

Valeriy P. Dudarev,
Chief engeneer,
Bryansk Electromechanical Plant

Special Case of Magnetic Fields Interactions

Key words: *the Newton's third law; Ampere's force; medium with non-isotropic properties; ferromagnetic material; a protective screen.*

Annotation: *this paper presents impact of geomagnetic fields formed by polarized electromagnet magnetizing winding which creates a geomagnetic field in magnet core, the activity of which is described by the parameters of the general magnetic circuit and the right angled diamagnetic isolated plane with good conductivity positioned on one of the area of this magnetic circuit in which current flows. The magnetic circuit area seated close to the right angled plane is made of fine sheet ferromagnetic material, between planes of which the fine sheets of non-ferromagnetic liners are laid. Besides that, thanks to the existing structural scheme the right angled plane magnetic circuit impact capability on electromagnet magnetizing winding and of counteractive force generation in it is maximally limited. Electromagnet geomagnetic field creates Ampere force in the right angled plane. The same equivalent and opposite in direction Ampere force in electromagnet magnetizing winding will not be brought. Thus, mechanic conception of Newton third law for heterogenic and isotropic mediums will not be fulfilled for this special case of geomagnetic fields' interaction.*

Третий закон Ньютона утверждает, что силы с которыми две материальные точки действуют друг на друга направлены по прямой, соединяющей точки, равны по модулю и противоположны по направлению. Кроме принципа дальнегодействия необходимо чтобы среда в которой происходят взаимодействия была однородной, изотропной и симметричной. Однако в действительности нет материальных точек в пустоте, и среда в которой происходят взаимодействия не всегда удовлетворяет указанным выше свойствам. Чтобы материальные точки участвовали во взаимодействии, необходимо снабдить их массой и электрическими зарядами, которые будут характеризовать их определёнными скалярными величинами: массой m и зарядом g . В рамках механической концепции третьего закона Ньютона укладываются все известные взаимодействия в классической механике и гравитационные взаимодействия. Но механическая концепция взаимодействий не может претендовать на охват всех проявлений физического мира, так как существенный её пробел состоит в том, что в ней наряду с материальными телами отсутствует понятие материальных полей, взаимодействующих с телами. Механическая модель материальных объектов — система точек и взаимодействия между ними может применяться тогда, когда материальное поле передающее взаимодействие можно не учитывать, заменяя его

силовым. Однако это не всегда может быть выполнено. Если в простейших случаях взаимодействия магнитных полей, например при взаимодействии двух проводников по которым течёт электрический ток, находящихся в однородной и изотропной среде или в вакууме это условие выполняется, то для более сложных случаев оно может и не выполняться.

Рассмотрим случай, когда имеется изолированный прямоугольный проводник 3, по которому течёт постоянный ток $J_{пр}$. Проводник выполнен из диамагнитного материала с хорошей проводимостью. Он находится в зазоре одного из участков магнитопровода электромагнита, вплотную прилегающего к его изоляции. Вплотную к прямоугольному проводнику 3 сверху и снизу прилегают диамагнитные прокладки служащая для уменьшения рассеивания магнитного поля проходящего через материал прямоугольного проводника и для ослабления величины напряжённости его магнитного поля. На одном из участков магнитопровода 2 намотана намагничивающая обмотка электромагнита 1, служащая для создания в нём магнитного поля. В обмотке электромагнита w витков и по ним течёт ток $J_{об}$. Считаем, что зазор между соприкасающимися частями участков магнитопровода электромагнита и изоляции прямоугольной пластины отсутствует.

Рассмотрим обобщённую магнитную цепь, где выделены участки: участок 1 (L_1, S_1) магнитопровода; участок 2 (L_2, S_2) - магнитопровода; участок 3 (L_3, S_3) - магнитопровода; участок 4 (L_4, S_4), длина которого равна толщине прямоугольного проводника. Обозначим средние значения магнитной индукции и напряжённости магнитного поля на отдельных участках магнитопроводов и в прямоугольном проводнике соответственно: на участке 1 – H_1 и B_1 ; на участке 2 - H_2 и B_2 ; на участке 3 - H_3 и B_3 ; на участке 4 – H_4 и B_4 . Магнитными полями рассеяния пренебрегаем, поэтому

$$B_1 \times S_1 = B_2 \times S_2 = B_3 \times S_3 = B_4 \times S_4 = \Phi$$

По закону полного тока для контура средней силовой линии имеем:

$$H_1 \times L_1 + 2H_2 \times L_2 + 2H_3 \times L_3 + H_4 \times L_4 = \omega \times I_{об}$$

Так как $H=B/\mu$, то уравнение можно записать в виде:

$$(B_1 \times L_1 + 2 \times B_2 \times L_2 + 2 \times B_3 \times L_3) \times k_1 / \mu_1 + B_4 \times L_4 / \mu_2 = \omega \times I_{об}$$

где:

μ_1 - магнитная проницаемость материала стали участков 1, 2, 3;

μ_2 - магнитная проницаемость материала на участке 4;

k_1 - коэффициент заполнения стали на участке 1, 2, 3;

S_1 – площадь поперечного сечения участка 1;

S_2 - площадь поперечного сечения участка 2;

S_3 – площадь поперечного сечения участка 3;

S_4 – площадь поперечного сечения участка 4;

B_1 – магнитная индукция на участке 1;

B_2 - магнитная индукция на участке 2;

B_3 – магнитная индукция на участке 3;

B_4 – магнитная индукция в прямоугольном проводнике;

w- число витков намагничивающей обмотки;

$I_{об}$. - сила тока в намагничивающей обмотке.

Отсюда можно найти величину индукции действующей на прямоугольный проводник 1:

$$B_4 = (\omega \times I_{об} - (N_1 \times L_1 + 2 \times N_2 \times L_2 + 2 \times N_3 \times L_3) \times k_1) \times \mu_2 / L_4$$

Сила Ампера возникающая при этом в прямоугольном проводнике будет равна:

- $F = B_4 \times I_{пр.} \times L$, где:

F - сила Ампера в прямоугольном проводнике,

B_4 – магнитная индукция в прямоугольном проводнике,

$I_{пр.}$ – сила тока в прямоугольном проводнике.

L - длина участка прямоугольного проводника находящегося в магнитном поле.

Прямоугольный проводник сам создаёт магнитное поле, поскольку по нему течёт электрический ток. Векторы напряжённости и индукции этого магнитного поля будут иметь вид замкнутых концентрических относительно проводника овальных фигур. С удалением от прямоугольного проводника магнитное поле будет искажаться, и принимать вид всё более отличающийся от овальных фигур, пока не станет замыкаться через магнитопровод электромагнита как показано на рисунке. Величина магнитной индукции будет определяться законом Био - Савара - Лапласа, имеющего в скалярной форме вид:

$$dB = (\mu \times I \times \sin \alpha) / 4\pi r^2, \text{ где:}$$

μ – абсолютная магнитная проницаемость, в общем случае её следует понимать как тензор μ_{ij} . Так как математическое выражение для точного описания поведения магнитного поля в существующей среде создаваемого прямоугольной пластиной имеет сложный характер, то можно воспользоваться более простым выражением для описания его поведения. Такой формулой будет являться формула выражающая закон полного тока:

$$\oint H dl = \sum I$$

Циркуляция вектора напряжённости магнитного поля по замкнутому контуру равна сумме токов охватываемых этим контуром. Поток магнитной индукции Φ , описываемый вектором магнитной напряжённости H и величиной индукции B , будет выбирать себе путь с наименьшими энергетическими потерями потенциала, поэтому будет распространяться не через воздушную среду, а через магнитопровод электромагнита, не оказывая влияния на саму обмотку электромагнита 1, следовательно в ней не возникает сила Ампера. Сравнивая результаты расчётов возможных путей распространения вектора магнитной напряжённости H можно в этом убедиться. Поэтому сила Ампера возникающая в прямоугольном проводнике от воздействия на него электромагнита 1 не будет уравниваться другой силой такой же природы, равной по модулю и противоположной по направлению.

Вывод: в приведённом случае взаимодействия магнитных полей, создаваемых катушкой электромагнита и прямоугольным проводником по которому течёт ток, механическая концепция третьего закона Ньютона не выполняется.

References:

1. *Govorkov VA. Electric and magnetic fields. Moscow, Energy, 1988.*
2. *Electrical Engineering: ed. VG. Gerasimov. Moscow, High School, 1983.*