

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс, начавшийся в прошлом столетии, обеспечил быстрый рост экономики стран, решил многие социальные задачи. Человечество получило огромные блага.

Одновременно научно-технический прогресс привнес негативные изменения в окружающую среду и условия жизни человека.

Появилась угроза здоровью и жизни человека. Физическими опасными и вредными факторами для здоровья человека являются неионизирующие электромагнитные излучения (НЭМИ).

Учебное пособие «Защита от неионизирующих электромагнитных излучений» разработано в соответствии с требованиями Государственного общеобразовательного стандарта высшего профессионального образования подготовки бакалавров по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» (профиль «Радиационная и электромагнитная безопасность», дисциплина «Методы и средства защиты от неионизирующих излучений»).

Материал, изложенный в учебном пособии, является предметом изучения бакалаврами всех профилей обучения направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», а также профиля обучения «Техногенная безопасность в электроэнергетике и электротехнике» направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиля обучения «Защита от терроризма» направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника» и профиля обучения «Экологическая безопасность природопользования» направления подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование».

Учебное пособие может быть рекомендовано для изучения магистрам направлений подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Учебное пособие является учебным материалом для повышения квалификации персонала по электробезопасности.

Учебное пособие состоит из предисловия, введения, девяти глав и списка литературы. Оно дает читателю представление об электромагнитном поле (ЭМП) и формах его проявления, об электромагнитном излучении (ЭМИ).

Из учебного пособия читатель узнает, что является источниками естественных и искусственных НЭМИ; каковы общие принципы и методы защиты от НЭМИ и каковы способы и средства защиты от каждого вида НЭМИ в отдельности; какова должна быть электромагнитная обстановка (ЭМО) в производственных и жилых помещениях, на открытых территориях; чему равны предельно допустимые уровни

(ПДУ) параметров ЭМП, которые гарантируют безопасность человека и обеспечивают благоприятные условия его жизнедеятельности; какие средства измерения позволяют контролировать параметры ЭМП в окружающей среде.

Главная задача учебного пособия — способствовать обеспечению грамотности студентов, специалистов и населения в области электромагнитной безопасности, а также формирование у читателей сознательного и ответственного отношения к вопросам как личной электромагнитной безопасности, так и электромагнитной безопасности окружающей среды.

Библиография, сопровождающая изложение каждой главы, расширяет представления о рассматриваемых проблемах.

При написании учебного пособия использованы материалы отечественных и зарубежных публикаций, результаты исследований автора.

Информация о параметрах ЭМП и требованиях к проведению их контроля, а также информация о требованиях к средствам защиты, работающих от ЭМП, заимствована из ГОСТов и СанПиНов.

Автор выражает глубокую признательность рецензентам: члену-корреспонденту РАН, профессору, доктору технических наук Л. И. Чубраевой; заслуженному деятелю науки РФ, доктору технических наук, профессору О. Н. Русаку, а также доктору медицинских наук, профессору Т. В. Каляда за доброжелательную критику и ценные замечания, которые способствовали улучшению содержания учебного пособия.

Одновременно автор благодарен доценту М. Н. Акимову, оказавшему помочь в создании учебного пособия, и инженеру И. М. Щербацкому за помочь в оформлении учебного пособия.

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь современного человека протекает при непрерывном воздействии на него ЭМП. Наряду с естественными ЭМП (магнитным полем Земли, радиоизлучением Солнца, атмосферным электричеством), которые остаются практически постоянными на протяжении тысячелетий и обеспечивают комфортное существование всего живого на Земле, на человека воздействуют искусственные ЭМП — результат трудовой деятельности человека.

Вторая половина XX столетия ознаменовалась бурным развитием радиоэлектроники, систем беспроводной связи, электроэнергетики. Создаются мощные радиопередающие устройства, системы радиосвязи и телевидения, антенны которых преднамеренно излучают в пространство электромагнитную энергию (ЭМЭ). Биосфера «загрязняется» ЭМП искусственного происхождения.

Интенсивность искусственных ЭМП на порядки превосходит уровни естественных ЭМП.

Возникла глобальная проблема электромагнитной безопасности человека в ЭМП.

В настоящее время локальным и фоновым электромагнитным энергетическим нагрузкам подвергаются люди всех возрастов. Места отдыха детей оснащены электрическими и электронными играми, компьютерами. Компьютеризирован учебный процесс в начальных, средних и высших учебных заведениях. Рабочие места работников промышленности, науки и вооружения, специалистов управленческих и диспетчерских служб, служб испытаний и спасения, летчиков и водителей электротранспорта насыщены электрическими приборами, электрокабелями, электронными средствами оргтехники, пультами управления и средствами связи. Все эти источники ЭМП расположены в зонах нахождения человека. Значительная часть населения планеты систематически облучается ЭМП от сотовых телефонов, антенны которых излучают электромагнитную энергию в области головы, и от базовых станций. Человека «подстерегают» заряды статического электричества, скапливаясь на поверхностях мебели, половых покрытий и трущихся деталей, на экранах видеодисплейных терминалов. При этом особенную неприятность человеку причиняют положительные электрические заряды (ЭЗ), поскольку они нейтрализуют отрицательные ионы воздуха и нарушают аэроионный режим воздушной среды.

Организм человека болезненно реагирует на значительное и длительное ослабление геомагнитного поля (ГМП) Земли зданиями, сооружениями, экранами.

Человек беззащитен от ЭМП, «коварство» которых состоит в том, что их действие не ощущается органами чувств. Особенно это относится к магнитным полям (МП), для которых все объекты «прозрачны».

Воздействия ЭМП на человека проявляются в отклонениях от нормального состояния центральной нервной системы и иммунной системы. Эти поля воздействуют на эндокринную и сердечно-сосудистую системы, нарушают обмен веществ и морфологический состав крови, вызывают изменения репродуктивной функции и др.

Субъективными признаками облучения ЭМП являются жалобы на частую головную боль, сонливость или бессонницу, утомляемость, головокружение, потемнение в глазах, повышенную возбудимость, снижение памяти и др.

Действие на человека искусственных ЭМП не проходит бесследно. В медицине имеются неоспоримые доказательства негативных последствий (включая отдаленные последствия), вызванных длительными воздействиями как мощных, так и малоинтенсивных ЭМП.

Искусственные ЭМП обеспечивают и сопровождают научно-технический прогресс, способствуют повышению благополучия людей, но вместе с тем при определенных интенсивностях и условиях ЭМП могут наносить вред здоровью человека, являться причиной нарушений производственных технологических процессов, взрывов и пожаров.

Защита человека от ЭМП является одной из актуальных современных проблем. Пути защиты населения РФ от воздействия НЭМИ неоднократно обсуждались на заседаниях Совета Федерации России.

Главными принципами обеспечения электромагнитной безопасности человека являются, гигиеническое регламентирование ЭМП, санитарный надзор за источниками ЭМП, санитарный надзор и снижение интенсивности ЭМИ в местах нахождения человека, гигиеническое регламентирование ЭМП.

Гигиеническое регламентирование ЭМП предусматривает установление ПДУ и контроль параметров ЭМП, при которых жизни человека не угрожает электромагнитная опасность.

На сегодня отечественные нормативы, так же как и зарубежные, не являются совершенными. Требуется дальнейшее уточнение и разработка регламентов по отдельным компонентам электрического и

магнитного полей, а также при их одновременном воздействии. Отсутствуют нормативы для крайне низкочастотных диапазонов.

Численные значения ПДУ, составляющих ЭМП, установленные в прошлом и действующие сейчас, необходимо корректировать, учитывая непрерывный рост числа источников ЭМИ СВЧ-диапазона — базовых станций подвижной связи, мобильных телефонов, смартфонов, компьютеров и т. д.

Возрастают фоновые значения параметров ЭМП. Это в свою очередь приводит к необходимости корректировать предельно допустимые значения параметров ЭМП.

С момента обнаружения негативного влияния на человека ЭМП техногенного происхождения по проблемам электромагнитной экологии человека в стране и за рубежом опубликовано значительное количество монографий и статей. Большой вклад в разработку этой тематики внесли отечественные коллективы авторов во главе с З. В. Гордоном, Ю. А. Осиповым, Т. В. Калядой, И. Р. Петровым, Ю. Д. Думанским, Г. И. Евтушенко, М. Г. Шандалой, Ю. Г. Григорьевым.

Публикации по проблемам защиты человека от воздействия ЭМП в основном носят нормативный характер.

Учебное пособие содержит сведения об источниках ЭМП, способах и средствах защиты от неионизирующих излучений: электростатического и магнитостатического полей, электрических и магнитных низкочастотных полей, включая промышленную частоту 50 Гц, электромагнитных излучений высокочастотного радиодиапазона.

Методы и средства защиты человека от ЭМП, подробно изложенные в учебном пособии, позволяют обеспечить выполнение требований действующих санитарных норм и правил.

Информация, приведенная в учебном пособии, позволит будущим специалистам анализировать электромагнитную обстановку в производственных помещениях, на рабочих местах и на селитебных территориях, организовывать и проводить мероприятия по защите от неионизирующих электромагнитных излучений профессионалов и население.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- БС — базовая станция.
- ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения.
- ВН — высокое напряжение.
- ВТЭК — врачебно-трудовая экспертная комиссия.
- ВЧ — высокие частоты.
- ГВЧ — гипервысокие частоты.
- ГМП — геомагнитное поле.
- ГРЩ — главный распределительный щит.
- ИНЧ — инфра-низкие частоты.
- КВЧ — крайне высокие частоты.
- КНЧ — крайне низкие частоты.
- ЛЭП — линия электропередачи.
- МГД — магнитогидродинамический.
- МККР — Международный консультативный комитет по радио.
- МП — магнитное поле.
- МС — мобильная связь.
- МСП — магнитостатическое поле.
- НЧ — низкие частоты.
- НЭМИ — неионизирующие электромагнитные излучения.
- ОРУ — открытое распределительное устройство.
- ОВЧ — очень высокие частоты.
- ОНЧ — очень низкие частоты.
- ОПН — ограничитель перенапряжения.
- ПДУ — предельно допустимый уровень.
- ПеМП — переменное магнитное поле.
- ПеЭП — переменное электрическое поле.
- ПМП — постоянное магнитное поле.
- ППЭ — плотность потока энергии.
- ПРТО — передающие радиотехнические объекты.
- ПС — подвижная станция.
- ПУЭ — Правила устройства электроустановок.
- ПЭП — постоянное электрическое поле.
- РЛС — радиолокационная станция.
- РТУ — радиотехническое устройство.
- РТС — радиотрансляционная станция.
- СВН — сверхвысокое напряжение.
- СВЧ — сверхвысокие частоты.
- СНЧ — сверхнизкая частота.
- СИ — международная система единиц.

СС — сотовая связь.
ССС — станция спутниковой связи.
СЧ — средние частоты.
СЭ — статическое электричество.
УВН — ультравысокое напряжение.
УВЧ — ультравысокие частоты.
УКВ — ультракороткая волна.
УНЧ — ультразвуковые частоты.
ЦК — центр коммутации.
ЭДС — электродвижущая сила.
Эз — электрический заряд.
ЭМВ — электромагнитные волны.
ЭМИ — электромагнитное излучение.
ЭМП — электромагнитное поле.
ЭМО — электромагнитная обстановка.
ЭМЭ — электромагнитная экология.
ЭМэ — электромагнитная энергия.
ЭП — электрическое поле.
ЭСП — электростатическое поле.

ГЛАВА 1. НЕИОНИЗИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

1.1. Электрический заряд

Электрический заряд (ЭЗ) — свойство электронов, протонов и тел, содержащих в избытке или в недостатке электроны, взаимодействовать между собой с силой, во много раз превышающей силу их гравитационного притяжения. Так, в атоме водорода сила электрического взаимодействия между электроном и протоном составляет $8,19 \cdot 10^{-8}$ Н и превышает силы гравитационного притяжения в $2,27 \cdot 10^{39}$ раз.

В литературе понятие ЭЗ используют, чтобы указать на наличие у тела отмеченного свойства.

Наименьший (элементарный) ЭЗ равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Таким образом обладают элементарные частицы — электрон, протон. ЭЗ любого тела состоит из целого числа элементарных ЭЗ.

В окружающем нас мире наблюдается бесчисленное множество заряженных тел. Их ЭЗ может быть либо отрицательный, как у электрона, либо положительный, как у протона (название положительные и отрицательные заряды предложил в 1747 г. американский ученый Бенджамин Франклайн).

Электроны и протоны являются основой атомов и молекул. В некоторых веществах заряженные частицы могут свободно перемещаться под воздействием внешних электрических сил. Их перемещение не ограничивается внутриатомными и внутримолекулярными силами. ЭЗ таких частиц называют свободными. Свободными ЭЗ являются электроны проводимости в металлах и полупроводниках, ионы в электролитах и газах, избыточные ЭЗ — сообщенные телу и нарушающие его электрическую нейтральность.

Большую группу составляют вещества со связанными зарядами — диэлектрики. В них связанные ЭЗ фиксированы внутриатомными и внутримолекулярными силами. Заряды могут перемещаться только в пределах внутриатомных расстояний. Суммарный ЭЗ диэлектрика равен нулю.

Под действием внешних электрических сил диэлектрики поляризуются. Отрицательные связанные ЭЗ смещаются в направлении более высокой потенциальной энергии, а положительные связанные ЭЗ — в противоположную сторону. В результате поляризации на поверхности диэлектрика появляются ЭЗ определенного знака.

1.2. Электрическое поле и его характеристики

Впервые понятие электрическое поле (ЭП) ввел английский ученый Майкл Фарадей (1791–1867). Он утверждал, что от каждого заряда исходит ЭП, которое пронизывает пространство вокруг ЭЗ.

ЭП — особый вид материи, которая окружает ЭЗ. ЭП создается как неподвижными заряженными частицами (телами), так и заряженными частицами, двигающимися в пространстве со скоростями, значительно меньшими, чем скорость ЭМП. ЭП не существует без ЭЗ, а ЭЗ обязательно создает вокруг себя ЭП. ЭЗ и созданные им ЭП взаимно неподвижны. ЭП неподвижных ЭЗ называют электростатическим полем (ЭСП).

ЭП обладает массой, энергией, импульсом. В пространстве масса и энергия ЭП распределены непрерывно.

ЭП с силой воздействует на заряженные частицы. Величина силы пропорциональна ЭЗ частицы и не зависит от ее скорости. Отличительная особенность ЭП состоит в том, что только оно оказывает силовое воздействие на неподвижные заряженные частицы.

ЭП и вещество (включая живую материю) проницают друг для друга. Они могут занимать один и тот же объем.

Для описания ЭП используют три характеристики: две силовые — напряженность ЭП и электрическая индукция (смещение), и одну энергетическую — электрический потенциал.

Под напряженностью ЭП \vec{E} , В/м, понимают векторную величину, численно равную силе \vec{F} , с которой ЭП в среде с определенными электрическими свойствами действует на точечное тело с ЭЗ $q = 1$ Кл:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

В вакууме силовой характеристикой является вектор электрической индукции (смещения) \vec{D} , Кл/м².

Силовые характеристики ЭП в однородной изотропной среде связаны соотношением

$$\vec{D} = \epsilon_a \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E},$$

где $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r$ — абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м; $\epsilon_0 = 8.86 \cdot 10^{-12}$ — электрическая постоянная, Ф/м; ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость — величина, показывающая, во сколько раз сила ЭП, действующая на точечное тело в вакууме, больше силы, действующей на это тело в реальной электрической среде.

Относительная диэлектрическая проницаемость учитывает влияние вещества на ЭП. В вакууме и в воздухе $\epsilon_r = 1$, в воде при 20°C $\epsilon_r = 80$.

Электрический потенциал φ , В, — скалярная величина, численно равная потенциальной энергии W_n точечного тела с ЭЗ $q = 1$ Кл, которое помещено в рассматриваемую точку ЭП:

$$\varphi = \frac{W_n}{q}.$$

Разность потенциалов U , В, между двумя точками 1 и 2 электрического поля или электрической цепи называют электрическим напряжением:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Силовые и энергетическая характеристики ЭП взаимосвязаны. Составляющая вектора напряженности ЭП E_l по произвольному направлению l численно равна отношению изменения потенциала $\Delta\varphi$ на бесконечно малой длине Δl к величине этой длины:

$$E_l = \frac{\Delta\varphi}{\Delta l}.$$

ЭП, окружающее заряженные тела и проводники, неоднородно. По мере удаления от электрических зарядов напряженность ЭП резко уменьшается. Так, напряженность ЭП, созданная заряженным бесконечно длинным проводником, убывает обратно пропорционально расстоянию r по нормали к оси проводника:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 r},$$

где τ — линейная плотность заряда, Кл/м.

Напряженность, создаваемая точечным телом с ЭЗ q , убывает обратно пропорционально квадрату расстояния r от этого тела:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^2}.$$

Если ЭП создается двумя равными по величине и противоположными по знаку ЭЗ q , расстояние l между которыми много меньше расстояния r от зарядов до рассматриваемой точки пространства (диполем), то напряженность ЭП уменьшается обратно пропорционально кубу расстояния r :

$$E = \frac{q l}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^3}.$$

Электрический потенциал уединенного проводящего тела пропорционален ЭЗ этого тела:

$$q = C\phi,$$

где C — емкость тела.

Емкость тела характеризует способность заряженного тела накапливать энергию в ЭП, окружающем тело. Величина емкости зависит от электрических свойств участков среды, окружающих тело, от формы и размеров поверхности тела.

Емкость измеряется в фарадах — Φ . Поскольку фарада — очень крупная единица (такой емкостью обладает шар радиусом $9 \cdot 10^6$ км), то на практике пользуются более мелкими, кратными ей единицами: микрофарадой ($1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \Phi$) и пикофарадой ($1 \text{ пкФ} = 10^{-12} \Phi$).

Емкость проводящего тела линейна, если относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = \text{const}$ и величина емкости не зависит от электрического потенциала (напряженности) ЭП.

Емкость проводящего тела нелинейна, если относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = \text{var}$ и величина емкости зависит от электрического потенциала (напряженности) ЭП.

Емкость проводящего шара радиуса R равна

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r R.$$

Емкость двух проводников, разделенных диэлектриком или вакуумом плоского конденсатора, определяется соотношением

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d},$$

где S — площадь одного проводника — обкладки конденсатора (считается, что обкладки одинаковы); d — расстояние между обкладками.

Электрическое поле плоского конденсатора однородно (рис. 1.1). Во всех точках пространства между обкладками конденсатора вектора напряженности одинаковы по модулю и направлению.

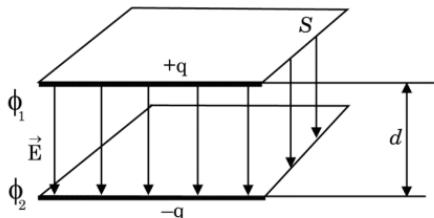


Рис. 1.1
Электрическое поле плоского конденсатора

Для двух заряженных проводников связь между ЭЗ и электрическим напряжением записывается $q = CU$. Из приведенного выражения следует, что с увеличением расстояния d между заряженными поверхностями уменьшается емкость между ними. Если при этом ЭЗ остается неизменным, то напряжение между обкладками значительно возрастает. Повышение напряжения между поверхностями может явиться причиной искрового разряда.

Для наглядного представления об ЭП его изображают графически в пространстве или на плоскости в виде силовых линий (линий, по которым двигаются точечные заряды) и линий равного электрического потенциала. Эти линии взаимно перпендикулярны и образуют сетку, состоящую из криволинейных подобных квадратов. Сетка характеризует распределение энергии и массы в ЭП. Там, где линии расположены близко друг к другу, плотность ЭП больше, а где линии расположены на больших расстояниях, плотность ЭП имеет меньшие значения. В качестве примера на рисунке 1.2 представлена картина ЭП, созданная двухпроводной высоковольтной линией электропередачи (ЛЭП) постоянного тока.

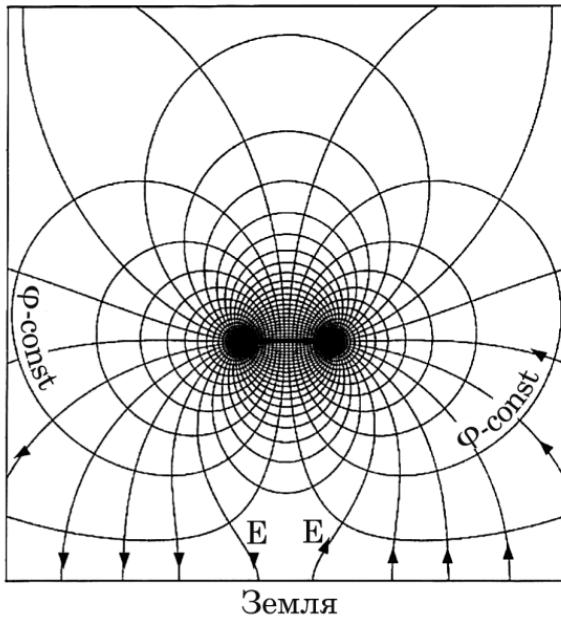


Рис. 1.2

Картина ЭП двухпроводной ЛЭП постоянного тока

Силовые линии E направлены перпендикулярно к поверхности проводов и к поверхности Земли. Условно принято, что силовые линии исходят из тел с положительным зарядом, и сходятся на телах, имеющих отрицательный заряд. Линии равного электрического потенциала ($\phi = \text{const}$) непрерывны. Они охватывают заряженные тела.

1.3. Магнитное поле и его характеристики

Магнитным полем (МП) называют материю, окружающую движущиеся заряженные частицы, проводники с токами и намагниченные тела.

МП не существует без движущихся зарядов и намагниченных тел, а движущиеся заряды и намагниченные тела обязательно создают вокруг себя МП, которое обладает массой, энергией, импульсом. В пространстве масса и энергия МП непрерывны и неподвижны.

МП отличается от других видов полей тем, что оно действует на движущийся электрический заряд с силой, пропорциональной величине заряда и его скорости. Сила направлена перпендикулярно к вектору скорости.

МП и вещество (включая живую материю) проницают друг для друга. Они могут занимать один и тот же объем.

МП неподвижных намагниченных тел и проводников с постоянным током называют магнитостатическим, или постоянным, магнитным полем (ПМП).

Для описания МП используют три характеристики: две силовые — напряженность МП и индукция МП, и одну энергетическую — скалярный магнитный потенциал.

Под напряженностью МП \vec{H} , А/м, понимают векторную величину, численно равную силе \vec{F} , с которой в вакууме МП действует на расположенный перпендикулярно к направлению поля проводник длиною $l = 1$ м и по которому протекает ток $I = 1$ А:

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{Il}.$$

Внесистемной единице измерения напряженности МП является эрстед (1 Э = 80 А/м).

Вторая силовая характеристика МП — магнитная индукция (плотность магнитного потока) \vec{B} , Тл. Эта характеристика в отличие от напряженности МП учитывает магнитные свойства среды, в кото-

рой расположено МП. Внесистемная единица измерения магнитной индукции — гаусс ($1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Тл}$).

В однородной изотропной среде векторы \vec{H} и \vec{B} связаны соотношением

$$\vec{B} = \mu_a \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ — магнитная постоянная, характеризующая магнитные свойства вакуума, Гн/м; μ_r — относительная магнитная проницаемость — величина, учитывающая влияние вещества на МП (в вакууме и в воздухе $\mu_r = 1$); $\mu_a = \mu_0 \mu_r$ — абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м.

Опыты показывают, что все вещества обладают магнитными свойствами. Внесенные в МП, они намагничиваются. В зависимости от величины относительной магнитной проницаемости вещества разделяются на диамагнетики, у которых $\mu_r < 1$ (например, у висмута $\mu_r = 0,9998$), парамагнетики, у которых $\mu_r > 1$ (например, у платины $\mu_r = 1,00036$), и ферромагнетики ($\mu_r \gg 1$). У ферромагнетиков связь между \vec{B} и \vec{H} является нелинейной:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r (H) \vec{H}.$$

Биологические системы по своим магнитным свойствам относятся к диамагнетикам и парамагнетикам. Самыми распространенными включениями в биосистемах являются Fe_3O_4 ; $\text{Fe}^{3+} [\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}] \text{O}_4$.

МП в области, где отсутствуют электрические токи, рассматривается как потенциальное и характеризуется скалярным магнитным потенциалом ϕ_m , A .

МП, окружающее намагниченные предметы и проводники с током, неоднородно. По мере удаления от источников МП, напряженность МП резко уменьшается. Так, напряженность МП, созданного бесконечно длинным прямолинейным проводником, убывает обратно пропорционально расстоянию r по нормали к оси проводника:

$$H = \frac{I}{2\pi r},$$

где I — ток, создающий МП, A .

МП, подобно ЭП, изображают графически в пространстве или на плоскости в виде силовых линий — линий, у которых направление касательной в любой точке совпадает с направлением вектора напряженности МП (вектора магнитной индукции), и линий равного магнитного потенциала. Эти линии взаимно перпендикулярны и образу-

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru