мира разработаны национальные нормы, стандарты безопасных уровней для различных условий.

Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) совместно с международной ассоциацией радиационной защиты (МАРЗ) разработаны следующие рекомендуемые уровни электрических и магнитных полей частотой (50-60) Гц [5].

Периодическое электрическое поле напряженностью E:

Для населения: продолжительное пребывание - при $E \leq 5$ кВ/м;
пребывание не более 2 часов в день - при $E \leq 10$ кВ/м.

Для производственных условий:

продолжительное пребывание (рабочий день)- при $E \leq 10$ кВ/м
пребывание не более 2 часов при - $E \leq 30$ кВ/м.

Периодическое магнитное поле индукцией B (напряженностью H):

Для населения: продолжительное пребывание - при $B \leq 0,1$ мТл (1000 мГаусс),
 $H \leq 80$ А/м,
пребывание не более 2 часов в день - при $B \leq 1$ мТл (10 Гаусс), $H \leq 800$ А/м.

Для производственных условий:

продолжительное пребывание (рабочий день) - при $B \leq 0,5$ мТл (5 Гаусс), $H \leq 400$
А/м,
пребывание не более 2 часов за рабочий день - при $B \leq 5$ мТл (50 Гаусс), $H \leq 4000$
А/м.

Стандарты Азербайджанской Республики пока что базируются на нормах бывшего СССР. По электрическому полю они более жесткие, а по магнитному – несколько облегченные. Поэтому мы руководствуемся нормами по магнитному полю – стандартами ВОЗ, а по электрическому полю – стандартами Азербайджанской Республики, а именно:

Электрическое поле для населения:

Населенные районы $E \leq 5$ кВ/м,
район жилой застройки $E \leq 1$ кВ/м,
жилые дома $E \leq 0,5$ кВ/м.

Электрическое поле для производственных условий:

продолжительное пребывание - при $E \leq 5$ кВ/м,
пребывание не более 3 часов - при $E \leq 10$ кВ/м,
не более 1,5 часа - при $E \leq 10-15$ кВ/м,
не более 10 минут - при $E \leq 15-20$ кВ/м,
Пребывание - при $E > 25$ кВ/м без защитных приспособлений не допускается.

В новых санитарных правилах и нормативах, введенных в Российской Федерации с 1 мая 2003 года [7], по магнитному полю частотой $f=50$ Гц также приняты даже более жесткие нормы, чем нормы ВОЗ-МАРЗ, а именно:

Для профессионалов: длительно – допустимые значение при общем действии $H \leq 80$ А/м ($B \leq 0,1$ мТл);

Пребывание менее 1 часа – при $H \leq 1600$ А/м ($B \leq 2$ мТл),
не более 2 часов – при $H \leq 800$ А/м ($B \leq 1$ мТл),
не более 4 часов – при $H \leq 400$ А/м ($B \leq 0,5$ мТл).

А по электрическому полю оставлены нормы бывшего СССР.

Как уже указывалось выше, последние научные и экспериментальные исследования привели к появлению новых нормативных показателей, в особенности по магнитной составляющей ЭМП для населения.

Так, в информационном письме ВОЗ №263 от октября месяца 2001 года "Electromagnetic fields and public health extremely low frequency fields and cancer", отмечается: "По накопленным на сегодняшний день научным данным интенсивность МП ПЧ со значениями магнитной индукции, превышающими 0,3-04 мкТл в условиях хронического воздействия, возможно является канцерогенным фактором окружающей среды".

Национальными организациями ряда стран (Швеция, США и др.) рекомендован безопасный уровень индукции МП ПЧ, равный $B=0,2$ мкТл, как пороговый, при установлении корреляции между B и лейкемией при продолжительном пребывании.

В Российской Федерации для жилых помещений, согласно СанПин 2.12.1002-00, в 2001 году принято допустимое значение магнитной индукции $B \leq 10$ мкТл, что, по мнению специалистов, сильно преувеличено, научно не обосновано.

В близкой перспективе следует ожидать как пересмотра нормативных показателей в сторону ужесточения, так и их международной гармонизации.

-
1. Электромагнитные поля в биосфере. Том I. Издательство "Наука", Москва, 1984, 375 с
 2. Воздействие электромагнитных полей на человека. РЖ "Энергетика" 32, 6Б38, 1993, №6
 3. Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду. Переводы докладов международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-86). Москва. Энергоатомиздат, 1988. 104 с.
 4. *Сынзынос Б.И, Ильин А.В.* Биологическая опасность и нормирование электромагнитных излучений персональных компьютеров. Росполиграф, Москва, 1997. 62 с.

5. *Колечицкий В.С.* Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. М. Энергоатомиздат, 1983.
6. *Zahidi A, Tao R.J.* – modeling of electromagnetic fields around high voltage transmission liens. 12th international power system conference (PSC-97). Tehran, 1997. p.217-221.
7. Санитарные правила и нормативы – СанПин 2.2.4. 1191-03, Москва. 2003
8. *Касимзаде М.С., Айдаев Ф.Ш., Мамедов И.М.* Исследование неионизирующих электромагнитных полей в электроэнергетической системе Азербайджанской Республики. Меры защиты. Материалы III международной конференции “Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования”. Москва – Санкт-Петербург. 2002. 151-152 с.
9. Инструкция о правилах проведения аттестации рабочих мест по условиям труда. Утверждена приказом № 6-2 Министерства труда и социальной защиты населения Азербайджанской Республики 18 август 1993 года.
10. *Шупов Г.И.* Теория физического вакуума. Теория, эксперименты и технология. М. "Наука". 1997.
11. Magnetic fields from electric power lines. Theory and comparison to measurements. A report of the IEEE magnetic fields task force of the ac fields working group. IEEE transaction on power delivery. Vol. 3, N 4, 1988. p. 2127-2136

**ELEKTROENERGETİKA VƏ EKOLOGİYA.
İNSANLARIN ELEKTROMAQNİT TƏHLÜKƏSİZLİYİ MƏSƏLƏLƏRİ**

QASIMZADƏ M.S., SALAHOV V.M.

Məqalə iki hissədən ibarətdir. Hal-hazırkı I-ci hissədə elektromaqnit təhlükəsizliyin bir sıra ümum-elmi məsələlərə: elektrik enerji sistemlərdə elektromaqnit sahələrin (EMS) xüsusiyyətləri, onların parametrlərinin təyin edilmə metodları, bioloji təsir mexanizmi, EMS-lərin normallaşdırılması məsələlərinə baxılıb.

**ELECTRIC POWER INDUSTRY AND ECOLOGY.
PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC SAFETY OF THE HUMAN**

KASIMZADE M.S., SALAKHOV V.M.

The article consists of two parts. Some general scientific problems of electromagnetic safety have been considered in the first part: peculiarities of electromagnetic fields (EMF) in electrical power engineering, methods for defining of their parameters, the mechanism of biological action, normalization EMF.