

УДК 537.8+551

О.Ф. Лапаник

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Рассматриваются вопросы оценки магнитных характеристик магнитного поля различных объектов, горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в процессе обучения курсантов мореходных специальностей в лаборатории кафедры физики.

Ключевые слова: силовые характеристики магнитного поля, экспериментальный и теоретический методы исследования.

O.F. Lapanik

PHYSICAL METHODS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION ASSESSMENT WITH THE HELP OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

The questions of magnetic fields' magnetic characteristics of different objects, horizontal component of the Earth's magnetic field assessment in the process of sea navigation students' teachings in the physics department laboratory are examined in this article.

Key words: power characteristics of the magnetic field, experimental and theoretical methods of investigation.

Введение

Состояние окружающей среды по многим показателям влияет на все биологические объекты и в первую очередь на человека. Одним из факторов негативного воздействия на человека является уровень электромагнитного излучения (ЭМИ), создаваемого различными источниками. К мощным источникам электромагнитных полей относятся линии электропередачи, стационарные электростанции и т.д. Земля является также источником электромагнитных полей, создает фоновое электромагнитное излучение. Лабораторным путем можно оценить силовую характеристику магнитного поля Земли.

Магнитное поле Земли указывает на наличие электрических токов в ее недрах. Установлено, что ядро Земли обладает высокой электропроводностью. За счет высокой температуры и наличия градиента температур имеет место перемещение вещества. Вращательное движение Земли вокруг оси также вовлекает во вращение внутреннюю часть вещества, уподобляя Землю круговому току. Таким образом, в земном ядре работает своеобразный динамомеханизм, благодаря которому Земля представляет собой огромный магнит.

Магнитное поле Земли согласно теории гидромагнитного динамо генерируется в результате конвекции электропроводящего вещества в жидкой внешней оболочке ядра. Постоянная составляющая магнитного поля близка к полю диполя. Дипольный магнитный момент Земли равен $8,3 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$. На магнитных полюсах значение напряженности магнитного поля Земли составляет 55,7 А/м, а на магнитном экваторе – 33,4 А/м. [1].

Устройства, генерирующие, передающие и использующие электрическую энергию, создают в окружающей среде электромагнитные поля (ЭМП). ЭМП распространяются в окружающей среде со скоростью, приближающейся к скорости света, и характеризуется напряженностью электрической и магнитной составляющих поля.

Индикаторами электромагнитного излучения являются:

1. Напряженность электрической составляющей (В/м). Эта характеристика служит для оценки интенсивности ЭМП в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц;

2. Плотность потока энергии ($\text{Вт}/\text{м}^2$) – количество энергии, переносимой магнитной волной в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны. Эта величина служит для оценки интенсивности ЭМП в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц.

Объекты и методы исследований

Для курсантов-судоводителей Мореходного института на кафедре физики предоставляется возможность дать оценку характеристикам магнитного поля Земли в рамках лабораторного практикума. Лабораторный исследовательский комплекс ЛКЭ-1 является многофункциональной системой, в которую входят электроизмерительные приборы и катушки различной формы, пропускающие переменный электрический ток, создающий магнитное поле.

В лаборатории электромагнетизма кафедры «Физика» предложены работы по оценке характеристик магнитного поля Земли. Основные методы исследования – это теоретический и экспериментальный. Экспериментальный метод основан на определении магнитной индукции с помощью многофункционального лабораторного комплекса ЛКЭ-1, содержащего соленоид, тороид и прямолинейные проводники, через которые пропускают переменный ток порядка 0,1 мА [2, 3].

Теоретический метод позволяет определять магнитную индукцию поля при измерении ЭДС индукции с помощью осциллографа. В основе него лежит закон Фарадея, согласно которому можно определить ЭДС, возникающую в замкнутом проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле [4]:

$$\varepsilon_i = k \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Если в магнитном поле находится катушка, имеющая N витков, площадью S , то полный поток через нее равен $\Phi = B S N \cos \alpha$

Если поместить катушку в переменное магнитное поле, возникает ЭДС индукции и зависимость магнитного потока от времени приобретает пилообразную форму (рис. 1).

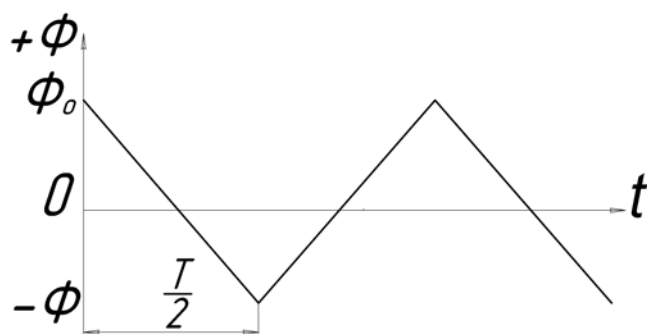


Рис. 1. График зависимости магнитного потока от времени
Fig. 1. The magnetic field of time dependence chart

По графику определяется, что за время $\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2\nu}$ (1) магнитный поток изменяется на величину $\Delta\Phi = -\Phi_0 - \Phi_0 = -2\Phi_0$ (2). Применяв закон Фарадея и формулы (1) и (2), получаем $|E_i| = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 4BNS\nu$, где N – число витков в катушке; B – магнитная индукция; S – площадь витка катушки; ν – частота колебаний магнитного потока. Так как U_y является

амплитудным значением ЭДС за время, равное половине периода, то действующее значение ЭДС равно $|E_i| = \frac{U_y}{\sqrt{2}}$, поэтому $U_y = |E_i| \sqrt{2} = 4 \sqrt{2} B N S \nu$.

Таким образом, зная число витков в катушке, площадь витка катушки и частоту колебаний и измерив амплитудное значение напряжения, можно определить величину магнитной индукции для экспериментальной оценки в лабораторной работе.

$$B_{0\text{экс}} = \frac{U_y}{4\sqrt{2} \cdot N \cdot S \cdot \nu}.$$

Экспериментальный метод оценки магнитной составляющей поля Земли. С помощью силовых линий можно представить общий вид постоянной составляющей магнитного поля Земли. На эту составляющую магнитного поля Земли накладываются магнитные поля других источников, которые видоизменяют характер магнитного поля. Наиболее существенными являются магнитные поля материков и локальных магнитных аномалий за счет высокого содержания магнетиков, ионосферы, а также токов в верхних слоях атмосферы, обусловленных потоками заряженных космических частиц.

Пульсацию магнитного поля Земли вызывает изменение активности Солнца, приводящего к «магнитным бурям». Магнитная ось образует с географической осью угол 11° .

В картографии, геодезии, навигации принято величину магнитного поля на поверхности Земли характеризовать вектором напряженности магнитного поля \vec{H} , которая связана с вектором магнитной индукции \vec{B} соотношением $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}$.

Вектор \vec{H} напряженности магнитного поля можно разложить на две составляющие: горизонтальную \vec{H}_2 и вертикальную \vec{H}_v . Направление полного вектора \vec{H} и горизонтальной составляющей \vec{H}_2 образует угол α (рис. 2).

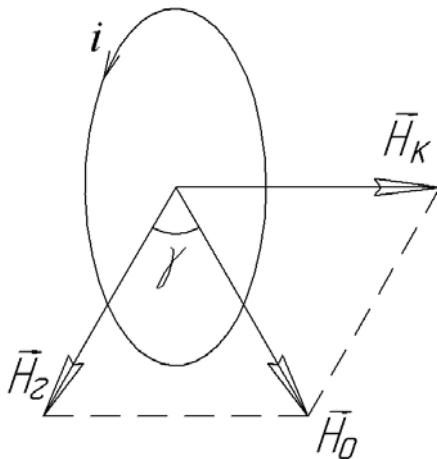


Рис. 2. Составляющие магнитного поля катушки
Fig. 2. The component coil of the magnetic field

На магнитную стрелку компаса действует только горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли \vec{H}_2 , поэтому знание этой величины имеет важное практическое значение. Используя магнитное поле катушки с током напряженностью \vec{H}_k и магнитную стрелку, можно определить горизонтальную составляющую Земли \vec{H}_2 по принципу суперпозиции полей:

$$\vec{H}_0 = \vec{H}_z + \vec{H}_k.$$

Расположив катушку так, чтобы $\vec{H}_k \perp \vec{H}_z$, получим $H_z = H_k \operatorname{ctg} \alpha$. Величину напряженности магнитного поля катушки H_k можно рассчитать, зная число витков в катушке N , радиус витка r и силу тока i , по формуле

$$H_k = \frac{Ni}{2r}.$$

Тогда горизонтальную составляющую магнитного поля Земли определяют по формуле

$$H_z = \frac{Ni}{2r} \operatorname{ctg} \alpha.$$

Экспериментальная установка собирается на базе приборов комплекса ЛКЭ-1, основным элементом которого является тангенс-буссоль. При пропускании тока от генератора по виткам соленоида создается магнитное поле, регистрируемое компасом внутри катушки. Величина тока регистрируется с помощью мультиметра. Добавочное сопротивление служит ограничителем тока. Изменение направления магнитного поля тангенс-буссоли происходит при изменении тока на генераторе.

Результаты исследования

В результате лабораторных исследований курсанты-судоводители научились экспериментально определять магнитную составляющую поля Земли на географической широте Владивостока. Значение горизонтальной составляющей напряженности поля получилось порядка 18 А/м и относительной погрешности 1,5 %.

Особое внимание при выполнении лабораторной работы уделяется теоретическому обоснованию используемых экспериментальных методов, вопросам статистической обработки результатов измерений и оценки их погрешностей.

Таким образом, физические методы исследования позволяют курсантам познакомиться с основными характеристиками магнитного поля Земли, а также оценить их численное значение. Результаты измерения напряженности магнитного поля Земли соответствуют норме и показывают возможность нахождения курсантов в зоне исследования.

Список литературы

1. Бурундуков А.С. Концептуальные структуры знания: в 3 ч. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. – Ч. 1. – 466 с.
2. Кокотов С.И., Кучеренко Л.В., Яковенко Л.М. Электромагнетизм. Магнитное поле в вакууме и веществе. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 1998. – 45 с.
3. Лапаник О.Ф. Электростатика. Постоянный ток: учеб.-метод. пособие для практических занятий студентов всех специальностей. – Владивосток, 2001. – 25 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2007. – 558 с.

Сведения об авторе: Лапаник Ольга Федоровна, кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: lapanikof@rambler.ru.