
ОБЗОРЫ И ЛЕКЦИИ

УДК 537.868:620.22:678

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ИЗЛУЧЕНИЙ*В. А. Банний¹, В. А. Игнатенко¹, А. С. Азаренок¹, Л. А. Евтухова²*¹Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

г. Гомель, Республика Беларусь

²Учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,

г. Гомель, Республика Беларусь

Целью обзора было изучение проблемы воздействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на биологические объекты. Проведен обзор современных материалов и способов защиты биологических объектов от СВЧ-излучения. Проанализированы свойства композиционных радиопоглощающих материалов, созданных на основе полимерного связующего и функциональных наполнителей. Изучены механизмы воздействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на биологические объекты.

Сделан вывод о том, что композиционные радиопоглощающие материалы и электромагнитные экраны являются эффективным средством решения проблем электромагнитной безопасности и электромагнитной экологии. Перспективными среди них являются композиционные материалы на основе термопластичного связующего.

Ключевые слова: электромагнитные излучения, биологические объекты, полимерные композиты, радиопоглощающие материалы, электромагнитные экраны.

THE MODERN MATERIALS AND METHODS OF PROTECTION OF BIOLOGICAL OBJECTS FROM INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS AND RADIATIONS*V. A. Bannyi¹, V. A. Ignatenko¹, A. S. Azaryonok¹, L. A. Evtuhova²*¹Gomel State Medical University, Gomel, Belarus²F. Scorina Gomel State University, Gomel, Belarus

The aim of this review was the study of the influence of electromagnetic radiation of microwave range on biological objects. The analysis of modern materials and methods of protection of biological objects from microwave radiation is carried out. The properties of composite radioabsorbing materials based on the polymeric binding and functional fillers are analyzed. The mechanisms of influence on biological objects by the electromagnetic radiation of microwave range are analyzed.

The conclusion is that the composite radioabsorbing materials and electromagnetic screens are an effective solution to the problems of electromagnetic safety and electromagnetic ecology. The most perspective among them are composite materials based on thermoplastic binding.

Key words: electromagnetic radiations, biological objects, polymer composites, radioabsorbing materials, electromagnetic screens.

Введение

В связи с интенсивным развитием радио- и электронной техники к естественному фоновому радиоизлучению добавились новые источники электромагнитного загрязнения: сотовая и спутниковая связь, системы навигации и радиолокации, радиотехнические установки, бытовая и медицинская радиотехника и др. В большинстве из этих технических систем используется энергия СВЧ-излучения. К СВЧ относят область радиочастот от 3 до 30 ГГц, а радиолокация охватывает полосу частот от 300 МГц

до 300 ГГц (деци-, санти-, и миллиметровые волны). Биологические объекты обладают чувствительностью к воздействию электромагнитных полей (ЭМП) и излучений (ЭМИ). Недостаточно изучено влияние на биологические объекты СВЧ-излучения нетепловой интенсивности, которое может привести к развитию функциональных и органических нарушений со стороны сердечно-сосудистой, эндокринной, нервной и других систем организма. ЭМИ могут усугублять имеющиеся хронические заболевания и служить фактором, способствующим

щим возникновению заболеваний различной этиологии.

Проведение профилактических и технических мероприятий, а также применение радиопоглощающих материалов (РПМ) и электромагнитных экранов (ЭМЭ) позволяют снизить до приемлемого уровня электромагнитное воздействие на биологические объекты и обеспечить требования электромагнитной экологии.

Цель работы

Изучить возможные механизмы воздействия ЭМИ СВЧ-диапазона на биологические объекты, оценить последствия влияния ЭМИ на организм человека и провести обзор современных материалов и способов защиты биологических объектов от СВЧ-излучения.

Механизм биологического действия ЭМИ СВЧ-диапазона

Электромагнитный фон представлен излучениями от источников естественного и техногенного происхождения. За последние десятилетия уровень электромагнитного фона вырос в несколько тысяч раз и представляет опасность для жизнедеятельности и здоровья человека [1, 2].

Для научно-обоснованного решения проблемы электромагнитной безопасности необходимо изучение механизмов взаимодействия ЭМИ с биологическими объектами, условий распространения и преобразования энергии электромагнитных волн (ЭМВ) в биологических клетках и тканях. Биологическое воздействие радиоволн происходит по нескольким механизмам и определяется интенсивностью, длительностью, частотным диапазоном, модуляционно-временными характеристиками ЭМИ. Достаточно хорошо изучен и применяется на практике тепловой эффект воздействия микроволн, который выражается в повышении температуры облучаемого объекта вследствие выделения в нем значительного количества тепла. Этот эффект наблюдается при действии ЭМИ сравнительно большой интенсивности (15 мВт/см² и более) [2]. Наиболее эффективное поглощение микроволн отмечается в тканях с большим содержанием воды: кровь, лимфа, хрусталик глаза, внутриклеточная жидкость и др. Это обусловлено поляризацией молекул воды под действием ЭМИ и ее высокой диэлектрической проницаемостью.

При меньших значениях интенсивности происходит «нетепловое», не вызывающее повышения температуры объекта энерго-информационное воздействие ЭМИ [2]. Оно предположительно связано с биофизическими процессами формирования в ЭМП особых энергетического, физико-химического и конформационного состояний биомолекул и макромолекулярных систем. Теория нетеплового специфиче-

ского действия микроволн на биообъекты еще недостаточно разработана, что обосновывает необходимость дальнейших экспериментальных и теоретических исследований в этой области. В существующей теории «нетеплового» воздействия микроволн на биологические объекты предполагается, что возникающие эффекты обусловлены кооперативными процессами, основанными на резонансных взаимодействиях биологических макромолекул, например, белковых молекул, входящих в состав мембраны [2].

Реакция организма на СВЧ-воздействие направлена на поддержание гомеостаза [3]. Результат этого воздействия является суммой эффектов действия ЭМИ, реакций противодействия этим эффектам и репаративных процессов. Параметры ЭМИ, характер электромагнитного поражения объекта и индивидуальные компенсаторные возможности организма обуславливают неспецифичность картины расстройств электромагнитной природы.

Предельно допустимые уровни воздействия СВЧ-излучения на персонал

Нормативными документами, устанавливающими предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия ЭМИ, являются санитарные правила и нормы (СанПиН) и гигиенические нормативы [2]. В Республике Беларусь с марта 2015 года действуют СанПиН «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» и Гигиенический норматив «Предельно допустимые уровни электромагнитных излучений радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» (Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 23 от 05.03.2015 г.), взамен утратившим силу СанПиН 2.2.4./2.1.8.9-36-2002 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)» от 31 декабря 2002 г. № 162.

СанПиНы устанавливают требования к обеспечению безопасности и безвредности воздействия на человека ЭМИ радиочастотного диапазона 30 кГц–300 ГГц [2, 4]. Согласно требованиям данных СанПиНов, в диапазоне частот 300 МГц–300 ГГц интенсивность ЭМИ РЧ оценивается значениями плотности потока энергии (ППЭ) в Вт/м² или в мкВт/см². Энергетическая экспозиция (ЭЭ) ЭМИ является математической функцией ППЭ и времени (Т) его воздействия на человека, выражается в (мкВт/см²) × ч и рассчитывается по формуле 1:

$$ЭЭ = ППЭ \times T \quad (1)$$

Предельно допустимые значения ЭЭ ЭМИ диапазона 300 МГц–300 ГГц в производственных условиях по ППЭ не должна превышать

200 мкВт/см². Для лиц, не достигших 18 лет, и женщин в периоды беременности и кормления грудью установлены более жесткие ПДУ.

Биофизической основой для разработки отечественных нормативных документов послужили две группы биоэффектов помимо «кратковременного термического»:

— кумуляция эффекта воздействия в организме при длительном непрерывном и дробном воздействии, особенно в пределах до-тепловых уровней;

— обратимость эффектов и адаптация облучаемого организма при наличии больших пауз между экспозициями.

Таблица 1 — ПДУ ППЭ в диапазоне частот 300 МГц–300 ГГц в производственных условиях в зависимости от продолжительности воздействия

Продолжительность воздействия Т, ч	ПДУ ППЭ, мкВт/см ²
8,0 и более	25
4,0	50
2,0	100
1,0	200
0,20 и менее	1000

Организационные и инженерно-технические методы и средства защиты от ЭМП и ЭМИ

В соответствии с СанПиНом «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» защита человека от воздействия ЭМИ должна осуществляться путем проведения организационных, инженерно-технических, лечебно-профилактических мероприятий, а также применения средств индивидуальной защиты [2, 4].

Организационные мероприятия защиты от воздействия ЭМИ включают:

— выбор безопасного режима работы источников ЭМИ;

— ограничение времени и места нахождения персонала в зоне воздействия ЭМИ (защита расстоянием и временем).

Защита временем применяется, когда нет возможности снизить интенсивность ЭМИ до ПДУ. Защита расстоянием применяется, если невозможно ослабить ЭМП и ЭМИ другими мерами, в том числе защитой временем. Защита расстоянием положена в основу зон нормирования излучений для определения необходимого разрыва между источниками ЭМП и жилыми домами, служебными помещениями и т.п. Для каждой установки, излучающей электромагнитную энергию, должны определяться санитарно-защитные зоны, в которых интенсивность ЭМП и ЭМИ превышает ПДУ.

Инженерно-технические мероприятия должны обеспечивать снижение уровней ЭМП и ЭМИ на рабочих местах путем внедрения новых технологий и применения средств коллектив-

Зарубежные стандарты разрабатываются на экспериментально-расчетных методах, причем выводы строятся на основе опытов с выраженными поражениями биообъекта. Такой подход позволил выполнить непрерывное нормирование во всем диапазоне ЭМИ - от 0 Гц до 300 ГГц.

В таблице 1 представлены ПДУ ППЭ в диапазоне частот 300 МГц–300 ГГц в производственных условиях в зависимости от продолжительности воздействия, в соответствии с требованиями Гигиенического норматива «Предельно допустимые уровни электромагнитных излучений радиочастотного диапазона при их воздействии на человека».

ной и индивидуальной защиты (когда фактические уровни ЭМП на рабочих местах превышают ПДУ, установленные для производственных воздействий).

Инженерно-технические мероприятия защиты от воздействия ЭМИ включают:

— рациональное размещение источников ЭМИ;

— использование средств, ограничивающих поступление электромагнитной энергии на рабочие места работников (поглотители мощности, экраны, минимальная мощность генератора);

— обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМИ.

Инженерно-технические защитные мероприятия строятся на использовании явления экранирования ЭМП и ЭМИ непосредственно в местах пребывания человека.

Для защиты населения от воздействия ЭМИ в строительных конструкциях в качестве ЭМЭ могут применяться электропроводящие углеродные или металлические сетки, металлизированные пленки, ткани на основе синтетических волокон, а также специально разработанные строительные материалы. Методы химической и вакуумной металлизации тканей и волокон позволяют регулировать толщину наносимого металлического слоя от сотых долей до единиц микрометров и в широком диапазоне изменять поверхностное удельное сопротивление тканей. ЭМЭ обладают малой толщиной, легкостью, гибкостью и могут комбинироваться с другими материалами.

Эффективность средств защиты определяется по степени ослабления интенсивности ЭМП и ЭМИ, выражающейся коэффициентом экранирования (коэффициент поглощения или отражения).

Радиопоглощающие материалы. Области применения композитных РПМ разнообразны. Композитные радиогерметизирующие уплотнители и поглотители энергии СВЧ-излучения предотвращают утечку электромагнитной энергии из радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивая помехоустойчивость. Они служат для защиты от СВЧ-излучения операторов радиолокационных станций, радиофизических приборов и другого радиотехнического оборудования, пользователей ЭВМ, бытовых микроволновых печей, сотовых телефонов и т.п. Также РПМ являются эффективным средством борьбы с паразитной интерференцией радиоволн, переотраженных от соседних объектов. РПМ применяются для маскировки средств вооружения и военной техники от обнаружения радиолокационными средствами. В настоящее время разработана и находит применение на объектах, проектируемых по технологии Stealth, гамма композиционных РПМ [5, 6].

При взаимодействии ЭМИ с РПМ происходят процессы отражения, поглощения, многократного рассеяния (вследствие структурной и геометрической неоднородности материала) и интерференции радиоволн. Способность материала поглощать СВЧ-излучение зависит от его состава и структуры. РПМ не обеспечивают поглощение излучения в широком диапазоне частот, а характеризуются лучшей поглощающей способностью при определенных частотах ЭМИ. Не существует универсального поглощающего материала, приспособленного для поглощения ЭМИ во всем частотном диапазоне.

Широкая номенклатура РПМ предназначена для различных сфер технического приложения. Вода является простейшим природным поглотителем энергии ЭМИ СВЧ-диапазона, особенно миллиметровых волн. Именно с молекулами структурированной воды связаны многие эффекты воздействия ЭМП и ЭМИ на биологические клетки и ткани [7]. Поэтому воду можно использовать как поглотитель ЭМИ, вводя ее в пористые и гигроскопичные полимерные РПМ. Некоторое время объект может быть защищен от ЭМИ парами воды. Вместо воды в качестве функционального наполнителя (ФН) РПМ могут быть использованы химические соединения, обладающие большими потерями в диапазоне СВЧ.

Имеется множество патентов на составы ферритовых компонентов для поглотителей различных диапазонов. Среди них, например, серия поглощающих материалов со структурой

шпинели с общей формулой $MeFe_2O_4$, где $Me = Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mg$ и т. д. Эти материалы предназначены для диапазона ЭМИ 0,5–12 ГГц. Размер частиц порошков ферритов, эффективно поглощающих СВЧ-излучение на частотах 0,5–1,5 ГГц, составляет 1,65–0,7 мкм, а в диапазоне 2,5–12 ГГц — 0,1 мкм. Достоинством ферритовых поглотителей является их малая толщина (несколько миллиметров). Однако они трудоемки в изготовлении и нетехнологичны, так как приходится наклеивать ферритовые пластинки на поверхность защищаемой металлической детали. Кроме того, такие поглотители имеют недостаточно широкую полосу рабочих частот.

Более технологичны РПМ на основе смесей порошка феррита или карбонильного железа с полимерным связующим. Такие смеси наносят на защищаемую поверхность кистью или разбрызгиванием в виде лакокрасочного покрытия или наклеивают в виде листов.

При создании легких РПМ используют полимерные композиты, содержащие полые микросферы и нанотрубки на основе фуллеренов с добавками магнитных ионов, а также покрытия с наполнителями из стеклянных микросфер, покрытых железом или ферритом. Такие материалы при толщине 1 мм обеспечивают величину затухания 12–20 дБ в диапазоне ЭМИ 2–10 ГГц.

Принципиально новые возможности при создании РПМ открывает сравнительно новый класс веществ: сегнетомагнетики, сегнето-, антисегнето- или сегнетиелектрические — свойства которых сочетаются с ферро-, антиферро- или ферримагнитными свойствами и взаимосвязаны в некотором интервале температур в одном веществе [8]. Например, сегнетоэлектрики обладают очень высокой диэлектрической проницаемостью ϵ (1000–10000), сохраняющейся вплоть до диапазона СВЧ. На сантиметровых волнах в сегнетокерамике имеет место диэлектрическая дисперсия, в результате которой действительная часть диэлектрической проницаемости ϵ' снижается до нескольких сотен, а тангенс угла диэлектрических потерь $tg\epsilon$ претерпевает максимум. Во всем диапазоне СВЧ мнимая часть диэлектрической проницаемости ϵ'' превышает 100, что обеспечивает очень высокое поглощение ЭМВ.

Наиболее перспективными по технологическим, эксплуатационным и экономическим критериям являются РПМ на основе полимерных композитов. Такие материалы не только сочетают свойства входящих в них ингредиентов, но и приобретают новые свойства, не присущие отдельным компонентам. В совершенствовании техники радиопоглощения особая роль принадлежит композитным материалам на основе термопластов. Достоинство термопластичных композитных РПМ состоит в соче-

тании высокой химической стойкости, удовлетворительных механических свойств с технологичностью переработки и низкой стоимостью. Наиболее распространенными связующими таких РПМ являются полиолефины — высокомолекулярные углеводороды алифатического ряда, получаемые полимеризацией соответствующих олефинов. Типичные представители этой подгруппы — полиэтилен, полипропилен и их многочисленные сополимеры.

Композитные материалы классифицируют по природе полимерного связующего, ФН и структурным признакам. Необходимое условие достижения материалом заданного уровня радиотехнических параметров — наличие в его составе компонентов, обеспечивающих потери СВЧ-энергии. К числу таких компонентов относят диэлектрические, электропроводящие, магнитные и комбинированные наполнители.

Согласно литературным данным, типовыми ФН РПМ являются:

1) электропроводящие порошкообразные материалы (уголь, сажа, графит, металлы — сталь, чугун, железо, алюминий, кобальт, свинец, цинк, олово, медь и др., соли металлов) со сферической, цилиндрической, чешуйчатой и др. формой частиц;

2) проводящие углеродные, металлические и металлоуглеродные волокна, углеткани, металлические нити, пластинки, полоски фольги, обрезки проволоки, сетки сложной формы, решетки, резонансные элементы в виде крестообразных диполей или замкнутых проводников (колец) и т. п.;

3) металлизированные углеродные и полимерные волокна, ткани, пленки, макросферы;

4) магнитные наполнители — ферриты различного химического состава (преимущественно магнитно-мягкие), а также магнитные порошки металлов и аморфных сплавов (Fe, Ni, сплавы Fe-Co-Ni; пермаллой и др.);

5) дисперсные полупроводники — оксиды, карбиды и сульфиды металлов, карбид кремния, сегнетокерамика, обугленные кремнийорганические ткани и волокна;

6) диэлектрики, в частности, легко поляризуемые органические вещества (соли ретинила Шиффа), биополимеры (хитин) и т. п.

Наиболее эффективные широкодиапазонные СВЧ-поглотители, как правило, содержат смешанные наполнители, которые обеспечивают различные механизмы потерь электромагнитной энергии.

Перспективными полимерными композитными РПМ являются [9–15]:

- нетканые волокнистые материалы;
- материалы, содержащие воду или водные растворы солей;
- РПМ на основе биоразлагаемых компонентов природного происхождения;

- энантиоморфные поглощающие среды;
- материалы на основе полимеров с собственной проводимостью и т. д.

Электромагнитные экраны. Под экранированием понимается защита радиотехнического и электронного оборудования от воздействия внешних полей, а также локализация ЭМП и ЭМИ, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде. Экранирование ЭМП и ЭМИ является основой электромагнитной экологии, электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности.

Свойство ЭМЭ поглощать энергию СВЧ-излучения характеризуют следующими наиболее часто употребляемыми количественными параметрами:

— модулем коэффициента отражения R при падении плоской ЭМВ на поверхность ЭМЭ (при разных углах падения в широкой полосе частот);

— удельной поглощаемой мощностью ЭМИ P (Вт/см²);

— уровнем ослабления энергии ЭМВ при ее прохождении через ЭМЭ (эффективностью экранирования $\mathcal{E}_{\text{экр}}$) по электрическому (\mathcal{E}_E) и магнитному (\mathcal{E}_H) полям:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_E &= 201g(E_1/E_2) \text{ (дБ);} \\ \mathcal{E}_H &= 201g(H_1/H_2) \text{ (дБ)} \end{aligned} \quad (2)$$

где E_1 , H_1 и E_2 , H_2 — напряженности электрического и магнитного полей в данной точке пространства при отсутствии радиопоглощающего экрана и при его наличии соответственно.

Величину R измеряют методами рефлектометрии, то есть путем анализа отраженного от поверхности ЭМЭ СВЧ-сигнала. Эти методы обеспечивают достаточную точность и надежность измерений. Для определения величины R анализируют электромагнитные параметры:

(а) стоячей волны, образующейся в волноводах и коаксиальных линиях в результате интерференции нормально падающей на образец и отраженной ЭМВ;

(б) отраженного сигнала при разных углах падения на образец плоской ЭМВ в свободном пространстве.

К косвенным параметрам, которые позволяют судить о степени поглощения СВЧ-излучения образцом РПМ, относятся присущие материалу экрана диэлектрические и магнитные потери. Их оценивают по результатам измерений комплексных величин $\varepsilon(\omega)$ и $\mu(\omega)$. С этой целью, как правило, применяют резонаторные методы.

Эффективность экранирования ($\mathcal{E}_{\text{экр}}$) — это степень ослабления составляющих поля (электрической или магнитной), определяемая как отношение действующих значений напря-

женности полей в данной точке пространства при отсутствии и наличии ЭМЭ. Главным фактором, определяющим качество экрана, являются радиофизические свойства материала, из которого изготовлен ЭМЭ, а также его конструкционные особенности.

При рассмотрении $\mathcal{E}_{\text{экp}}$ исследователи часто применяют приближенный анализ, основанный на представлении $\mathcal{E}_{\text{экp}}$ как суммы отдельных составляющих (формула 3):

$$\mathcal{E}_{\text{экp}} = \mathcal{E}_{\text{погл}} + \mathcal{E}_{\text{отp}} + \mathcal{E}_{\text{рас}}, \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{погл}}$, $\mathcal{E}_{\text{отp}}$ и $\mathcal{E}_{\text{рас}}$ – величины поглощения экраном энергии ЭМИ по механизмам магнитных, диэлектрических и джоулевых потерь, ее отражения на границе экрана с атмосферой и рассеяния вследствие многократных внутренних переотражений на межфазных поверхностях композита.

К настоящему времени сформировалась широкая номенклатура ЭМЭ многообразных конфигураций и структуры. В них используются различные типы связующего и ФН, отличающиеся по физико-химическим и структурным характеристикам, вплоть до уникальных (соли ретинила Шиффа, биополимеры (хитин), сегнетомагнетики, киральные микроэлементы, нанотрубки на основе фуллеренов, а также электропроводящие полимеры — полианилин и полипиррол). Тем не менее до сих пор не существует универсального высокоэффективного поглотителя энергии ЭМИ в широкой полосе СВЧ при удовлетворительных размерных, физико-механических и других эксплуатационных характеристиках.

Введение полимерных связующих в состав композитных ЭМЭ позволяет снизить удельную массу конструкций, внедрить высокотехнологичные производственные методы переработки полимерных композитов в изделия (экструзию, литье под давлением, термическое прессование и др.), повысить качество и упростить технологию формирования материалов, используя методы электростатического напыления, «горячей» накатки, нанесения лакокрасочных составов и др., получать пластичные и высокоэластичные обшивки, хорошо сопрягаемые с криволинейными поверхностями изделий сложной формы, изменять структуру и конфигурацию ЭМЭ в широких пределах, обеспечить требуемый комплекс их физико-механических, физико-химических и других эксплуатационных характеристик с минимальными затратами.

Применение ЭМЭ позволяет решать многие задачи, среди которых защита информации в помещениях и технических каналах, электромагнитная совместимость оборудования и приборов при их совместном использовании,

защита персонала от повышенного уровня ЭМП и обеспечение благоприятной экологической обстановки вокруг работающих электроустановок и СВЧ-устройств.

Обладая способностью эффективно поглощать энергию ЭМП в широком диапазоне СВЧ, ЭМЭ должны отвечать ряду других технических требований, среди которых низкая удельная масса, технологичность при изготовлении, невысокая стоимость готовых изделий, экологическая чистота, приемлемые тепло- и электрофизические, физико-механические и др. характеристики, стабильность размеров, тепловая и химическая стойкость в условиях эксплуатации, надежность, долговечность и т. п.

Уровень этих требований обычно четко определен, поскольку ЭМЭ разрабатываются под конкретную задачу.

Таким образом, возможности создания высокоэффективных современных ЭМЭ определяют новые классы материалов с уникальными свойствами, используемые в качестве компонентов термопластичных композитов.

Заключение

Представлены механизмы воздействия ЭМИ СВЧ-диапазона на биологические объекты. Показано, что микроволны могут являться причиной развития функциональных и органических нарушений со стороны сердечно-сосудистой, нервной, эндокринной и других систем организма. Рассмотрены организационные и инженерно-технические мероприятия, которые позволяют обеспечить снижение уровня ЭМП и ЭМИ. Приведен обзор материалов и средств защиты биологических объектов от негативного влияния СВЧ-излучения. Композиционные РПМ и ЭМЭ являются эффективным средством решения проблем электромагнитной безопасности и электромагнитной экологии. Перспективными среди них являются композиционные материалы на основе термопластичного связующего. В качестве ФН могут быть использованы как классические (порошки металлов и магнитно-мягких ферритов, оксиды, карбиды и сульфиды металлов, углеродные и металлические волокна и т. п.), так и уникальные (биополимеры, соли ретинила Шиффа, сегнетомагнетики, нанотрубки на основе фуллеренов, энантиоморфные структуры, полимеры с собственной проводимостью и др.).

Исследования выполнены в соответствии с заданием: «Разработка составов и технологий формирования поглотителей электромагнитных волн для защиты биообъектов от электромагнитных полей и излучений» (№ госрегистрации 20160584) ГПНИ «Биотехнологии» на 2016–2018 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев ЮГ, Степанов ВС, Григорьев ОА, Меркулов АВ. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное издание. Москва, РФ: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения; 1999. 152 с.
2. Хмельницкий ЮН, Мусаткина БВ, Уфимцева ЛЯ, Игнатов ОВ. Защита от СВЧ-излучений: методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности». Омск, РФ: Омский государственный университет путей сообщения; 2007. 24 с.
3. Азаренок АС, Банний ВА. Влияние малых доз ионизирующего излучения на организм человека. В: Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: международная научно-практическая конференция; 2016: Гомель, РБ: ГГТУ им. П.О. Сухого; 2016.
4. Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека. Санитарные правила и нормы: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 23 от 05.03.2015 г.
5. Макаревич АВ, Банний ВА. Радиопоглощающие полимерные композиционные материалы в технике СВЧ. *Материалы, технологии, инструменты*. 1999;4(3):24-32.
6. Михайлин ЮА. Специальные полимерные композиционные материалы. Санкт-Петербург. РФ: *Научные основы и технологии*; 2014. 664 с.
7. Пономарев ОА, Фесенко ЕЕ. Свойства жидкой воды в электрических и магнитных полях. *Биофизика*. 2000;45(3):389-98.
8. Вевецев ЮН, Гагулин ВВ, Любимов ВН. Сегнетомагнетики. Москва, РФ: Наука; 1982. 224 с.
9. Банний ВА, Евтухова ЛА, Игнатенко ВА. Полимерные композиционные материалы для защиты биологических объектов от электромагнитных полей и излучений на основе термопластов и биополимеров. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*. 2012;5(74):87-91.
10. Банний ВА, Игнатенко ВА, Евтухова ЛА. Радиопоглощающие водосодержащие материалы для обеспечения электромагнитной экологии. В: Актуальные проблемы медицины: материалы Республиканской научно-практической конференции; 2013: Гомель: ГГМУ; 2013.
11. Банний ВА, Игнатенко ВА. Нетканые и комбинированные радиопоглощающие материалы на основе полимерных композитов. *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2014;14(3):83-86.
12. Цян Сунсонг, Банний ВА, Самофалов АЛ, Семченко ИВ, Хахомов СА. Поглотители электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе полимерных композитов и киральных структур. *Проблемы физики, математики и техники*. 2014;4(21):1-6.
13. Банний ВА, Азаренок АС, Игнатенко ВА. Композиционные радиопоглощающие материалы на основе энантиоморфных структур. *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2015;15(2):122-124.
14. Азаренок АС, Банний ВА, Ломач ВА. Энантиоморфные радиопоглощающие материалы на основе ДНК-подобных структур. В: Поликомтриб-2015: международная научно-техническая конференция; 2015: Гомель: ИММС НАН Беларуси; 2015.
15. Банний ВА, Игнатенко ВА. Применение полимерных радиопоглощающих материалов в решении проблемы электромагнитной безопасности. *Проблемы здоровья и экологии*. 2016;3(49):9-13.

REFERENSES

1. Grigor'ev JuG, Stepanov VS, Grigor'ev OA, Merkulov AV. Jelektromagnitnaja bezopasnost' cheloveka. Spravochno-informacionnoe izdanie. Moskva, RF: Rossijskij nacional'nyj komitet po zashhite ot neionizirujushhego izlucheniya; 1999. 152 p. (in Russ.)
2. Hmel'nickij JuN, Musatkina BV, Ufimceva LJ, Ignatov OV. Zashhita ot SVCh-izlucheniij: metodicheskie ukazaniya k laboratornoj rabote po kursu «Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti». Omsk, RF: Omskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija; 2007. 24 p. (in Russ.)
3. Azarenok AS, Bannyj VA. Vlijanie malyh doz ionizirujushhego izlucheniya na organizm cheloveka. V: Chrezvychajnye situacii: teorija, praktika, innovacii : mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija; 2016: Gomeľ, RB: GGTU im. P.O. Suhogo; 2016. (in Russ.)
4. Trebovanija k jelektromagnitnym izluchenijam radiochastotnogo diapazona pri ih vozdejstvii na cheloveka. Sanitarnye pravila i normy: postanovlenie Ministerstva zdavoohranenija Respubliki Belarus' № 23 ot 05.03.2015 g. (in Russ.)
5. Makarevich AV, Bannyj VA. Radiopogloshhajushhie polimernye kompozicionnye materialy v tehnike SVCh. *Materialy, tehnologii, instrumenty*. 1999;4(3):24-32. (in Russ.)
6. Mihajlin JuA. Special'nye polimernye kompozicionnye materialy. Sankt-Peterburg. RF: *Nauchnye osnovy i tehnologii*; 2014. 664 p. (in Russ.)
7. Ponomarev OA, Fesenko EE. Svojtva zhidkoj vody v jelektricheskijh i magnitnyh poljah. *Biofizika*. 2000;45(3):389-98. (in Russ.)
8. Venevcev JuN, Gagulin VV, Ljubimov VN. Segnetomag-netiki. Moskva, RF: Nauka; 1982. 224 p. (in Russ.)
9. Bannyj VA, Evtuhova LA, Ignatenko VA. Polimernye kompozitnye materialy dlja zashhity biologicheskijh ob#ektov ot jelektromagnitnyh polej i izlucheniij na osnove termoplastov i biopolimerov. *Izvestija Gomeľ'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny*. 2012;5(74):87-91. (in Russ.)
10. Bannyj VA, Ignatenko VA, Evtuhova LA. Radiopogloshhajushhie vodosoderzhashhie materialy dlja obespechenija jelektromagnitnoj jekologii. V: Aktual'nye problemy mediciny: materialy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoi konferencii; 2013: Gomeľ: GGMU; 2013. (in Russ.)
11. Bannyj VA, Ignatenko VA. Netkanye i kombinirovannye radiopogloshhajushhie materialy na osnove polimernyh kompozitov. *Fundamental'nye problemy radiojelektronnogo priboroostroenija*. 2014;14(3):83-86. (in Russ.)
12. Cjan' Songsong, Bannyj VA, Samofalov AL, Semchenko IV, Hahomov SA. Poglottiteli jelektromagnitnogo izlucheniya SVCh-diapazona na osnove polimernyh kompozitov i kiral'nyh struktur. *Problemy fiziki, matematiki i tehniki*. 2014;4(21):1-6. (in Russ.)
13. Bannyj VA, Azarenok AS, Ignatenko VA. Kompozicionnye radiopogloshhajushhie materialy na osnove jenantiomorfnyh struktur. *Fundamental'nye problemy radiojelektronnogo priboroostroenija*. 2015;15(2):122-124. (in Russ.)
14. Azarenok AS, Bannyj VA, Lomach VA. Jenantiomorfnye radiopogloshhajushhie materialy na osnove DNK-podobnyh struktur. V: Polikomtrib-2015: mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija; 2015: Gomeľ: IMMS NAN Belarusi; 2015. (in Russ.)
15. Bannyj VA, Ignatenko VA. Primenenie polimernyh radiopogloshhajushhih materialov v reshenii problemy jelektromagnitnoj bezopasnosti. *Problemy zdorov'ja i jekologii*. 2016;3(49):9-13. (in Russ.)

Поступила 14.11.2016

УДК 616.24-002-036.11-053.2:616.155.34

ОСОБЕННОСТИ ПАТОГЕНЕЗА, РОЛЬ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА, АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТАТУСА НЕЙТРОФИЛОВ У ДЕТЕЙ С ВНЕГОСПИТАЛЬНОЙ ПНЕВМОНИЕЙ

И. М. Малолетникова

Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет,
г. Гомель, Республика Беларусь»

В обзоре представлены данные о частоте встречаемости, особенностях патогенеза, антиоксидантного статуса и функционально-метаболической активности нейтрофилов у детей с внегоспитальной пневмонией.

Ключевые слова: пневмония, патогенез, антиоксидантный статус, нейтрофилы.