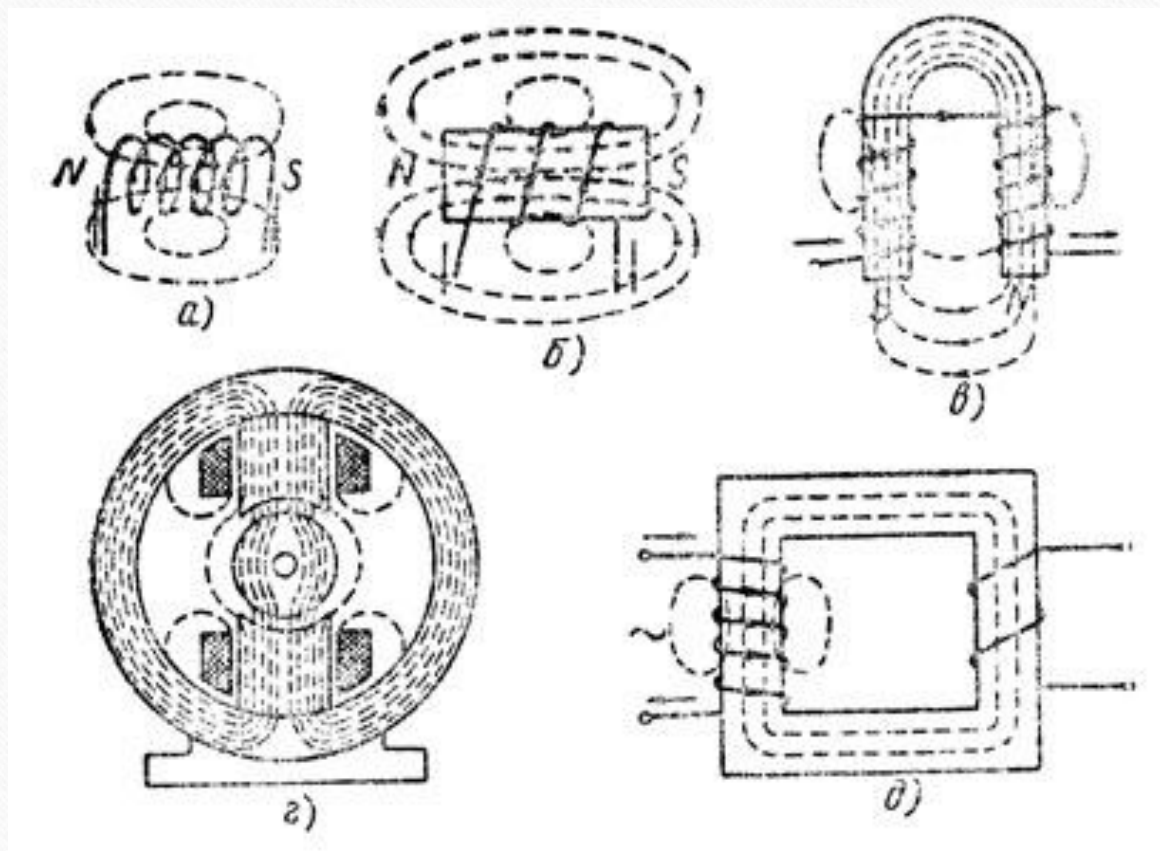


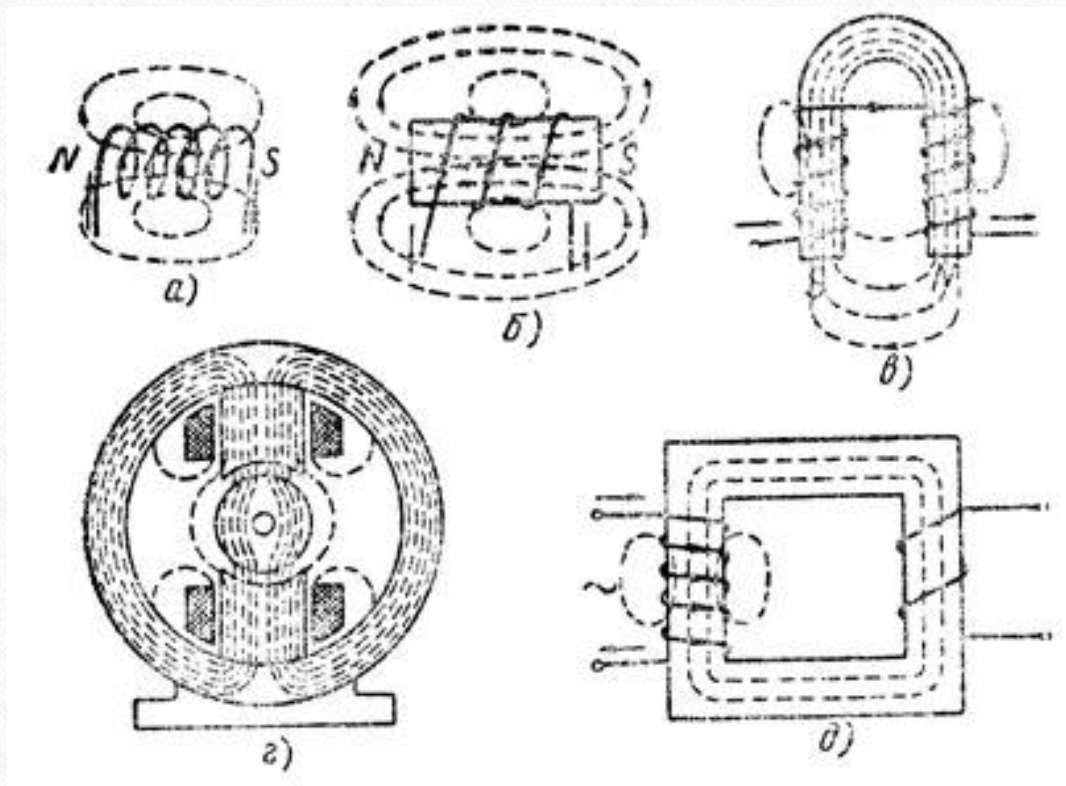
Магнитные цепи и их расчет



Магнитной цепью называется путь, по которому замыкается магнитный поток.

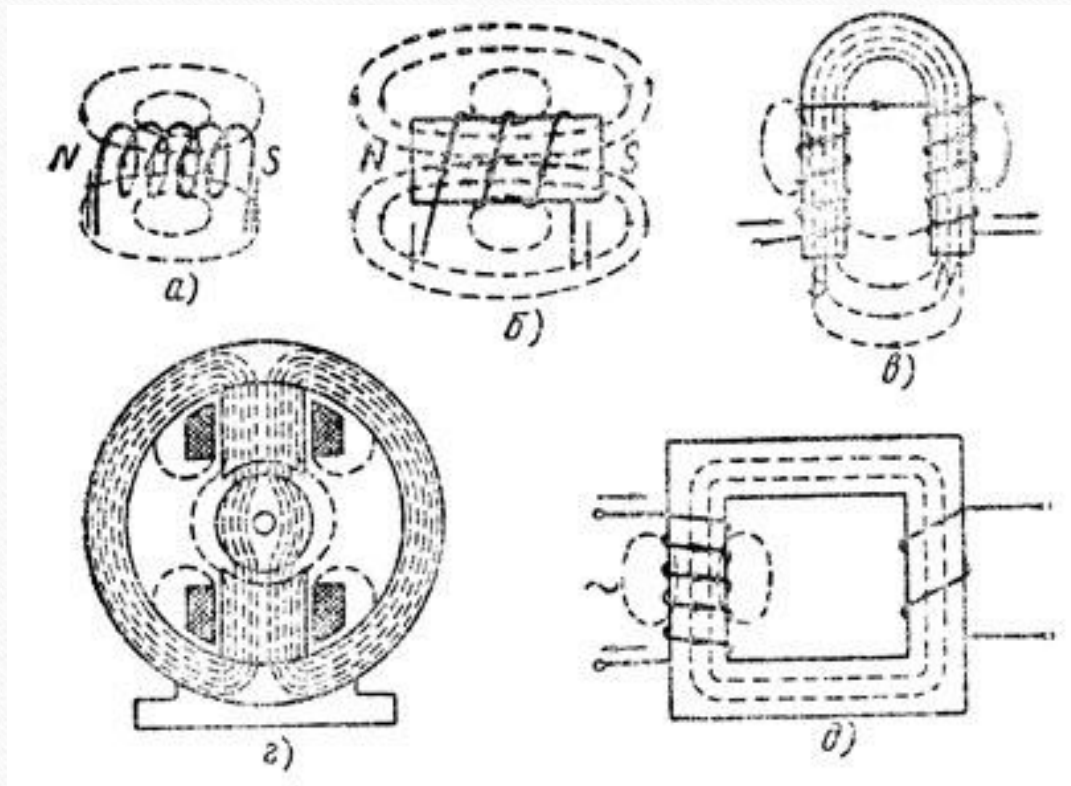
На рис. а показан соленоид. Магнитная цепь здесь проходит через воздух.

Магнитное сопротивление воздуха очень велико, поэтому даже при большой намагничивающей силе магнитный поток мал.

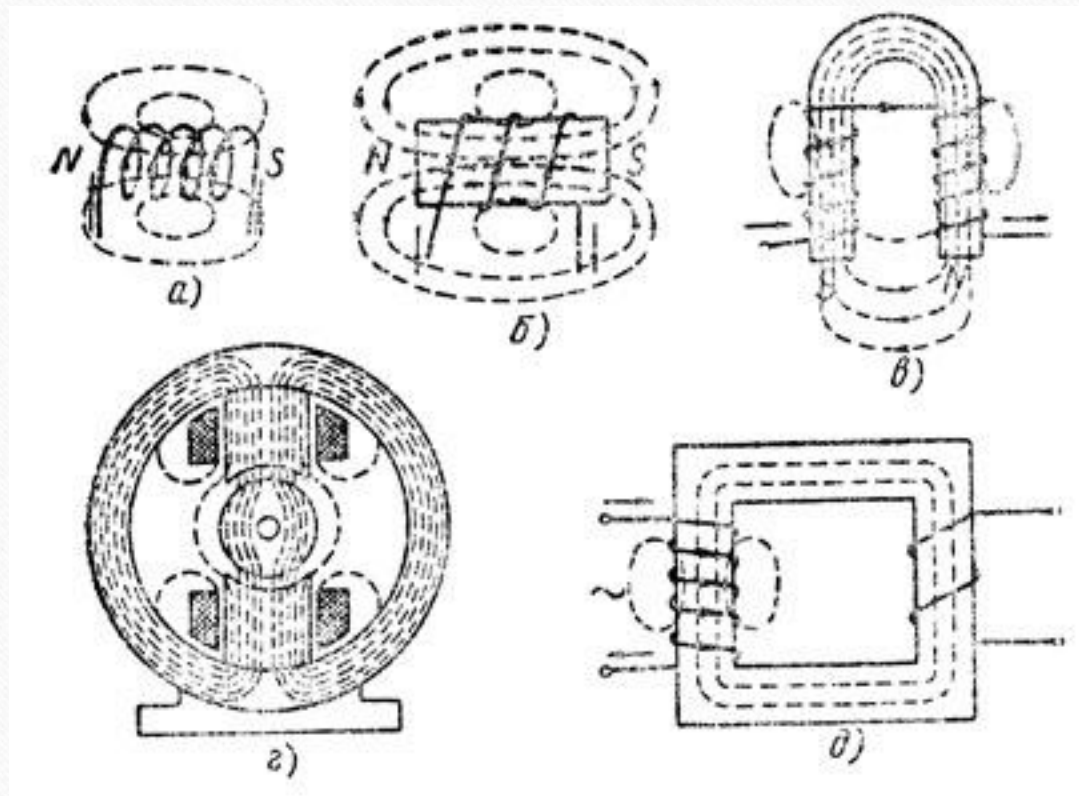


Для увеличения магнитного потока в состав магнитной цепи вводят ферромагнитные материалы (обычно литая или электротехническая сталь), имеющие меньшее магнитное сопротивление. Устройство, выполненное из ферромагнитных материалов, в котором замыкается магнитный поток, называется магнитопроводом, или сердечником.

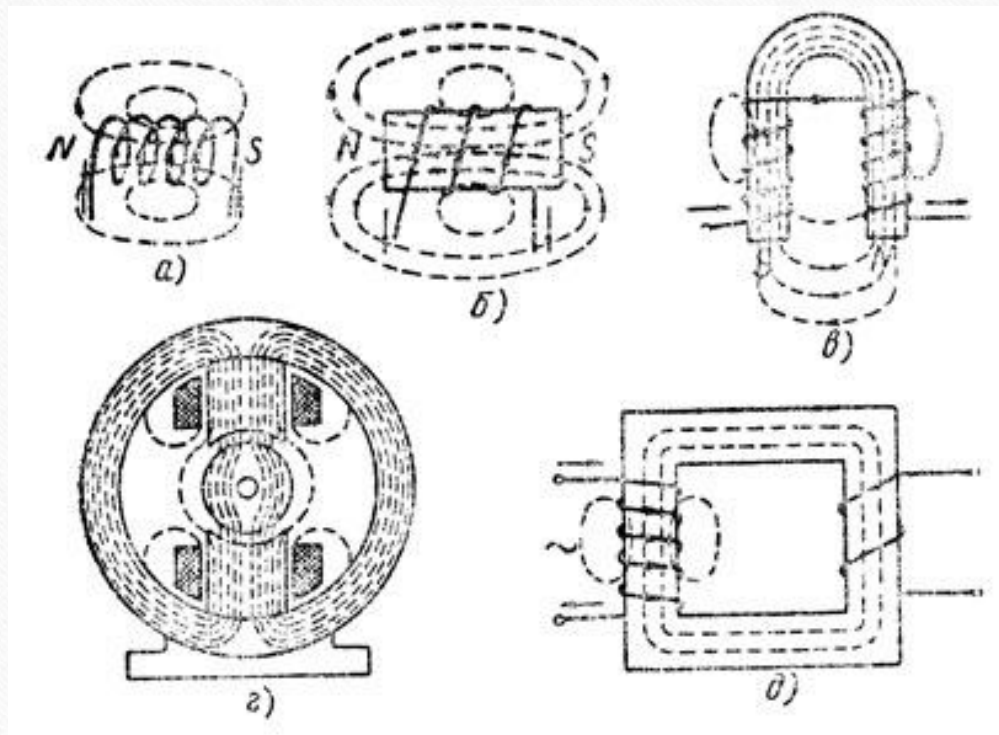
На рис. б представлен прямой электромагнит с разомкнутым сердечником. Магнитные линии только небольшую часть своего пути проходят по стальному сердечнику, большую же часть своего пути они проходят по воздуху. Полюсы электромагнита можно определить при помощи "правила буравчика".



Подковообразный
электромагнит,
изображенный на рис. в,
представляет магнитную
цепь с лучшими условиями
для прохождения
магнитного потока. При
такой конструкции поток Φ
большую часть пути
проходит по стали и
меньшую часть от полюса
N до полюса S по воздуху.



На рис. г представлена конструкция магнитной цепи, применяемая в электромашиностроении и приборостроении. Между полюсами электромагнита помещается стальной якорь. Большую часть своего пути магнитные линии проходят по стали и только очень малую часть (от нескольких долей миллиметра до 2-3 мм) проходят по двум воздушным промежуткам.



Трансформаторы имеют замкнутый стальной сердечник. Сердечники трансформаторов собирают из нескольких частей, но во время сборки принимают меры к тому, чтобы воздушные зазоры между отдельными частями практически были равны нулю.

До сих пор мы не говорили о том, что магнитный поток, созданный намагничивающей силой, не весь замыкается по тому пути, который ему предназначен. Помимо рабочего магнитного потока, существует магнитный поток рассеяния, который замыкается по воздуху вне того места, где используется рабочий поток. На рис. б, в, г, д показан также поток рассеяния.

Таким образом, общий магнитный поток, который должна создать обмотка возбуждения электромагнита, равен сумме рабочего потока и потока рассеяния.

Расчет магнитной цепи, казалось бы, можно производить по формуле

$$\Phi = \frac{I \cdot w}{\Gamma_{\text{ср}} / \mu a S}$$

Но если вспомнить, что относительная магнитная проницаемость μ для ферромагнитных тел непостоянна и зависит от многих причин, то становится ясно, что этой формулой можно пользоваться лишь в том случае, когда в состав магнитной цепи входят только немагнитные тела (в том числе и воздух), для которых μ есть заранее заданная постоянная величина.

На практике для расчета магнитных цепей предпочитают пользоваться графическими методами решения.

Расчет магнитной цепи производят в следующем порядке. Задаются необходимой величиной магнитного потока. Разбивают магнитную цепь на участки, имеющие одинаковые поперечные сечения и однородный материал, и для каждого участка определяют величину магнитной индукции по формуле

$$B = \Phi / S.$$

Затем по кривым намагничивания для данного материала находят для каждого значения магнитной индукции величину H . Если в магнитной цепи встречаются воздушные зазоры, зависимость между B_0 и H_0 определяется по формуле

$$H_0 = B_0 / \mu_0 = B_0 \cdot 10^7 / 4\pi = 80 \cdot 10^4 B_0 \text{ а/м}.$$

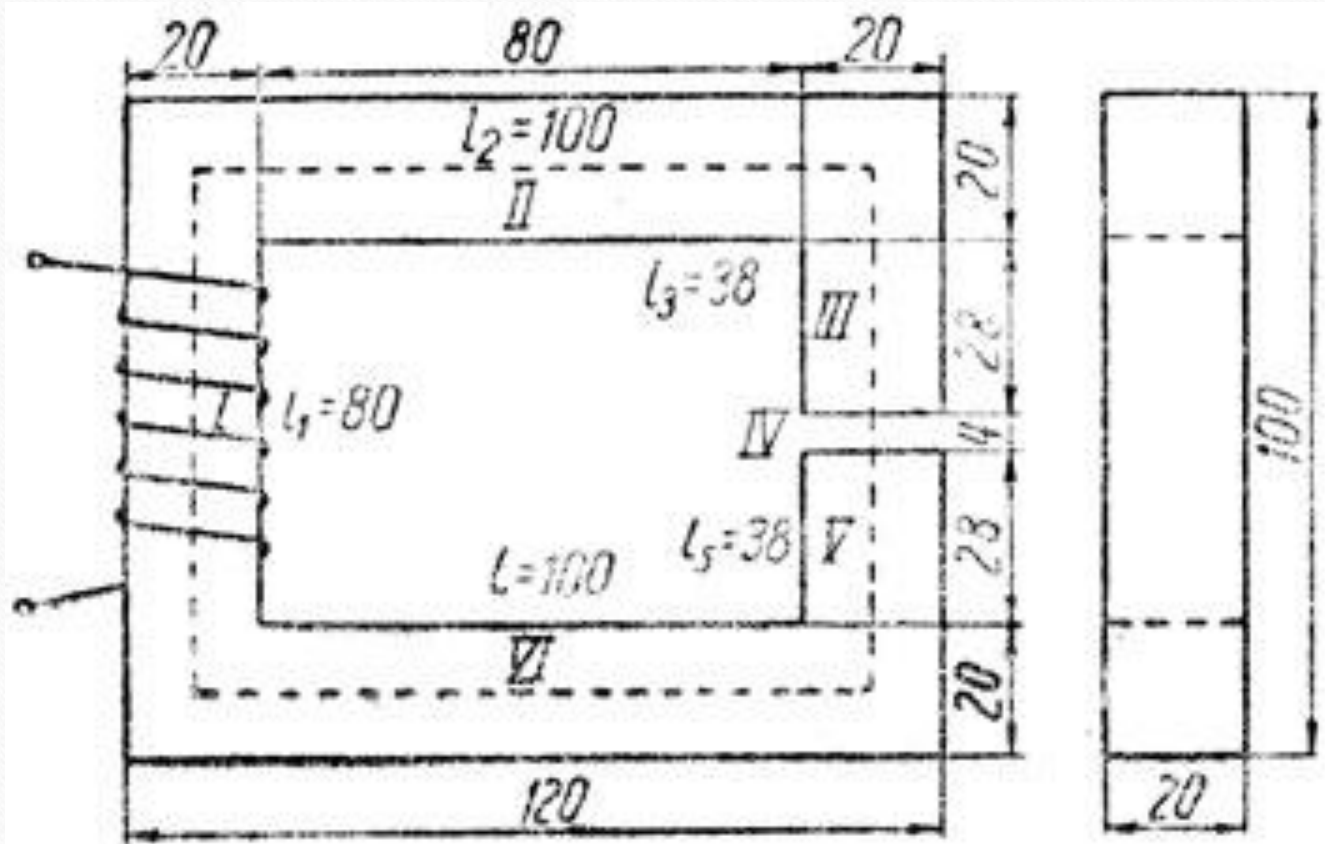
Здесь B_0 выражено в $\frac{\text{Вб}}{\text{м}^2}$.

Если индукция выражена в гауссах, а напряженность - в $\frac{\text{а}}{\text{см}}$, то зависимость между B_0 и H_0 будет

$$H_0 = 0,8 \cdot B_0.$$

Определив величину H для каждого участка, находим по закону полного тока величину необходимой намагничивающей силы по формуле:

$$Iw = H_0 l_0 + H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots + H_n l_n.$$



Пример 1. Найти намагничивающую силу обмотки электромагнита, изображенного на рис. Размеры даны в миллиметрах. Материал сердечника - электротехническая сталь. В сердечнике необходимо создать магнитный поток 60000 мкс. Магнитным рассеянием пренебрегаем.

Проводим среднюю линию по всей длине магнитной цепи. Разбиваем цепь на пять участков и определяем длину каждого участка.

Так как магнитный поток во всех участках одинаков и площадь поперечного сечения всех участков магнитной цепи одинакова ($2 \times 2 \text{ см}$), то магнитная индукция также будет везде одинакова:

$$B = \Phi / S = 60000 \text{ мкс} / 4 \text{ см}^2 = 15000 \text{ гс.}$$

По кривой намагничивания для электротехнической стали по индукции 15000 гс находим напряженность магнитного поля $H = 30$ а/см. Для воздушного зазора имеем

$$H_0 = 0,8 \cdot 15000 = 12000 \text{ а/см.}$$

Умножая величины напряженности на длину соответствующих участков, получаем произведения HI для этих участков.

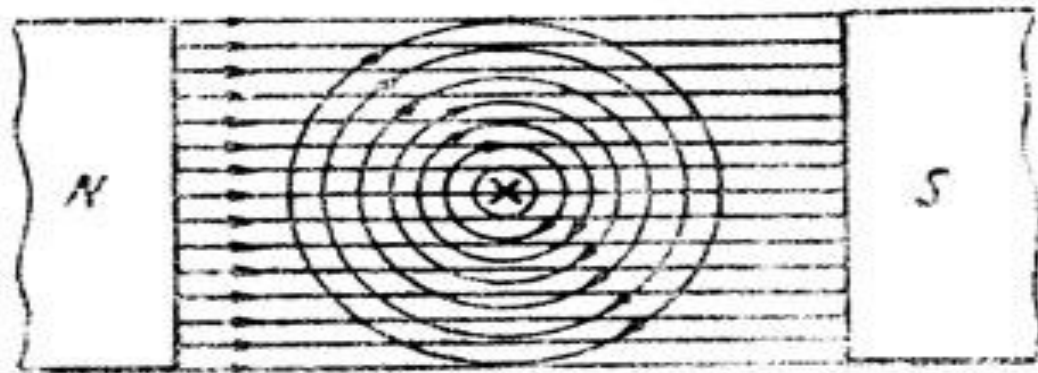
Результаты вычислений записываем в таблицу

№ участков	Материал	B	l	H	HI
		гс	см	а/см	а
I	Электротехн. сталь	15 000	8	30	240
II и VI	То же	15 000	10×2	30	600
III и V	»	15 000	$3,8 \times 2$	30	228
IV	Воздух	15 000	0,4	12 000	4800

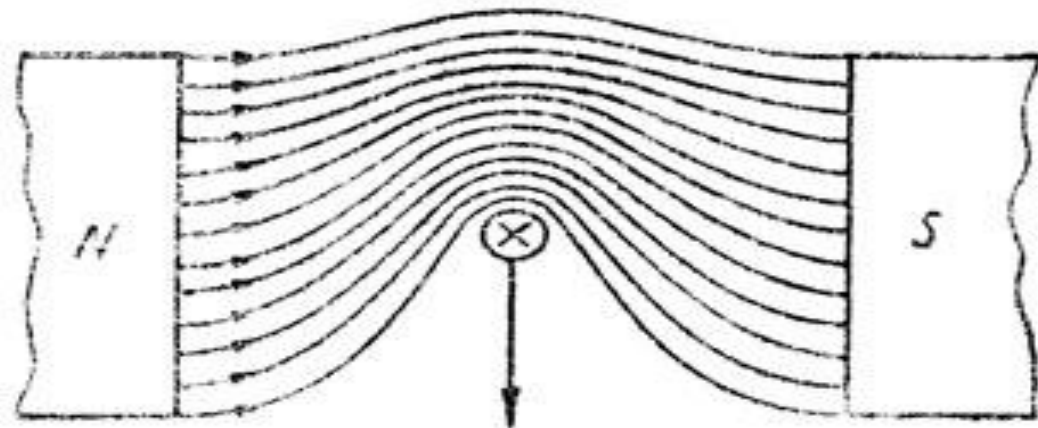
$$I \cdot w = \sum(Hl) = 5868 \text{ а.}$$

Интересно отметить, что если на участках из электротехнической стали I, II, III, V и VI общей протяженностью 35,6 см (8 + 20 + 7,6 см) для проведения магнитного потока необходима намагничивающая сила 1068 а (240 + 600 + 228 а), то на воздушный зазор длиной всего 4 мм (в 89 раз меньше длины пути по стали) нужна намагничивающая сила 4800 а. Отсюда становится понятной необходимость создания магнитных цепей с минимальными воздушными зазорами.

Проводник с током в магнитном поле

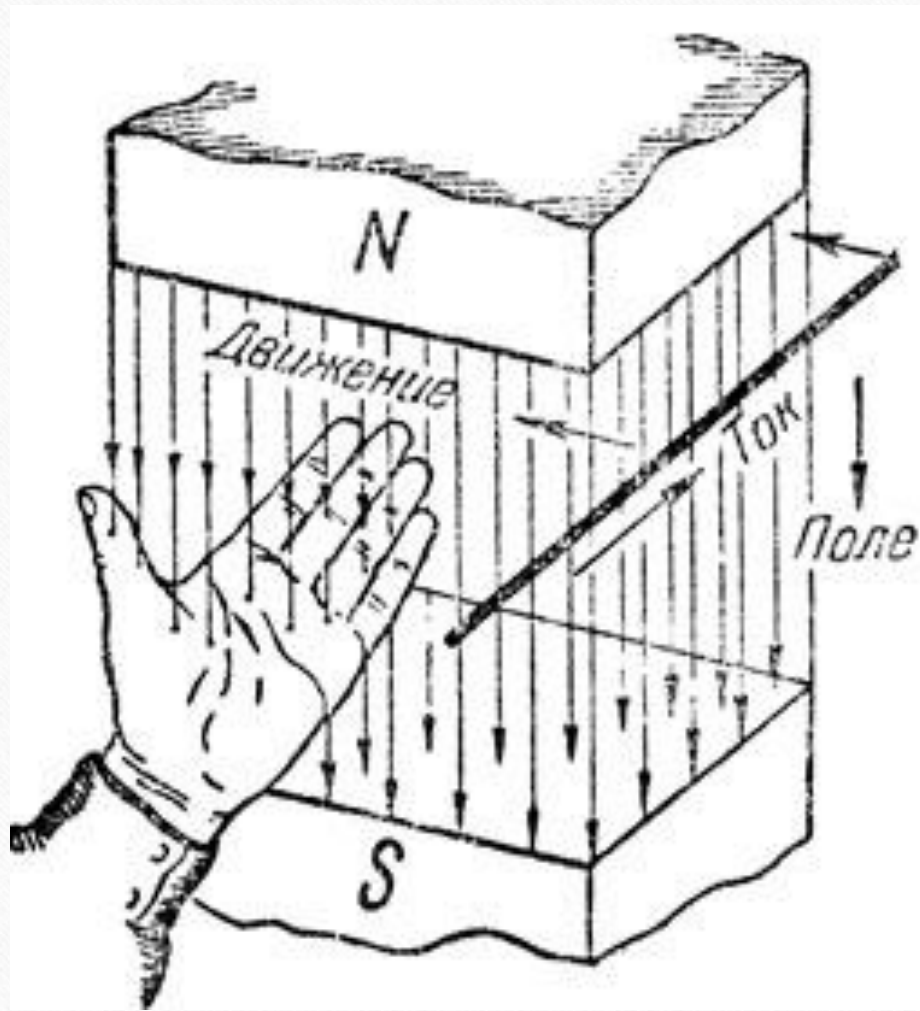


а)

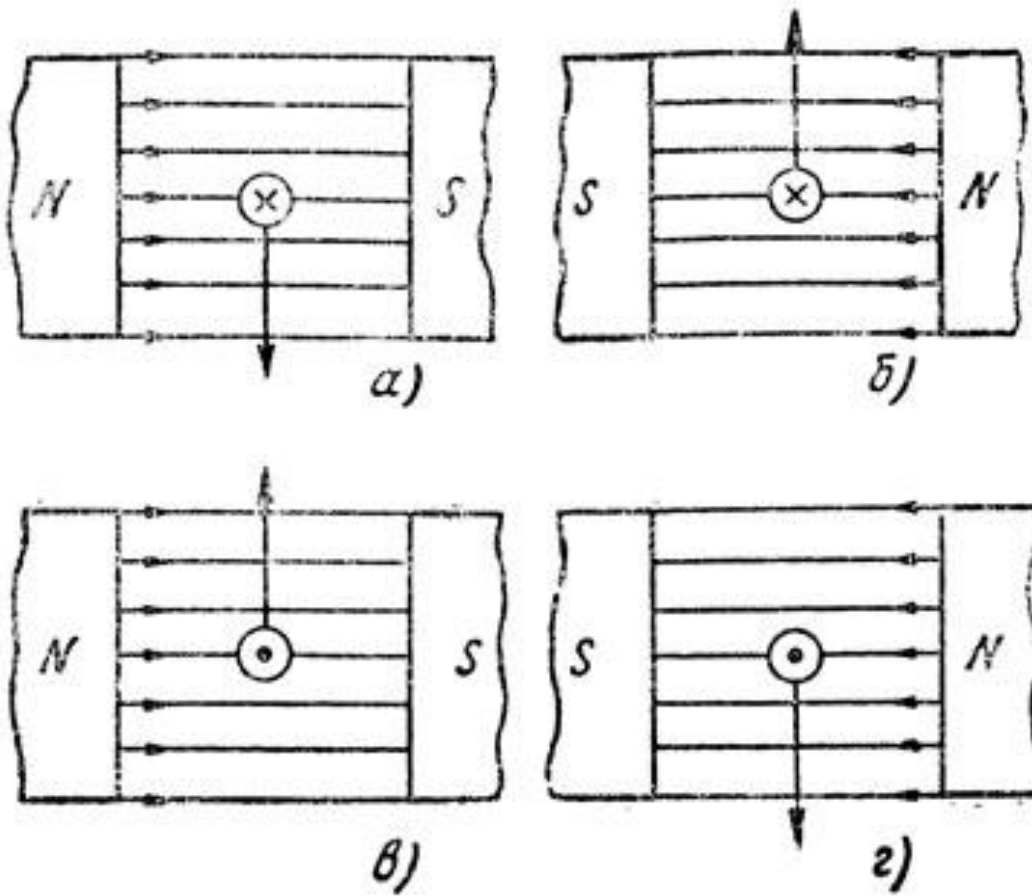


б)

Если внести проводник с током в магнитном поле (рис. а), то в результате сложения магнитных полей магнита и проводника произойдет усиление результирующего магнитного поля с одной стороны проводника (на чертеже сверху) и ослабление магнитного поля с другой стороны проводника (на чертеже снизу). В результате действия двух магнитных полей произойдет искривление магнитных линий, и они, стремясь сократиться, будут выталкивать проводник вниз (рис. б).

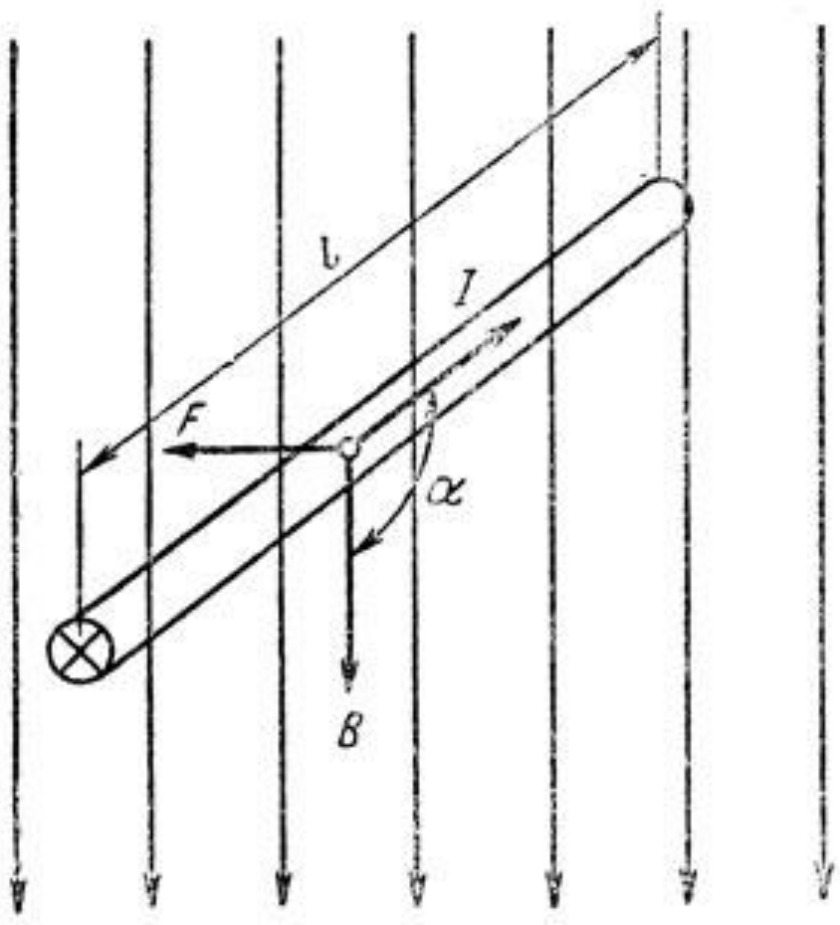


Сила, действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле, называется электромагнитной силой. Направление этой силы можно определить по "правилу левой руки": если левую руку расположить в магнитном поле так, чтобы магнитные линии, выходящие из северного полюса, как бы сходились в ладонь, а четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока в проводнике, то большой отогнутый палец руки покажет направление действия силы (рис.).



Зависимость направления силы, действующей на проводник с током в ока в проводнике

Из рис. видно, что направление силы, действующей на проводник, можно изменить, либо меняя полюсы и изменяя этим направление магнитного поля, либо меняя направление тока в проводнике.



Проводник с током в магнитном поле

Если же поменять направление поля и направление тока в проводнике одновременно, то направление силы, действующей на проводник, не изменится.

Сила F , действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле (рис. 89), зависит от величины магнитной индукции B , величины тока I в проводнике, активной длины проводника l и синуса угла α между вектором индукции и направлением тока в проводнике:

$$F = BIl \cdot \sin\alpha.$$

Для прямолинейного проводника с током, помещенного перпендикулярно к направлению магнитного поля, сила, действующая на проводник, будет равна

$$F = BIl,$$

так как в этом случае $\alpha = 90^\circ$ и $\sin \alpha = 1$.

Вышеприведенная формула является выражением закона электромагнитных сил. Электромагнитные силы, действующие на проводники с током, которые расположены в магнитном поле, используются в различных электродвигателях для получения вращающего момента, иными словами, для преобразования электрической энергии в механическую. В электрических генераторах (т. е. машинах, преобразующих механическую энергию в электрическую) эти силы создают тормозящий (противодействующий) момент, который преодолевается первичным двигателем, приводящим в движение генератор.

Электромеханические воздействия магнитного поля на проводники с током используются также в магнитоэлектрических измерительных приборах, применяемых в цепях постоянного тока.