

**М.Е.Ильченко, Т.Н.Нарытник**  
Институт телекоммуникационных систем Национального  
технического университета «КПИ», Украина

## **МИКРОВОЛНОВЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

«Если бы я вновь поднялся на нобелевскую трибуну, то говорил бы о том, что самая важная проблема, которая стоит перед человечеством, - это экология... Надо создавать новые технологии, чистое производство на экологических принципах».

Лауреат Нобелевской премии  
А.Прохоров

Целенаправленное использование электромагнитной энергии в самих разнообразных областях человеческой деятельности привело к тому, что ряд естественных физических явлений – атмосферное электричество, радиоизлучение Солнца и Галактики – пополнило электромагнитное поле искусственного происхождения.

В результате длительной эволюции природа наделила организмы наиболее целесообразными адаптационными реакциями и в том числе удивительной способностью улавливать энергетически очень слабые воздействия внешних факторов и корректировать по ним функционирование органов. Именно это позволяет людям жить в различных климатических условиях: переносить аномалии солнечной активности, магнитного поля Земли и т.п.

Глобальные изменения природных условий происходит настолько медленно, что организмы в масштабах всей популяции могут приспособиваться через генетические признаки, передаваемые по наследству. Изменения же, вызванные деятельностью человека, происходит столь стремительно, что избежать непредсказуемых последствий этого невозможно.

Инфокоммуникации – область современных и фантастических преобразований. А информационные и телекоммуникационные технологии, по видимому, уже в ближайшие десятилетия займут лидирующее положение, и, возможно, определяют лицо цивилизации XXI века. Между тем, эти достижения могут быть использованы не только во благо, но и во зло человеку, и зло такого масштаба, перед которым меркнут даже ужасы термоядерной войны.

В июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро состоялась Конференция ООН по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД), на которой было принято историческое решение об изменении курса развития всего мирового сообщества. Такое беспрецедентное решение глав правительств и лидеров 179 стран, собравшихся на ЮНСЕД, было обусловлено стремительно ухудшающейся глобальной экологической ситуацией и прогнозируемой на основе анализа ее динамики глобальной катастрофой, которая может разразиться уже в XXI в. и привести к гибели всего живого на планете.

Особенно быстро развиваются современные телекоммуникационные системы [1, 2], использующие микроволновые, инфракрасные и оптические излучения (рис.1).

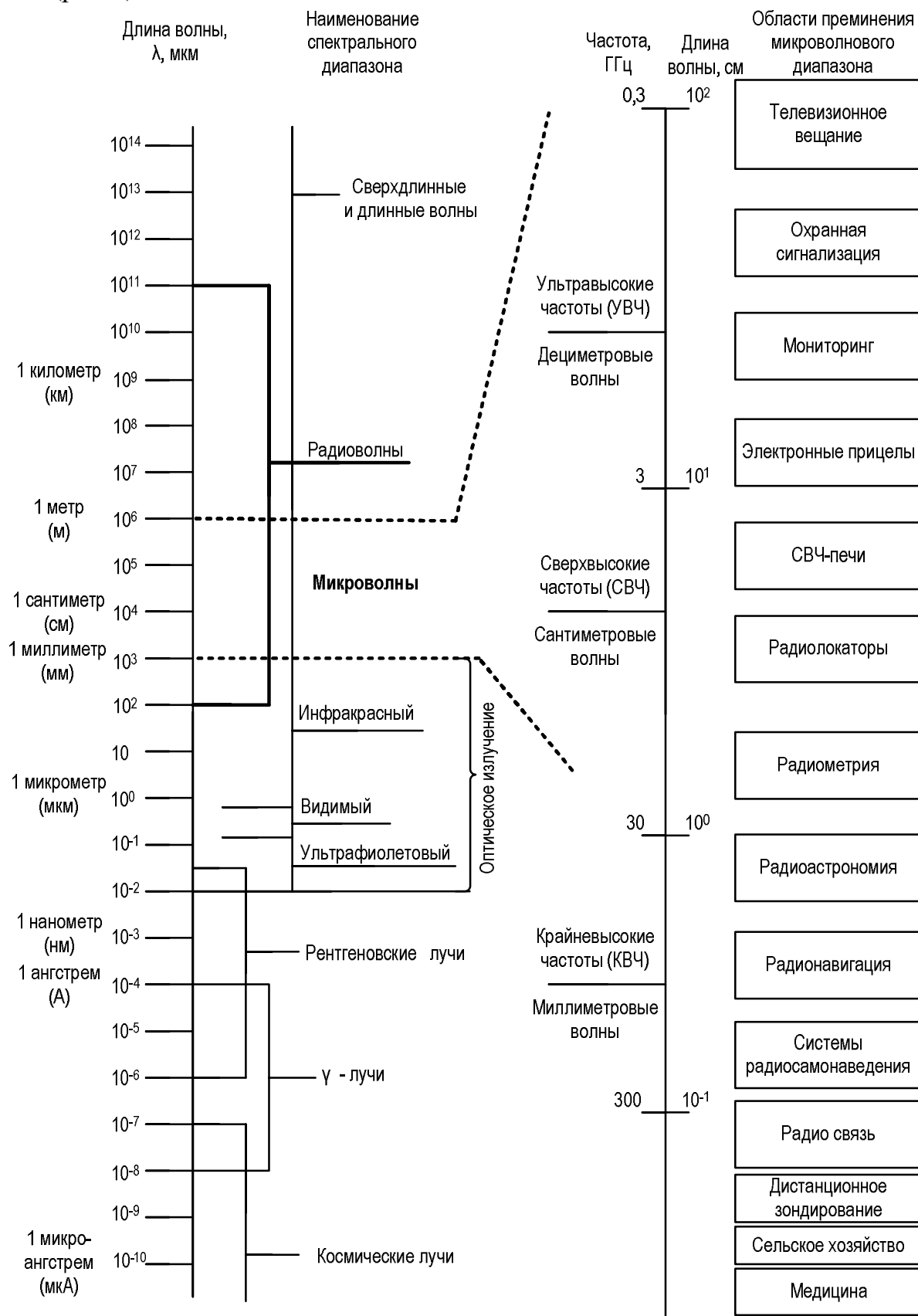


Рисунок 1. – Электромагнитный спектр и области его использования в микроволновой технике

Если в 1895 году А.С.Попов регистрировал своим грозоотметчиком кратковременные электрические разряды, то сегодня Земной шар буквально покрыт плотной оболочкой из всевозможных электромагнитных излучений, созданных руками человека. Можно говорить обо все возрастающем невидимом для глаза «загрязнении» окружающей среды, постоянном пополнении окружающего нас пространства мощными и слабыми электромагнитными излучениями на всех возможных частотах с различными видами модуляции.

В связи с этим крайне актуальной во всем мире является биологическая безопасность [biosafety]. Биологическая безопасность определяется влиянием электромагнитного излучения на организм человека, которое обычно оценивается с помощью санитарных норм, устанавливающих допустимый предел излучения. Такой предел обычно в 50 – 100 раз ниже порога, при котором в организме могут происходить необратимые изменения.

В мировой практике существует два вида норм, устанавливающих предел безопасности:

- плотность потока мощности ( $\text{мВт}/\text{см}^2$ )

или

-

уде

льный коэффициент поглощения SAR [*Specific Absorption Rates*] ( $\text{мВт}/\text{г}$ ).

Разница между ними состоит в том, что в первом случае учитывается мощность, поглощаемая в единице объема, а во втором – в единице массы за определенное время.

Для Украины установлена норма плотности потока мощности  $0,0025\text{мВт}/\text{см}^2$ , без ограничения времени, а для России –  $0,01\text{мВт}/\text{см}^2$ , усредненная за 20 часов. Значение SAR для США принято  $1,6\text{мВт}/\text{г}$  для интервала усреднения, равного 30 мин, а в Западной Европе норма биологической безопасности установлена равной  $2\text{мВт}/\text{г}$  за 6 минут при усреднении по любым 10 граммам ткани. В Украине и России значения SAR не установлены.

Источники излучения в крупных городах устанавливаются на крышах зданий в непосредственной близости от людей. Передатчики сотовых телефонов люди прислоняют прямо к уху, а в недалеком будущем на улицах и автострадах появятся тысячи автомобилей, оснащенных радаром против столкновений. Все живое на Земле за миллионы лет адаптировалось к естественным электромагнитным полям космического происхождения и их вариациям, в то время как антропогенные источники излучения стали значимыми факторами за последние 60 лет. Поэтому все возрастающее «электромагнитное загрязнение» окружающей среды не может не оказать глобального влияния на биосферу, а значит, и на здоровье людей.

О воздействии электромагнитных полей на живые организмы известно давно. Например, в книге Пресмана [3], вышедшей в 1968 году, уже содержится обзор более чем 800 работ, посвященных биологическому действию электромагнитных полей. Тем более это актуально на современном этапе в условиях стремительного развития в мире телекоммуникационной радиоиндустрии. Сложившуюся обстановку иллюстрирует рис.2, где приведены

интенсивности естественных и искусственных источников ЭМИ и показаны допустимые уровни облучения (ПДУ) в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими нормами. В диапазоне до 300 МГц по вертикальной оси отложена напряженность электрической составляющей поля в В/м, а для частот более 300 МГц - плотность потока мощности (ППМ) в Вт/м<sup>2</sup>. В верхней части рисунка находится область интенсивностей (Зона А), в которой по данным литературы [4] наблюдается летальный исход мелких животных (мыши, крысы, собаки, морские свинки, кролики). Помимо интенсивности ЭМИ значение имеет длительность облучения и локализация воздействия. Гибель животных наступает, когда температура тела, повышается до уровня выше критического, т.е. до 41-42<sup>0</sup>С. Ниже находится затемненная зона (Зона В), в которой наблюдается нагрев тела живых организмов без угрозы для их жизни. Нижняя граница этой зоны соответствует уровням мощности, для которых температура биологических объектов повышается примерно на 0,1<sup>0</sup>С.

Санитарные нормы – предельно допустимые уровни потока мощности (ПДУ), в разных странах различны. На рис.2 горизонтальными линиями показаны ПДУ в Швеции и принятые в настоящее время в Украине. Эти два значения ПДУ отличаются в 1000 раз. Возникает вопрос, почему же такая большая разница? Дело в том, что в некоторых странах, в том числе и в Швеции, при установке ПДУ в качестве основного критерия принят тепловой эффект, т.е. минимально допустимый нагрев живого организма. Другие нетепловые эффекты воздействия ЭМИ при этом не учитывались. В бывшем СССР, а теперь и в Украине ПДУ устанавливалось исходя из реакции животных на их облучение. Оказалось, что при существенно более низких уровнях облучения, чем те, которые способны вызвать нагрев тела, животные начинали реагировать на ЭМИ. Таким образом, определены уровни облучения, ниже которых реакции животных не наблюдалось. Этот граничный допустимый уровень практически совпадает с украинскими нормами. Между зоной теплового действия и граничным допустимым уровнем находится широкая область, в которой нет теплового нагрева и, тем не менее, живые организмы ощущают воздействие ЭМИ. Это факт, доказан многочисленными исследованиями.

По данным [4], средний уровень ЭМИ в нескольких городах США, создаваемый передающими телевизионными станциями, достигает  $10^{-4} \text{ Вт/м}^2$  для 50% населения, а 2% населения проживает при уровне более  $10^{-2} \text{ Вт/м}^2$ , превышающем допустимый уровень, принятый в Украине. Соответствующая область на рис.1 показана узким вытянутым вверх прямоугольником. Естественно, что средние показатели не исключают превышения интенсивности ЭМИ в отдельных конкретных районах местности. Кроме того, приведенные выше данные не берут в расчет других источников ЭМИ кроме передающих телевизионных станций, например, огромного количества базовых станций мобильной связи.

Например, на сегодня в Киеве насчитывается около 20 телевизионных и 25 радиовещательных радиопередатчиков, суммарная излучаемая в пространство мощность которых достигает 100 кВт. Количество базовых станций в Киеве вышло до 5000 единиц, что при уровнях излучения на 1 станцию от 20 Вт до 60

Вт (в среднем 40 Вт) дает электромагнитную нагрузку на окружающее пространство до 200 кВт. Причем, базовым станциям приходится наращивать емкость канала передачи потока данных (емкость ячейки) в соответствии с возрастающими потребностями абонентов. Это ведет к более сложным способам модуляции сигнала, например, к таким, которые используются в 3G и 4 G системах, что, в свою очередь, требует еще более высокой мощности излучения.

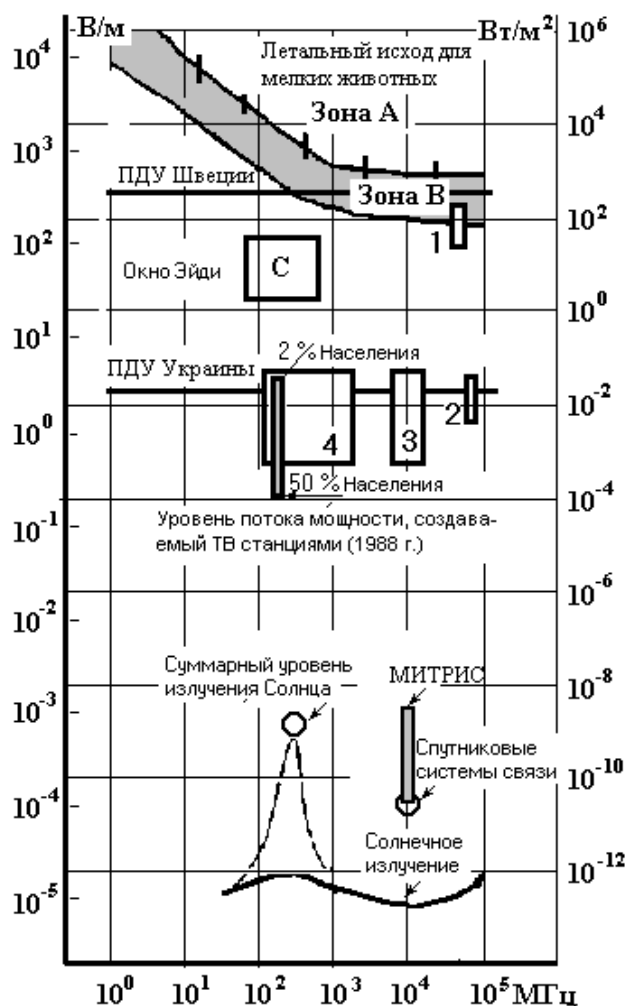


Рис.2. Интенсивности некоторых искусственных и естественных источников ЭМИ, и санитарные нормы допустимого потока мощности Швеции и Украины.

Из рис. 2 видно, что естественные источники намного слабее, чем техногенные, и, тем не менее, известно, что изменения естественных излучений воздействуют на людей. Сравнить со слабыми естественными источниками можно только излучение спутниковых систем связи и системы МИТРИС.

В настоящее время получили развитие исследования, направленные на использование ЭМИ низкой интенсивности в медицинских целях. Несомненный успех в этой области

подтвердил, что действие ЭМИ на человека может оказать существенное влияние на его здоровье. На рис.2 прямоугольниками 1, 2, 3 и 4 показаны области частот и интенсивностей, в которых используется ЭМИ в терапевтических целях. Время развития биологических эффектов – от нескольких минут до нескольких часов. Проведенный группой экспертов ООН [4] анализ подтвердил наличие в этом диапазоне влияния ЭМИ малой интенсивности на нервную систему человека, на наличие нейроэндокринных эффектов, а также на защитные реакции в организме человека во всем диапазоне частот.

Исследования показывают, что процесс воздействия ЭМИ на живой организм происходит с участием центральной нервной системы, однако, как и через какие рецепторы, это воздействие трансформируется в раздражители нервной системы пока неизвестно. Обращает на себя внимание гипотеза [5], о том, что биологически активные точки (точки акупунктуры) являются

рецепторами сенсорной системы ранее неизвестной модальности. Эта сенсорная система способна контролировать изменения внешней среды, которые, будучи необходимыми, для выживания индивидуума или вида, не несут, однако, информации, требующей немедленного осознания и принятия конкретного решения, и не контролируются нашим сознанием. К ним относятся гравитация, электрическое и магнитное поля Земли, метеорологические явления, ЭМИ и некоторые другие факторы. Информация от рецепторов поступает в центральную нервную систему и используется ею для запуска адаптивных механизмов, направленных на ослабление или полную компенсацию отрицательных изменений в функциональных системах организма.

Такого рода модель позволяет понять некоторые особенности воздействия внешних факторов на биологические объекты. Например, существуют так называемые «амплитудные окна» биологических эффектов (прямоугольник С на рис.2). В работе [ 6] показано, что эффект существует только в определённых пределах изменения интенсивности воздействующего фактора (окно Эйди), для меньших и для больших значений интенсивности эффект исчезал. Оказалось, что при значительном снижении дозы воздействия биологический эффект может повториться с новой силой. При этом малые интенсивности иногда могут производить больший эффект, чем большие интенсивности. Реакция на воздействие ЭМИ проявляется с задержкой во времени. Реакция организма зависит от наличия в организме патологии. Организм, находящийся в норме, в меньшей степени реагирует на воздействие ЭМИ.

Над проблемой электромагнитной экологии интенсивно работают во многих странах мира. Усилия специалистов координируются в рамках международных организаций – Международной ассоциации по радиационной защите (IRPA), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Международного комитета по защите от ионизирующих излучений (INIRC) и Европейского комитета по электромагнитной стандартизации (CENELEC).

В Верховной Раде Украины состоялся ряд парламентских слушаний об экологической ситуации в Украине и о выполнении экологического законодательства. Законов и подзаконных актов по этой проблеме принято великое множество. Все они важны и необходимы, однако далеко не все из них выполняются. И это неудивительно, улучшение качества окружающей среды – дорогостоящее дело.

Международные ограничения на излучение (IRPA) для пользователей мобильных систем на частотах 900 и 1800 МГц приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Международные ограничения на излучение

Частота, МГц	IRPA-ограничения, Вт/м <sup>2</sup>
900	4,5
1800	9,0

Они применимы к излучениям длительностью не более шести минут и относятся, в основном, к базовым радиостанциям. Однако, когда

радиопередатчик находится близко к человеку, например, при использовании сотового телефона, единица влияния микроволнового излучения на организм человека оценивается так называемой «специфической» нормой поглощения SAR приходящейся на 1 грамм биоткани. При поглощении единицы SAR в течение 20 мин ткани нагреваются на 1<sup>0</sup>С. Европейские организации рекомендуют для сотовых телефонов предельную норму SAR – 2 мВт/г. В связи с этим представляют интерес данные SAR и плотности потока мощности (ППЭ) по некоторым моделям сотовых телефонов (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная оценка безопасности радиотелефонов

Фирма, тип РЭС	Mot orola (Sta t Tac)	Son y (C MD-Z1)	Nok ia (81 10)	Eric son (GF 788)	Phil ips (Sp ark)
ППЭ, Вт/м <sup>2</sup>	0,48	0,22 -0,55	0,75	1,09	1,36
SAR, Вт/кг	0,33	0,41 -0,88	0,73	0,91	1,05 -1,06

Как видим, некоторые образцы телефонов находятся у «опасной черты».

Исследования вопросов воздействия радиосистем на человека, и в частности, связанные с последствиями облучения головного мозга при использовании сотовых телефонов в последнее время ведутся интенсивно.

В частности, Франция планирует, с учетом мировых тенденций, запретить использование сотовых телефонов в школах учениками, которые не достигли 14-летнего возраста и таким образом защитить молодое поколение от нежелательного влияния электромагнитного излучения. Соответствующий закон был внесен на рассмотрение парламента после 6-ти недельного анализа результатов международных исследований влияния электромагнитного излучения. Инициативная группа также предложила снизить мощность антенны сотовой связи и снять антенны базовых станций, расположенных вблизи жилых домов, школ, больниц.

Российский Национальный комитет по защите от неионизирующих излучений сформулировал свою точку зрения на возможное влияние электромагнитного поля мобильных телефонов на здоровье детей и подростков таким решением «Дети и мобильные телефоны: под угрозой здоровье будущих поколений» [[www.cnews.ru](http://www.cnews.ru)]. Свое решение Комитет базирует на результатах анализа проведенных исследований, на основе которых сделан вывод, что поглощение электромагнитной энергии в голове ребенка значительно выше, чем у взрослого (мозговая ткань у детей имеет большую проводность, меньший размер головы, кости черепа тоньше и т.п.).

Исследования показывают, что все основные характеристики ЭМИ очень быстро возрастают относительно уровня естественного фона – каким бы способом мы этот фон не определили, на каких бы расстояниях от

радиоэлектронных средств ни проводили исследования. Так, например, для Киевского радиотелевизионного передающего центра граница санитарно-запретной зоны находится на расстоянии 6 км от подножия телевышки, т.е. вплоть до Хрещатика [2]. Поэтому нужно всевозможными путями снижать до приемлемого предела уровни излучаемой мощности. И в первую очередь это касается внедряемой микроволновой техники. Из альтернативных технических решений следует выбирать те, которые в меньшей мере «загрязняют» окружающую среду электромагнитными полями и являются экологически безопасными.

По нашему мнению, некоторые технологии, используемые при создании современных телекоммуникационных систем в Украине, сильно устарели. На смену им должны прийти новые микроволновые телекоммуникационные системы, использующие ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии. Примером может служить система МИТРИС, разработанная учеными Украины. В ее пользу говорят многие факторы: излучаемая мощность для обеспечения зоны покрытия в пределах 60 км – не более 3 – 5 мВт на один телевизионный канал против десятков киловатт в существующих системах, а потребляемая мощность на один телевизионный канал – в пределах 1 Вт.

Кроме того, нам представляется необходимым, по крайней мере, в крупных городах со сложной электромагнитной обстановкой и сложным рельефом местности, где расчетно-аналитические методы не дают адекватного решения, разработать и внедрить систему защиты окружающей среды и человека от воздействия электромагнитных полей с обязательным проведением электромагнитного мониторинга [7, 8].

Только в случае получения положительных результатов можно было бы Национальной комиссии по вопросам регулирования связи в Украине обращаться в Кабинет Министров Украины с предложением поручить Министерству здравоохранения пересмотреть и внести изменения в Государственные нормы и правила защиты населения от влияния электромагнитных излучений, на чем настаивает руководство ассоциации WirelessUkraine.

Для реализации этой задачи, по информации Украинского государственного центра радиочастот, Украина располагает уникальным специализированным измерительным комплексом швейцарского производства DAS Y5 NEO, который предназначен именно для изучения степени влияния на здоровье человека электромагнитных полей от терминальных устройств радиосвязи путем измерения SAR. На сегодня подобным измерительным комплексом не располагает ни одна страна СНГ. Комплекс позволяет измерять SAR при излучениях любыми стандартами (GSM, CDMA, DVB-T, TETRA и т.п.) и обеспечивает измерение уровней напряженности электромагнитного поля в объеме с разрешающей способностью от кубических миллиметров до кубических сантиметров в диапазоне частот до 8 ГГц.

Таким образом, влияние ЭМИ на биологические объекты это сложный и не до конца изученный процесс, последствия которого невозможно предвидеть. Тем не менее, остановить процесс развития средств связи невозможно. Где же



выход? Природа дает нам примеры чрезвычайно рационального использования малых и сверх малых (по современным представлениям) уровней мощности для передачи больших объемов информации. Даже те умеренные уровни СВЧ облучением, с которыми мы имеем дело в повседневной жизни на много порядков превышает уровень мощности, при котором обмениваются информацией живые организмы [9-10]. Выход может быть только один. Необходимо переходить на принципиально новые технологии, которые бы с одной стороны позволили наращивать объемы передаваемой информации, а с другой осуществляли бы это на экологически безопасном уровне. Осознание обществом актуальности проблем окружающей среды требует разработки «зеленых» экологически чистых решений. Возросшие требования населения создают потребность в инновационных телекоммуникациях, которые должны служить делу обеспечения экологической безопасности, предоставлять людям необходимую информацию в реальном масштабе времени и оказывать помощь в пути. Среди подобных технологий находятся спутниковые системы связи, интенсивность ЭМИ, которых сравнима с излучениями естественных источников. Во многих случаях используются кабельные и оптоволоконные системы. Однако по экономическим и другим причинам сохраняются, и будут сохраняться телекоммуникационные системы, использующие радиоизлучение. Прежде всего, это телевидение, системы мобильной связи и другие. Среди таких систем наиболее перспективными являются микроволновые системы, экологические и ресурсосберегающие возможности которых наиболее полно воплощены в микроволновой телекоммуникационной системе МИТРИС, нашедшей применение в Украине и за рубежом.

### Перечень литературы

1. Згуровский М.З., Ильченко М.Е., Кравчук С.А. и др. Микроволновые устройства телекоммуникационных систем; в 2-х томах. – Том 2. Устройства передающего и приемного трактов. Проектирование устройств и реализация систем. – К.: ИВЦ Видавництво "Політехніка", 2003. – 616 с.
2. Нарытник Т.Н., Лазоренко В.Н., Кашин С.В. О новых государственных санитарных нормах и правилах защиты населения от воздействий электромагнитных излучений. – Радиоаматор.1997.-№6 (48).- с.14-15.
3. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968. – 288с.
4. Радиочастоты и микроволны. Гигиенические критерии состояния окружающей среды 16. – Женева: Совместное издание Программы ООН по окружающей среде, Всемирной организации здравоохранения и Международной ассоциации по радиационной защите, 1984. – 145 с.
5. Лиманский Ю.П. Гипотеза о точках акупунктуры как полимодальных рецепторах системы экоцептивной чувствительности // Физиологический журнал- 1990-т. 36, №4, -с. 115-121.
6. Эйди У.Р. Частотные и энергетические окна при воздействии слабых электромагнитных полей на живую ткань. – ТИИЭР, 1980, т.68, №1, с.140-147.
7. Кольчугин Ю.И. Система защиты окружающей среды о человека от воздействия электромагнитных лучей //Электросвязь.-1997.-№1.-с.15-16.

8. Мордачев В.И. Оценка экологической опасности электромагнитного фона, создаваемого средствами мобильной радиосвязи // Электросвязь.-2007.-№9.-с.37-41.

9. Нефедов Е.И. Современная биоинформатика.-М.: Горячая линия – Телеком, 2005.-272с.

10. M.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, A.I. Fisun, and O.I. Belous. Conception of Development of Millimeter and Submillimeter Wave Band.- RadioTelecommunication Systems.-Telecommunications and RadioEngineering, 67(17):1549-1564 (2008)1549 ISSN 0040-2508© 2008 Begell House, Inc.DISTRIBUTED INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS.