

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс неизменно связан с усилением излучений разнообразных источников в окружающую человека среду. В связи с этим приобретает значение проблема обеспечения безопасности человека и в целом биосферы в полях, созданных практической деятельностью человека. Наиболее опасными полями для человека считаются электромагнитные поля (ЭМП). В последние десятилетия прошлого века возникло новое научное направление – электромагнитная совместимость человека и технических средств. Особое место в нём уделено изучению воздействия изменяющихся условий электромагнитной окружающей среды на человеческий организм. Это необходимо для сохранения его здоровья, обеспечения его работоспособности и активного долголетия.

Человек как элемент глобальной системы «Космос – Солнце – Земля – Человек» подвергается воздействиям извне полей естественного происхождения и вызванных практической деятельностью человека, а также, в свою очередь, сам воздействует на окружение.

Настоящее пособие написано по программе дисциплины «Природные и техногенные источники ионизирующих и неионизирующих излучений» и включает материал по источникам неионизирующих излучений. К ним, в первую очередь, можно отнести природные и антропогенные (созданные деятельностью человека) источники электромагнитных излучений.

### **Цель учебного пособия:**

Ознакомить обучающихся курсантов и студентов с различными видами естественных (космических и земных) и антропогенных источников неионизирующего излучения.

Сформировать у обучающихся курсантов и студентов современное техническое мышление; теоретически и практически подготовить будущих специалистов к творческому применению различных методов определения источников неионизирующих излучений и расчета их характеристик при проведении аттестации рабочих мест.

### **Материал пособия должен способствовать:**

формированию знаний в области природных и техногенных источников **неионизирующих** излучений, а также их изменений под влиянием технических объектов;

формированию у обучающихся прочных знаний в области электромагнитной безопасности и умения применять их в практической работе, направленной на минимизацию воздействия естественных и техногенных источников **неионизирующего излучения** на окружающую среду и человека;

формированию у обучающихся прочных знаний по предотвращению опасностей, создаваемых природными и техногенными источниками неионизирующих излучений.

В результате изучения пособия обучающийся должен:

**Знать:** Природные и техногенные источники неионизирующих излучений. Их изменения под влиянием практической деятельности человека.

**Уметь:** выявлять и рассчитывать величины неионизирующих излучений.

**Владеть:** знаниями об источниках неионизирующих электромагнитных излучений.

Пособие «Природные и техногенные источники неионизирующих излучений» знакомит читателя с теоретическими основами безопасности жизнедеятельности человека в ЭМП и дает представление об ЭМП и формах его проявления. Читатель узнает об основных источниках ЭМП, о реальной электромагнитной среде в производственных и жилых помещениях, на транспорте и на открытых территориях.

Главную задачу авторы видят в обеспечении грамотности специалистов и населения в области электромагнитной безопасности, а также в формировании у читателей сознательного и ответственного отношения к вопросам как личной электромагнитной безопасности, так и электромагнитной безопасности окружающей среды.

Библиографический список, приведенный в конце пособия, расширяет представление о рассматриваемых проблемах. При написании пособия использованы материалы отечественных и зарубежных публикаций, а также результаты исследований и разработок авторов.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения,

ВЧ – высокие частоты,

ГВЧ – гипервысокие частоты,

ГМП – геомагнитное поле,

ИНЧ – инфранизкие частоты,

КВЧ – крайне высокие частоты,

КНЧ – крайне низкие частоты,

ЛЭП – линия электропередачи,

МП – магнитное поле,

МСП – магнитостатическое поле,

НЧ – низкие частоты,

ОВЧ – очень высокие частоты,

ОНЧ – очень низкие частоты,

ПДУ – предельно допустимый уровень,

ПеМП – переменное магнитное поле,

ПеЭП – переменное электрическое поле,

ПК – персональный компьютер,

ПМП – постоянное магнитное поле,

ППЭ – плотность потока энергии,

ПТО – передающий технический объект,

РЛС – радиолокационная станция,

РТС – радиотрансляционная станция,

РЭС – радиоэлектронная система,

СВН – сверхвысокое напряжение,

СВЧ – сверхвысокие частоты,

СЗЗ – санитарно-защитная зона,

СНЧ – сверхнизкая частота,

СЧ – средние частоты,

СЭ – статическое электричество,

УВН – ультравысокое напряжение,

УВЧ – ультравысокие частоты,

УКВ – ультракороткие волны,

УНЧ – ультранизкие частоты,

ЭДС – электродвижущая сила,

ЭМВ – электромагнитные волны,

ЭМИ – электромагнитное излучение,

ЭМП – электромагнитное поле,

ЭМС – электромагнитная совместимость,

ЭМЭ – электромагнитная экология,

ЭО – электрооборудование,

ЭП – электрическое поле,

ЭСП – электростатическое поле,

ЭЭ – энергетическая экспозиция.

# ГЛАВА 1

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

### 1.1. Векторы электромагнитного поля

ЭМП можно рассматривать как особую форму материи. Оно характеризуется четырьмя векторными величинами:  $\vec{E}$  – напряженностью электрического поля (ЭП);  $\vec{D}$  – электрической индукцией;  $\vec{H}$  – напряженностью магнитного поля (МП);  $\vec{B}$  – магнитной индукцией. Определить ЭМП в некоторой области пространства – значит указать эти векторы в любой ее точке. Таким образом, ЭМП предстает как совокупность ЭП ( $\vec{E}, \vec{D}$ ) и МП ( $\vec{H}, \vec{B}$ ), находящихся во взаимной зависимости. Деление ЭМП на эти две составляющие относительно, оно зависит от условий наблюдения и возможно только при макроскопическом рассмотрении явлений. При движении заряженного тела в окружающем пространстве возникает ЭМП, и неподвижный наблюдатель обнаружит ЭП и МП по механическим силам, действующим на пробный заряд и магнитную стрелку. Однако наблюдатель с пробным зарядом и магнитной стрелкой, движущейся вместе с заряженным телом, не обнаружит отклонения магнитной стрелки, а отметит только воздействие на пробный заряд. Для такого наблюдателя существует только ЭП, а МП отсутствует.

При микроскопическом рассмотрении всегда обнаруживаются обе стороны ЭМП. Например, при рассмотрении неподвижного заряженного тела необходимо учесть также МП движущихся по своим орбитам электронов, из которых складывается общий заряд тела. Однако из-за хаотического расположения этих элементарных токов их МП чрезвычайно быстро убывает с увеличением расстояния от тела. При макроскопическом подходе вокруг неподвижного заряженного тела учитывается только ЭП.

Поскольку можно создать условия, при которых проявляется одна из составляющих ЭМП, возможно и раздельное изучение ЭП и МП. Это соответствует ряду практических задач, когда в электротехническом устройстве представляет интерес определение только одного из полей.

### 1.2. Напряженность и потенциал электрического поля

#### 1.2.1. Напряженность электрического поля

Напряженность ЭП – характеристика векторная, определяемая в каждой точке и величиной, и направлением. Если в ЭП поместить малый положительный заряд, который своим присутствием не вызовет заметного перераспределения зарядов на телах, создающих поле, то отношение силы, действующей на заряд, к величине заряда  $Q$  определяет напряженность поля в данной точке:

$$\vec{E} = \lim_{Q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{Q} \quad (1.1)$$

Таким образом,  $\vec{E}$  – силовая характеристика ЭП, определяемая при условии, что внесенный в данную точку поля заряд не исказил поля, существовавшего до его внесения. Отсюда следует, что сила  $\vec{f}$ , действующая на точечный заряд  $Q$ , внесенный в поле, будет равна

$$\vec{f} = Q \vec{E}, \quad (1.2)$$

где  $E$  – напряженность ЭП в точке расположения заряда, а напряженность численно равна силе, действующей на единичный заряд.

Если использовать закон Кулона, который является исторически первым законом из области электромагнитных явлений и определяет силу  $\vec{f}$  взаимодействия двух точечных электрических зарядов  $Q_1$  и  $Q_2$ , то сила, действующая по прямой  $x$ , соединяющей эти заряды, будет равна

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{x^2}, \quad (1.3)$$

где  $\epsilon$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, то модуль напряженности  $\vec{E}$  в поле точечного заряда можно определить в виде

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon x^2}. \quad (1.4)$$

Поскольку сила, действующая на электрический заряд со стороны ЭП, имеет вполне определенное направление, приходится говорить о направленности свойств этого поля. При этом за направление ЭП в данной точке пространства принимают направление вектора напряженности поля. Более наглядное представление о направленности ЭП можно получить, если, следуя предложению Фарадея, в пространстве наметить ряд линий так, чтобы векторы напряженности в той или иной точке поля были бы касательными к этим линиям (рис. 1.1). Такие линии называют линиями вектора напряженности ЭП, или, короче, электрическими линиями. Электрические линии всегда направлены от положительно заряженных тел к отрицательно заряженным телам.

Совокупность электрических линий принято называть картиной ЭП (рис. 1.1). Если ЭП создается  $n$  зарядами ( $Q_i, i \in [1, n]$ ), то его напряженность равна геометрической сумме напряженностей от каждого из  $n$  зарядов в отдельности:  $\vec{E} = \sum_{i=1}^{i=n} \vec{E}$ , т. е. при расчете ЭП применим метод наложения.

Представим себе ЭП (рис. 2.2), в котором по некоторому пути от точки А до точки В под действием поля движется пробный точечный положительный заряд  $Q$ . Со стороны поля к заряду будет приложена сила  $f$ . Она направлена по касательной к линии движения определяется формулой (1.2).

Работа  $A^*$  на пути от точки А до точки В определится линейным интегралом

$$A^* = \int_A^B Q E \cos \alpha dl = Q \int_A^B E \cos \alpha dl,$$

где  $dl$  – элемент длины пути интегрирования; заряд  $Q$  вынесен за знак интеграла, так как в процессе движения величина заряда не меняется.

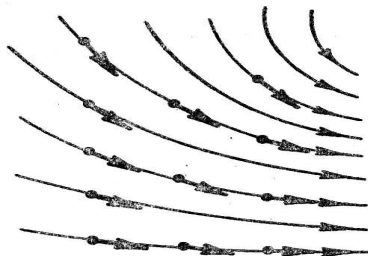


Рис. 1.1. Картина электрического поля

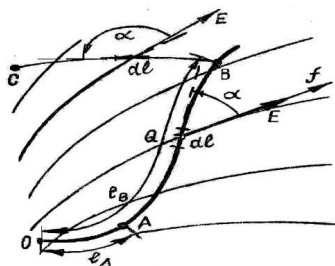


Рис. 1.2. Перемещение точечного заряда в электрическом поле

Таким образом, работа по перемещению заряда равна произведению заряда  $Q$  на линейный интеграл от напряженности поля вдоль пути движения заряда. Этот интеграл, определяющийся характеристиками поля по выбранному пути, получил название электрического напряжения между точками A и B, который обозначается как указано ниже:

$$U_{AB} = \int_A^B E \cos \alpha dl. \quad (1.5)$$

Выражение (1.5) можно записать в векторной форме:

$$U_{AB} = \int_A^B \vec{E} d\vec{l}. \quad (1.6)$$

Напряжение  $U_{AB}$  характеризует собой энергетические возможности поля в данной области пространства. Электрическое напряжение является скалярной величиной и в общем случае может приобретать как положительные, так и отрицательные значения.

Единицей электрического напряжения является вольт (В). Если напряжение между двумя точками поля 1 В, то при перемещении заряда в 1 Кл из одной точки в другую будет совершена работа в 1 Дж.

Нетрудно показать, что электрическое напряжение между точками не зависит от пути его вычисления и определяется только положением начальной и конечной точек.

Для пояснения выберем две произвольные точки  $A$  и  $B$  в поле и рассмотрим два различных пути  $m$  и  $n$  между ними (рис. 1.3). Очевидно, что оба эти пути составляют замкнутый контур  $AmBnA$ , для которого справедливо условие – линейный интеграл вектора напряженности в электростатическом поле по любому замкнутому контуру равен нулю:

$$\oint_{AmBnA} \vec{E} d\vec{l} = 0.$$

Линейный же интеграл вектора напряженности по замкнутому контуру можно разбить на два интеграла по двум его участкам

$$\oint_{AmBnA} \vec{E} d\vec{l} = \int_{AmB} \vec{E} d\vec{l} + \int_{BnA} \vec{E} d\vec{l} = 0.$$

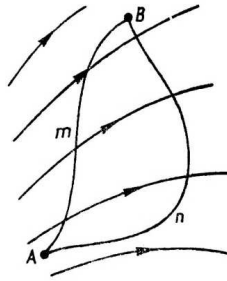


Рис. 1.3. Пути перемещения заряда в электрическом поле

Изменяя направление интегрирования во втором слагаемом на обратное, т. е. вычисляя линейный интеграл по пути  $n$  от  $A$  к  $B$ , получим

$$\int_{AmB} \vec{E} d\vec{l} - \int_{AnB} \vec{E} d\vec{l} = 0,$$

так как перестановка пределов интегрирования приводит к изменению знака интеграла. Отсюда

$$\int_{AmB} \vec{E} d\vec{l} = \int_{AnB} \vec{E} d\vec{l},$$

т. е. оба интеграла и представляемые ими напряжения  $U_{AB}$  между точками  $A$  и  $B$ , вычисленные по разным путям, равны друг другу. Это и является доказательством ранее высказанного тезиса.

## 1.2.2. Потенциал электрического поля

Если в качестве конечной точки при определении напряжения условиться всегда брать фиксированную в пространстве точку  $P$ , которую назовем опорной точкой, то напряжение

$$U_{AP} = \int_A^P \vec{E} d\vec{l}$$

между произвольной точкой  $A$  и опорной точкой  $P$  будет являться функцией положения только точки  $A$ . В этом случае напряжение называют электрическим потенциалом точки  $A$  и обозначают буквой  $\Phi$ :

$$\Phi_A = \int_A^P \vec{E} d\vec{l} = \int_A^P E \cos \alpha dl.$$

По своей физической природе потенциал не отличается от напряжения и потому является также скалярной величиной и измеряется в вольтах.

Если поинтересоваться потенциалом самой точки  $P$ , то придем к выводу:

$$\Phi_P = \int_P^P \vec{E} d\vec{l},$$

что он равен нулю, так как определенный интеграл с одинаковыми нижним и верхним пределами обращается в нуль. Поэтому опорную точку нередко называют точкой нулевого потенциала.

В принципе, за опорную точку можно принять любую точку пространства. Однако в отдельных случаях ее рациональный выбор позволяет упростить расчет потенциалов остальных точек поля. В частности, в теоретических задачах, связанных с полем ограниченной системы заряженных тел, опорную точку часто располагают в бесконечности. В практической электротехнике точку нулевого потенциала обычно связывают с поверхностью земли или основанием электромеханического устройства.

В заключение данного параграфа следует остановиться еще на некоторых важных понятиях в ЭП.

1. Если точка перемещается в ЭП таким образом, что приращение потенциала при перемещении равно нулю, то потенциал всех точек этой линии будет оставаться одним и тем же. Такие линии в ЭП называют линиями равного потенциала, или эквипотенциальными линиями.

2. Если точка перемещается в ЭП по поверхности, проложенной всюду перпендикулярно электрическим линиям, то придем к понятию о поверхностях равного потенциала, или эквипотенциальных поверхностях.

3. Электрические заряды располагаются на проводящих телах в поверхностном слое, все точки которого обладают равным потенциалом. Внутри заряженного тела ЭП отсутствует.

4. ЭП, позволяющее ввести понятие потенциала как однозначной функции координат точки поля, принято называть потенциальным полем.

### 1.2.3. Примеры расчёта

1.1. **Потенциал поля точечного заряда.** Рассчитаем потенциал в произвольной точке  $A$  поля точечного заряда  $Q$  (рис. 2.4), полагая, что точка  $P$  нулевого потенциала удалена в бесконечность:



$$\varphi_A = \int_A^P \vec{E} d\vec{l} = \int_A^P E \cos \alpha dl.$$

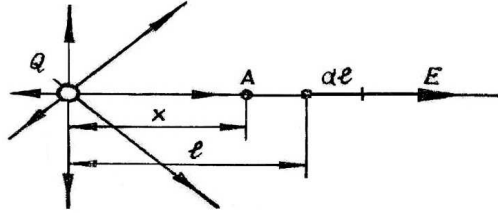


Рис. 1.4. Точечный заряд в электрическом поле

Проинтегрируем напряженность от точки  $A$  с координатой  $x$  до бесконечности непосредственно по электрической линии, проходящей через интересующую нас точку. В этом случае угол  $\alpha$  на всем пути интегрирования равен нулю, а  $\cos \alpha = 1$ . Поэтому, определяя положение произвольной точки на пути интегрирования расстоянием  $l$  до заряда и учитывая выражение для напряженности поля точечного заряда

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon l^2},$$

для потенциала получим

$$\varphi_A = \int_x^\infty E dl = \int_x^\infty \frac{Q}{4\pi\epsilon l^2} dl = -\frac{Q}{4\pi\epsilon l} \Big|_x^\infty = \frac{Q}{4\pi\epsilon x}.$$

Таким образом, потенциал в произвольной точке поля точечного заряда убывает по мере удаления от заряда обратно пропорционально расстоянию от точки до заряда, стремясь к нулю в бесконечности. При  $x=0$  потенциал обращается в бесконечность, однако этот результат следует рассматривать как математическую абстракцию, поскольку в действительности всякий заряд занимает определенный объем и точечных зарядов реально не существует.

**1.2. Потенциал ЭП диполя.** Под диполем понимается система из двух зарядов  $Q_1$  и  $Q_2$ , равных по величине и противоположных по знаку ( $Q_1 = -Q_2 = Q$ ), размещающихся на некотором расстоянии  $d$  друг от друга. Потенциал ЭП, окружающего диполь (рис. 1.5), в произвольной точке  $A$  пространства можно найти наложением потенциалов от каждого из зарядов:

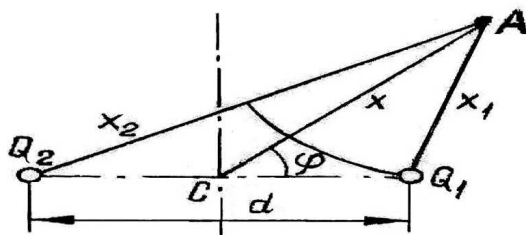


Рис. 1.5. Диполь в электрическом поле

$$\varphi_A = \varphi_{A1} + \varphi_{A2} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon x_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon x_2}$$

или

$$\varphi_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \frac{x_2 - x_1}{x_1 x_2}$$

Переходя к определению положения точки  $A$  полярными координатами  $x$  и  $\varphi$  относительно центра  $C$  диполя и его оси, приходим к заключению, что при значительном удалении от диполя справедливы следующие приближенные равенства:  $x_1 x_2 \approx x^2$ ,  $x_2 - x_1 \approx d \cos \varphi$ , откуда для потенциала имеем

$$\varphi_A = \frac{Qd}{4\pi\epsilon x^2} \cos \varphi.$$

Таким образом, потенциал поля диполя убывает при удалении от него с квадратом расстояния.

### 1.3. Магнитная индукция и магнитный поток

#### 1.3.1. Магнитная индукция

Согласно современным научным представлениям об электромагнитных явлениях, МП неразрывно связано с электрическим током: МП не может существовать без тока, и нельзя себе представить электрический ток без МП. Даже в случае, когда речь идет о МП постоянного магнита, мы связываем это поле с молекулярными токами в теле магнита.

Если в пространстве, где существует МП, поместить магнитную стрелку, то она стремится занять вполне определенное положение, что свидетельствует о направленности свойств МП. Условились направлением МП в данной точке пространства считать направление, в котором устанавливается ось свободно подвешенной бесконечно малой магнитной стрелки, центр которой совмещен с этой точкой пространства. При этом из двух возможных направлений вдоль оси стрелки МП условно приписывают направление от южного конца стрелки к северному.

Более наглядное представление о направленности МП можно получить, если в пространстве провести ряд линий, по отношению к которым оси всех магнитных стрелок являлись бы касательными. Такие линии получили название магнитных линий.

Совокупность магнитных линий принято называть картиной МП. Для примера на рис. 1.6 приведены плоскостные картины МП постоянного магнита в форме параллелепипеда (рис. 1.6,а), МП тока в прямом проводе круглого сечения (рис. 1.6,б), МП соленоида (рис. 1.6,в) и МП обмоток возбуждения электрической машины постоянного тока (рис. 1.6,г).

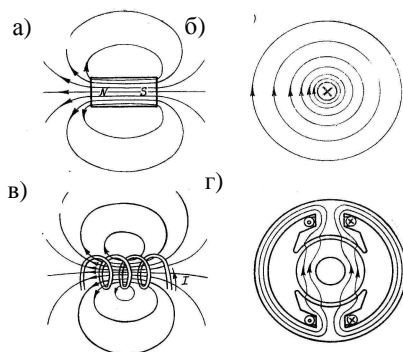


Рис. 1.6. Картины МП постоянного магнита

Направление МП, созданного током, зависит от направления тока в проводах. Это направление принято определять по правилу правого винта. В электротехнике это правило применяют в двух вариантах в зависимости от того, идет ли речь о поле, созданном током в отрезке провода или током, замыкающимся в витке, в частности протекающим по обмотке индуктивной катушки.

В первом случае, обращаясь к МП проводника с током (рис. 1.7), винт с правой нарезкой мысленно располагают так, чтобы его ось оказалась совмещенной с осью провода, по которому течет ток. Если вращать винт в направлении магнитных линий, то направление его поступательного перемещения будет соответствовать направлению тока в проводе.

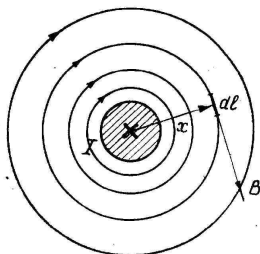


Рис. 1.7. Расположение магнитных линий у прямолинейного проводника с током

Во втором случае, когда МП образовано индуктивной катушкой (рис. 1.8,а) или витком с током (рис. 1.8,б), ось винта следует совместить с осью витка или катушки. Тогда при вращении винта в направлении движения тока в витке или по обмотке катушки поступательное перемещение винта укажет направление МП сквозь рассматриваемые виток или катушку.

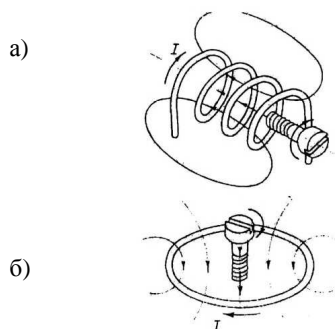


Рис. 1.8. Расположение магнитных линий у индукционной катушки

МП, помимо направления, характеризуется еще и интенсивностью. Рассмотрим, для примера, воздействие МП на небольшой плоский контур с электрическим током. Такой контур будет стремиться занять в пространстве определенное положение, при котором нормаль к плоскости контура совпадает с направлением МП в одной из точек плоскости, ограниченной этим контуром. При выведении контура из указанного положения на него начинает действовать момент, стремящийся вернуть контур в первоначальное положение. Величина момента пропорциональна току  $I$  контура, его площади  $S$  и синусу угла  $\beta$ , составляемого нормалью к плоскости контура и направлением МП в одной из ее точек (рис. 1.9).

Таким образом, обозначая коэффициент пропорциональности буквой  $B$ , для момента  $m$ , действующего на отклоненный контур, можно написать:

$$m = BIS \sin \beta.$$

Если беспрестанно уменьшать площадь контура, стягивая его в точку, придем к выражению для бесконечно малого момента  $dm$ , действующего на контур бесконечно малой площади  $ds$ :

$$dm = BI \sin \beta ds, \quad (1.7)$$

где угол  $\beta$  приобретает определенный смысл угла между нормалью к плоскости бесконечно малого контура и направлением МП в точке пространства, где расположен бесконечно малый контур.

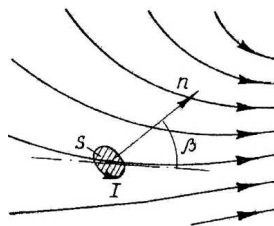


Рис. 1.9. Воздействие магнитного поля на плоский контур с током

В этих условиях коэффициент  $B$  принимают за характеристику интенсивности МП в данной точке пространства и называют индукцией МП.

Магнитную индукцию рассматривают как векторную величину, совмещающую направление вектора магнитной индукции с направлением МП в данной точке пространства.

МП, характеризующееся в некоторой области пространства неизменным значением вектора магнитной индукции, называют равномерным МП. Магнитная индукция в международной системе (СИ) измеряется в единицах тесла (Тл). Магнитная индукция равномерного МП равна 1 Тл, если она воздействует на плоский электрический контур с площадью  $S = 1 \text{ м}^2$  и током  $I = 1 \text{ А}$ , расположенный так, что магнитные линии лежат в плоскости контура ( $\beta = 0,5\pi, \sin \beta = 1$ ), с моментом  $m = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Область пространства, с каждой точкой которого связан определенный вектор, принято называть полем данного вектора. Для наглядного представления векторного поля широко используют понятия линий и трубок данного вектора. При этом под линией вектора понимают линию, проведенную в поле так, что в любой ее точке вектор направлен по касательной линии. Тружкой вектора называют трубчатую область пространства, ограниченную совокупностью прилегающих друг к другу линий данного вектора, проведенных через замкнутый контур.

К упомянутому математическому представлению о векторном поле часто прибегают при описании различных физических полей. В частности, при описании МП обращаются к полю вектора магнитной индукции, определяя в нем линии и трубки вектора магнитной индукции.

Область пространства, с каждой точкой которого связан определенный вектор, принято называть полем данного вектора. Для наглядного представления векторного поля широко используют понятия линий и трубок данного вектора. При этом под линией вектора понимают линию, проведенную в поле так, что в любой ее точке вектор направлен по касательной линии. Тружкой вектора называют трубчатую область пространства, ограниченную совокупностью прилегающих друг к другу линий данного вектора, проведенных через замкнутый контур.

К упомянутому математическому представлению о векторном поле часто прибегают при описании различных физических полей. В частности, при опи-

сании МП обращаются к полю вектора магнитной индукции, определяя в нем линии и трубки вектора магнитной индукции.

### 1.3.2. Магнитный поток

При исследовании магнитных явлений важную роль играет поток вектора магнитной индукции, или сокращенно магнитный поток.

Пусть в МП дана бесконечно малая поверхность  $ds$  (рис. 1.10), положение которой в пространстве определим относительно МП углом  $\beta$  между нормалью к этой поверхности и вектором  $\vec{B}$  магнитной индукции в центре этой поверхности. Спроектируем вектор магнитной индукции на направление нормали  $n$  к поверхности  $ds$ . Произведение этой проекции  $B_n = B \cos \beta$  на площадь  $ds$  поверхности  $d\Phi = B_n ds = B \cos \beta ds$  получило название магнитного потока сквозь бесконечно малую площадку  $ds$ .

Пользуясь известным из математики представлением плоской поверхности в виде вектора, величина которого равна площади этой поверхности, а направление совпадает с направлением нормали к ней, и вспоминая о скалярном произведении двух векторов как произведении величин этих векторов на косинус угла между ними, можно магнитный поток записать в векторной форме:

$$d\Phi = \vec{B} d\vec{s}.$$

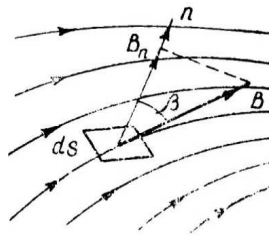


Рис. 1.10. Прохождение магнитного поля через малую поверхность

Для представления магнитного потока сквозь поверхность  $S$  конечных размеров (рис. 1.11) разобьем эту поверхность на элементарные поверхности  $ds$  и определим бесконечно малые магнитные потоки  $d\Phi$  сквозь каждую такую поверхность.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)