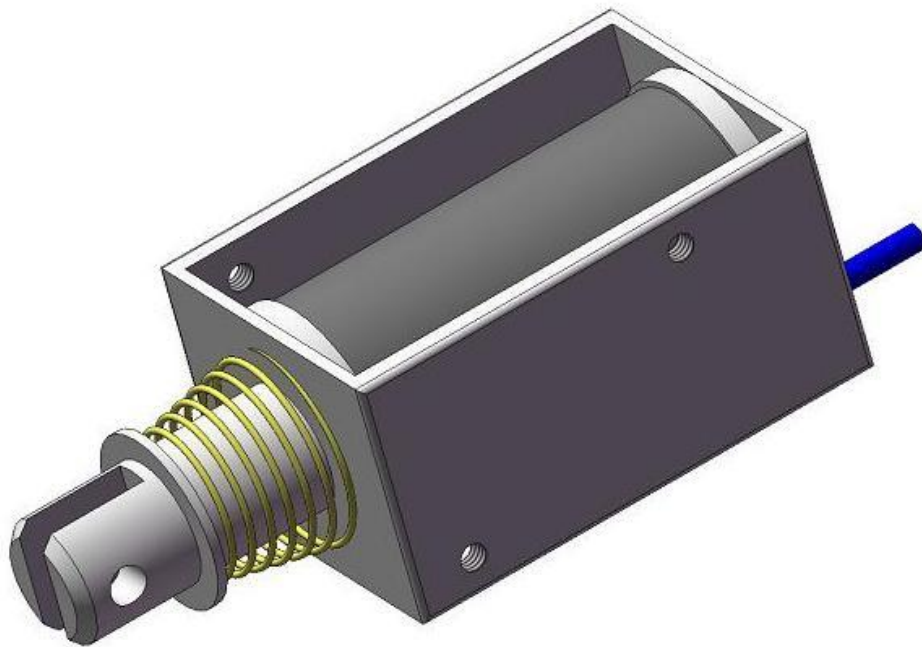


Курсовой проект на тему: “Расчет электромагнита постоянного тока”



Выполнил студент

Группы Б2ЭЛЭТ-31

Терентьев А.В.

№ 131542

Проверил к.т.н. доцент

Кафедры АЭУ

Лаврентьев В.А.

Введение

Электромагнитными называются устройства, предназначенные для создания в определенном пространстве магнитного поля с помощью обмотки, обтекаемой электрическим током.

В нейтральных электромагнитах постоянного тока рабочий магнитный поток создается с помощью обмотки постоянного тока. Действие таких электромагнитов, в отличие от поляризованных, не зависит от направления тока в обмотке, они наиболее экономичны и, благодаря разнообразию конструктивных исполнений, их легко приспособлять в различных конструкциях к различным условиям работы.

Проектирование электромагнитного аппарата можно разбить на 4 этапа:

1. Выбор магнитной цепи
2. Предварительный расчет, то есть определение основных размеров электромагнита.
3. Проверочный расчет – расчет магнитной цепи электромагнита и уточнения параметров предварительного расчета; расчета обмотки и проверки ее теплового режима; расчет тяговой характеристики электромагнита; расчет контактов и контактных пружин; расчет возвратной пружины, определение времени срабатывания и отпускания электромагнита.
4. Конструирование всего устройства с учетом его применения и технологии производства.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Геометрические размеры:

Номер варианта	$a,$ мм	$d,$ мм	$e_1,$ мм	$e_2,$ мм	$h,$ мм	$l,$ мм	$l_{cm},$ мм
49	3	6	0,8	0,05	10	18	6

Напряжение, подаваемое на зажимы обмотки:

$$U = 24B;$$

Магнитная индукция для δ_n :

$$B_n = 0,1Tл;$$

Сталь Э – материал магнитопровода

Величина зазоров:

$$\delta_n = 2 \cdot 10^{-3} м; \quad \delta_{cp} = \frac{\delta_n - \delta_k}{2} = 9,25 \cdot 10^{-4} м;$$

$$\delta_k = 0,15 \cdot 10^{-3} м; \quad \delta_{пром} = \frac{\delta_{cp} - \delta_k}{2} = 3,875 \cdot 10^{-4} м;$$

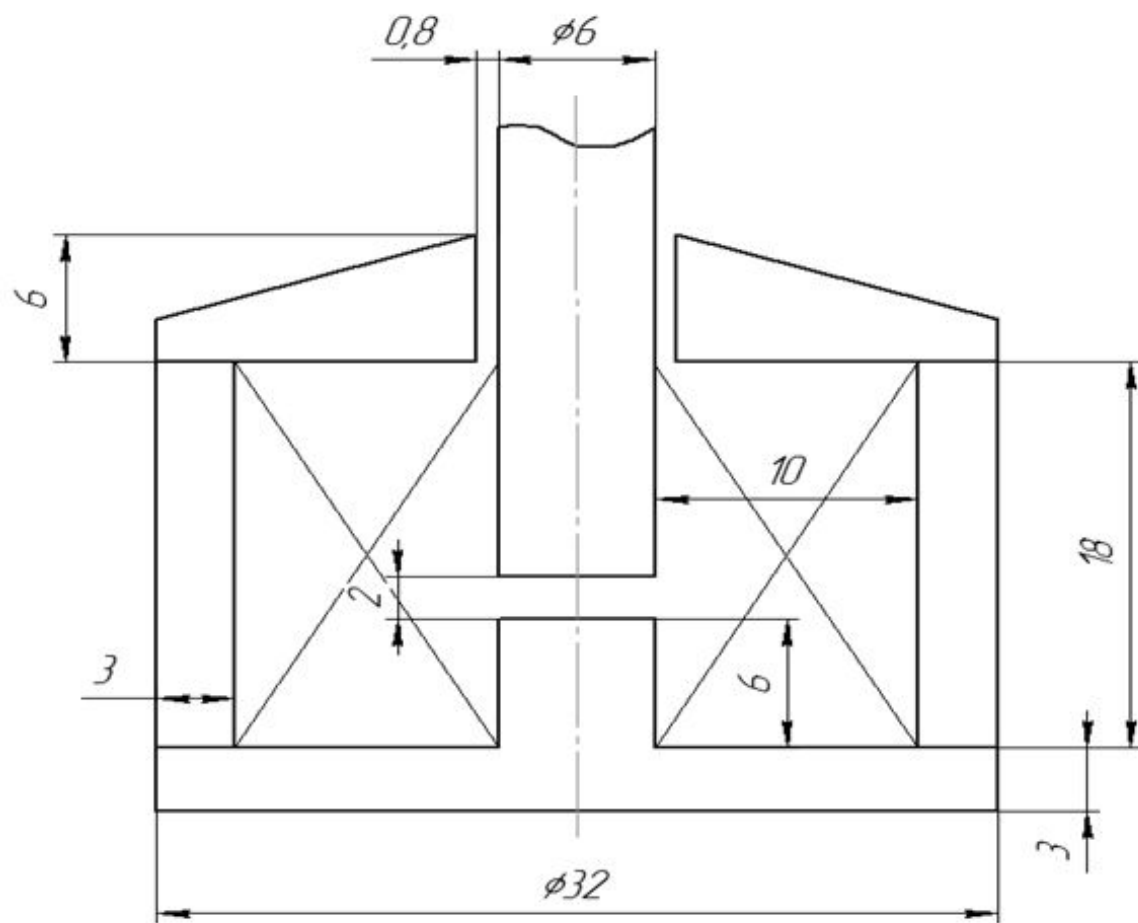


Рисунок 1. – Схема электромагнита № 13

2. ЗАДАНИЕ

При поверочном расчете электромагнита постоянного тока известны:

1. Геометрические размеры магнитной цепи электромагнита.
2. Величина магнитной индукции B_n в рабочем воздушном зазоре для начального положения якоря δ_n или величина намагничивающей силы катушки Θ_n .
3. Напряжение питания.

Требуется рассчитать:

1. Магнитные проводимости воздушных зазоров G_δ и G_ϵ (рабочего и паразитного).
2. Величину намагничивающей силы обмотки электромагнита Θ_K , если задана магнитная индукция B_H , или величину магнитного потока в воздушном зазоре, при заданной н.с. обмотки.
3. Обмоточные параметры катушки электромагнита: марку и диаметры провода d и d_1 (голого и изолированного), число витков w и сопротивление обмотки R .
4. Превышение температуры обмотки над температурой окружающего воздуха τ при длительном режиме; если $\tau > \mathcal{G}_{дон}$, то определить для кратковременного режима – время работы, или для повторно–кратковременного режима – продолжительность включения ПВ.
5. Величину электромагнитной силы $F_3 = f(\delta)$.
6. Время трогания электромагнита τ_{TP} .

3. РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

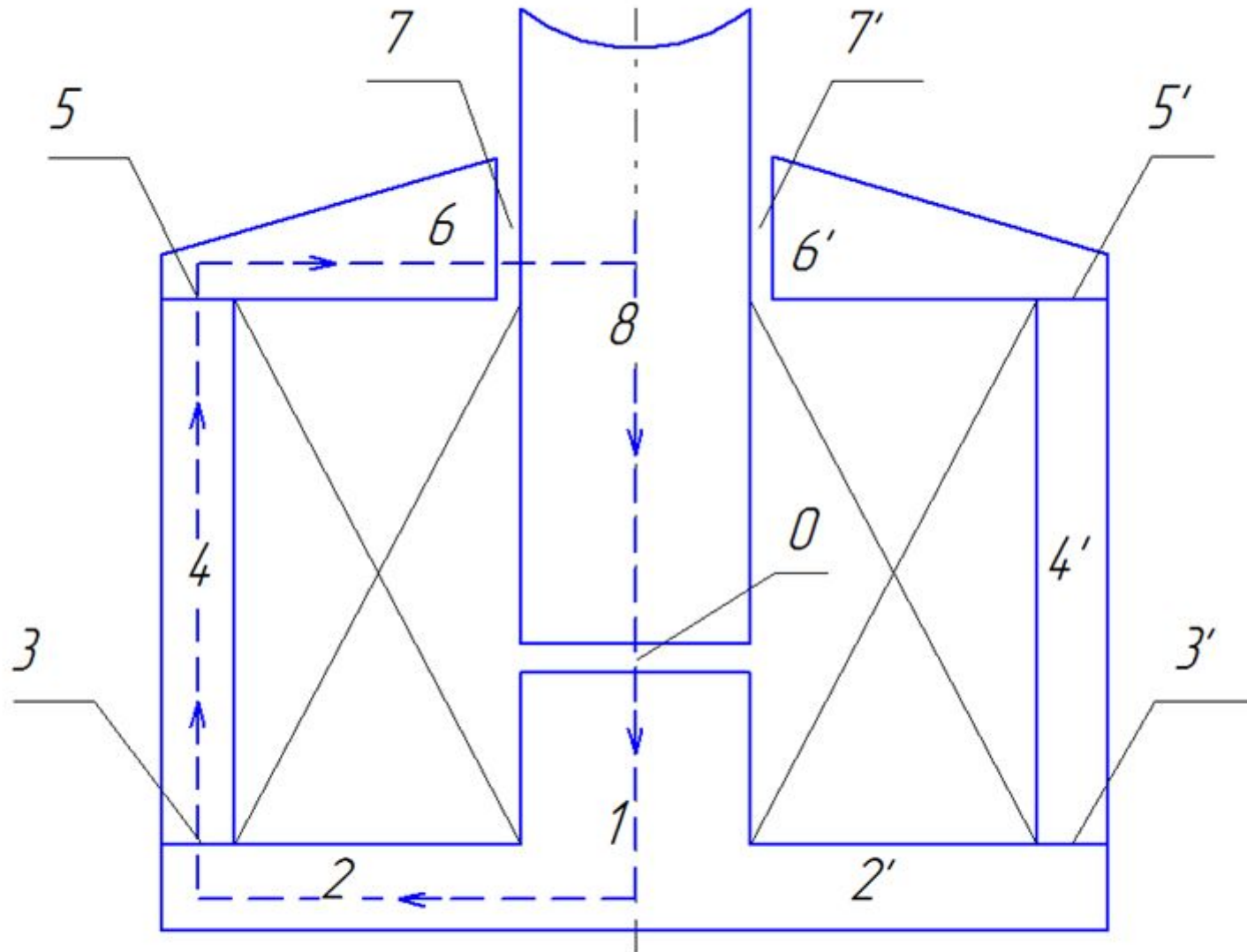


Рисунок 2.– Эквивалентная схема магнита

Расчёт для $\delta_H = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Участок 0

Рассчитаем магнитные потоки и падения напряжений на участках электромагнита.

Проводимость рабочего зазора:

$$G_{\delta_0} = 2\mu_0 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{8 \cdot \delta_H} + 0,58d \right)$$

$$G_{\delta_0} = 1,26 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} + 0,58 \cdot 6 \right) = 2,658 \cdot 10^{-8} \text{ Гн}$$

Магнитный поток:

$$S_0 = \pi \cdot l_{об} \cdot r + \pi \cdot d \cdot \delta_H,$$

$$S_0 = \pi \cdot 6 \cdot 3 \cdot 10^{-6} + \pi \cdot 6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 9,425 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

$$\Phi_0 = B \cdot S_0,$$

$$\Phi_0 = 0,1 \cdot 9,425 \cdot 10^{-5} = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Падение магнитного потенциала на рабочем зазоре:

$$U_{M0} = \frac{\Phi_0}{G_{\delta_0}},$$

$$U_{M0} = \frac{9,425 \cdot 10^{-6}}{2,658 \cdot 10^{-8}} = 354,549 \text{ А}$$

Участок 1.

Магнитный поток в расчетном участке:

$$\Phi_0 = \Phi_1 = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Площадь сечения магнитопровода расчетного участка:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot r_1^2}{2} = \frac{3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2}{2} = 1,414 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Индукция в участке:

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1}$$

$$B_1 = \frac{9,425 \cdot 10^{-6}}{1,414 \cdot 10^{-5}} = 0,667 \text{ Тл}$$

Напряженность находим по кривой намагничивания стали:

$$H_1 = f(B_1) = 135 \text{ А/м}$$

Длина участка:

$$l_1 = l_{cm} + \frac{a}{\gamma} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Падение магнитного потенциала на первом участке:

$$U_{M1} = H_1 \cdot l_1$$

$$U_{M1} = 135 \cdot 0,0075 = 1,01 \text{ А}$$

Участок 2.

Магнитный поток в расчетном участке:

$$\Phi_1 = \Phi_2 = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Площадь сечения магнитопровода расчетного участка:

$$S_2 = a(h+a)$$

$$S_2 = 3 \cdot 10^{-3} (10 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-3}) = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Индукция в участке:

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2};$$

$$B_2 = \frac{9,425 \cdot 10^{-6}}{3,9 \cdot 10^{-5}} = 0,242 \text{ Тл}$$

Напряженность находим по кривой намагничивания стали

$$H_2 = f(B_2) = 50 \text{ А/м}$$

Длина участка

$$l_2 = \frac{d}{2} + \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} - \frac{a}{2} \right) \cdot \pi$$

$$l_2 = 3 + (16 - 3 - 1,5) \cdot \pi = 14,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Падения магнитного потенциала на втором участке:

$$U_{M2} = H_2 \cdot l_2;$$

$$U_{M2} = 50 \cdot 14,5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi = 0,725 \text{ А}$$

Участок 3.

Магнитный поток в расчетном участке:

$$\Phi_3 = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Проводимость малого паразитного зазора:

$$G_{\delta 3} = \mu_0 \cdot \frac{S_3}{e_2};$$

$$S_3 = \pi \cdot r_3^2 - r_4^2;$$

$$S_3 = 3.14 \cdot (16 \cdot 10^{-3}) - 3.14 \cdot (13 \cdot 10^{-3}) = 2,733 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$G_{\delta 3} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2,733 \cdot 10^{-4}}{0,05 \cdot 10^{-3}} = 6,888 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

Падение магнитного потенциала на малом паразитном зазоре:

$$U_{M3} = \frac{\Phi_3}{G_{\delta 3}};$$

$$U_{M3} = \frac{9,425 \cdot 10^{-6}}{6,888 \cdot 10^{-6}} = 1,368 \text{ А}$$

$$U_{M3} = U_{M5}$$

Участок 4.

Магнитный поток в расчетном участке

$$\Phi_4 = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Площадь сечения магнитопровода расчетного участка:

$$S_4 = S_3 = 2,733 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Индукция в участке:

$$B_4 = \frac{\Phi_4}{S_4};$$

$$B_4 = \frac{9,425 \cdot 10^{-6}}{2,773 \cdot 10^{-4}} = 0,034 \text{ Тл}$$

Напряженность находим по кривой намагничивания стали

$$H_4 = f(B_4) = 5 \text{ А/м}$$

Длина участка

$$l_4 = l$$

$$l_4 = 18 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Падение магнитного потенциала на четвертом участке

$$U_{m4} = H_4 \cdot l_4;$$

$$U_{m4} = 5 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ А}$$

Участок 6.

Магнитный поток в расчетном участке:

$$\Phi_5 = \Phi_6 = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Площадь сечения магнитопровода расчетного участка:

$$S_6 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot h_2 + \pi \cdot D_2 \cdot h_3}{2};$$
$$S_6 = \frac{\pi \cdot 6 \cdot 10 \cdot 10^{-6} + \pi \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-6}}{4} = 1,225 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Индукция в участке

$$B_6 = \frac{\Phi_6}{S_6};$$
$$B_6 = \frac{9,425 \cdot 10^{-6}}{1,225 \cdot 10^{-4}} = 0,077 \text{ Тл}$$

Напряженность находим по кривой намагничивания стали

$$H_6 = f(B_6) = 10 \text{ А/м}$$

Длина участка

$$l_6 = \frac{a}{2} + h + \frac{d}{2}$$
$$l_6 = 1,5 + 10 + 3 = 14,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Падение магнитного потенциала на шестом участке

$$U_6 = H_6 \cdot l_6;$$
$$U_{m6} = 10 \cdot 14,5 \cdot 10^{-3} = 0,145 \text{ А}$$

Участок 7.

Магнитный поток в расчетном участке:

$$\Phi_6 = \Phi_7 = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Проводимость паразитного зазора:

$$G_{\delta 3} = \mu_0 \cdot \frac{\pi \cdot (d + e_1)^2}{e_1};$$

$$G_{\delta 7} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\pi \cdot (6 \cdot 10^{-3} + 0,8 \cdot 10^{-3})}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 2,288 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

Падение магнитного потенциала на малом паразитном зазоре:

$$U_{M3} = \frac{\Phi_7}{G_{\delta 7}};$$

$$U_{M7} = \frac{9,425 \cdot 10^{-6}}{2,288 \cdot 10^{-7}} = 41,193 \text{ А}$$

Участок 8.

Магнитный поток в расчетном участке:

$$\Phi_8 = \Phi_0 = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$$

Индукция в участке равна индукции в первом участке

$$B_8 = B_1 = 0,667 \text{ Тл}$$

Напряженность находим по кривой намагничивания стали

$$H_8 = f(B_8) = 135 \text{ А/м}$$

Длина участка

$$l_8 = l + a - (l_{cm} + \delta)$$

$$l_8 = 18 + 3 - (6 + 2) = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Падение магнитного потенциала на шестом участке

$$U_8 = H_8 \cdot l_8;$$

$$U_{m8} = 12 \cdot 135 \cdot 10^{-3} = 1,62 \text{ А}$$

Намагничивающая сила равна сумме падений магнитного потенциала на всех участках.

$$\Theta = U_{m0} + U_{m1} + U_{m2} + U_{m3} + U_{m4} + U_{m5} + U_{m6} + U_{m7} + U_{m8};$$

$$\Theta = 354,549 + 1,012 + 0,725 + 1,368 + 0,09 + 1,368 + 0,115 + 41,193 + 1,62 = 402,041 \text{ А}$$

4. РАСЧЕТ ОБМОТКИ

Из расчета магнитной цепи при заданном рабочем потоке Φ_{δ} была определена необходимая намагничивающая сила обмотки Θ_k ; если дана величина напряжения питания, то можно рассчитать необходимый диаметр провода и число витков.

Удельное сопротивление металла:

ϑ_k – температура на которую рассчитана изоляция обмотки 80 °C

$$\rho_0 = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}};$$

$$\alpha = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}};$$

$$\rho = 0,0175 \cdot (1 + 0,004 \cdot 80) = 0,023 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$$

Внешний диаметр обмотки

$$d_{\text{внеш}} = 2h + d = 26 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Внутренний диаметр обмотки

$$d_{\text{внутр}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Средняя длина витка

$$l_{\text{ср}} = \pi \cdot \frac{d_{\text{внутр}} + d_{\text{внеш}}}{2};$$

$$l_{\text{ср}} = \pi \cdot \frac{6 \cdot 10^{-3} + 26 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,05 \text{ м}$$

Диаметр голого провода

$$d_{\Gamma_{np}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho \cdot l_{cp} \cdot \Theta_m}{\pi \cdot U}};$$

$$d_{\Gamma_{np}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,023 \cdot 0,05 \cdot 402,041}{\pi \cdot 24}} = 157 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Определив диаметр голого провода $d_{\Gamma_{np}}$, округляя его в сторону увеличения, необходимо по ГОСТу (табл.4) подобрать провод, то есть, выбрать d и d_{uz} (диаметр голого и изолированного провода). В табл. 4 приведены средние значения коэффициенты заполнения обмотки по меди κ_s и удельное число витков w_0 для марки провода ПЭЛ.

Из таблицы 4:

$$d_{\Gamma_{np}} = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\kappa_s = 0.617$$

$$w_0 = 30,7 \cdot 10^6 \text{ вит} / \text{м}^2$$

$$d_{us} = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Число витков в катушке:

$$w = w_0 \cdot l_k \cdot h_k;$$

$$w = 30,7 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 5526 \text{ витков}$$

Сопротивление катушки:

$$R = 4 \cdot \rho \cdot \frac{l_{cp}}{\pi \cdot d_{zn}^2} \cdot w;$$

$$R = 4 \cdot 0,023 \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,16^2} \cdot 5526 = 329,877 \text{ Ом}$$

Ток в обмотках:

$$I = \frac{U}{R};$$

$$I = \frac{24}{329,877} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Магнитодвижущая сила катушки:

$$\Theta_k = \frac{U}{R} \cdot w = \frac{24}{329,877} \cdot 5526 = 402,041 \text{ А}$$

Погрешность:

$$\Delta = \left| \frac{\Theta - \Theta_x}{\Theta} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{402,041 - 402,041}{402,041} \right| \cdot 100\% = 0$$

$$\Delta = 0\%$$

Расхождение в пределах нормы.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЯ УСТАНОВИВШЕЙСЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТКИ НАД ТЕМПЕРАТУРОЙ
ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

Мощность обмотки:

$$P = \frac{U^2}{R};$$

$$P = \frac{24^2}{329,877} = 1,746 \text{ Вт}$$

$K_T = 12,8$ – обмотка бескаркасная

Площадь поверхности охлаждения

$$S_{\text{торц}} = \pi \cdot (10 \cdot 10^{-3})^2 = 0,0003 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{внеш}} = 38 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,0011 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{внутр}} = 2\pi \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 38 \cdot 10^{-3} = 0,0006 \text{ м}^2$$

$$S = 2 \cdot S_{\text{торц}} + S_{\text{внеш}} + S_{\text{внутр}} = 0,0024 \text{ м}^2$$

Превышение установившейся температуры обмотки над температурой окружающей среды

$$t = \frac{P}{K_T \cdot S};$$

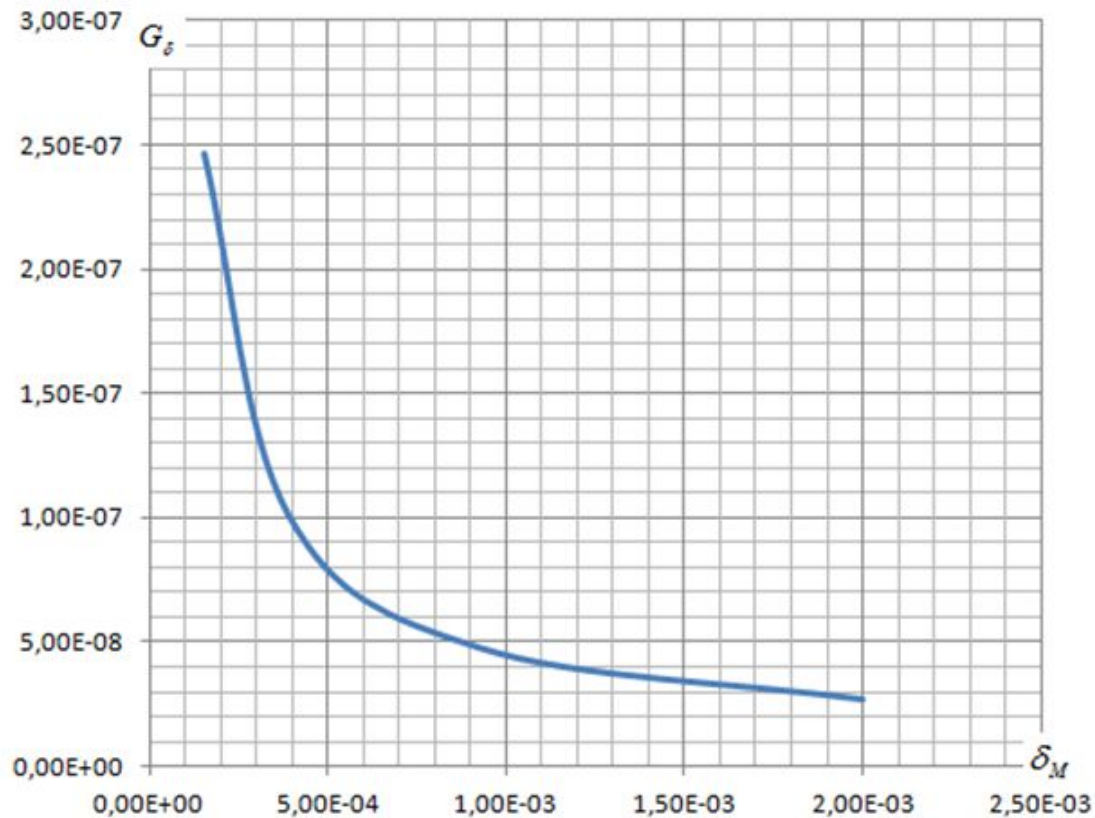
$$\tau = \frac{1,746}{0,0024 \cdot 12,8} = 55,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6. РАСЧЕТ ТЯГОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Необходимо построить график зависимости проводимости от величины рабочего зазора

Таблицы 2. – Зависимость магнитной проводимости от размера рабочего зазора

$\delta, м$	$0,15 \cdot 10^{-3} м$	$0,387 \cdot 10^{-3} м$	$0,925 \cdot 10^{-3} м$	$2 \cdot 10^{-3} м$
$G_{\delta}, Гн$	$246 \cdot 10^{-9}$	$100 \cdot 10^{-9}$	$47 \cdot 10^{-9}$	$26,5 \cdot 10^{-9}$



Определение $\frac{dG}{d\delta}$ с помощью программного комплекса Mathcad

$$\left. \frac{dG_{\delta}}{d\delta_k} \right|_{\delta_k} = 5,33 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/м}$$

$$\left. \frac{dG_{\delta}}{d\delta_k} \right|_{\delta_{\text{ном}}} = 2,353 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/м}$$

$$\left. \frac{dG_{\delta}}{d\delta_k} \right|_{\delta_{\text{сред}}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Гн/м}$$

$$\left. \frac{dG_{\delta}}{d\delta_k} \right|_{\delta_{\text{нач}}} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ Гн/м}$$

Определение электромагнитного усилия

$$F_{\text{э}} = 5,1 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\Phi^2}{G_{\delta}^2} \cdot \left| \frac{dG}{d\delta} \right|$$

$$F_{\text{экон}} = 5,1 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{9,425^2 \cdot 10^{-12}}{4,728^2 \cdot 10^{-12}} \cdot 5,33 \cdot 10^{-4} = 0,04 \text{ H}$$

$$F_{\text{эром}} = 0,065 \text{ H}$$

$$F_{\text{эсред}} = 0,081 \text{ H}$$

$$F_{\text{эн}} = 0,105 \text{ H}$$

Нужно построить график зависимости электромагнитного усилия от размера рабочего зазора.



$F_{\text{э}}(\delta), \text{H}$	$105 \cdot 10^{-3}$	$81 \cdot 10^{-3}$	$65 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$
$\delta, \text{мм}$	0,15	0,387	0,925	2

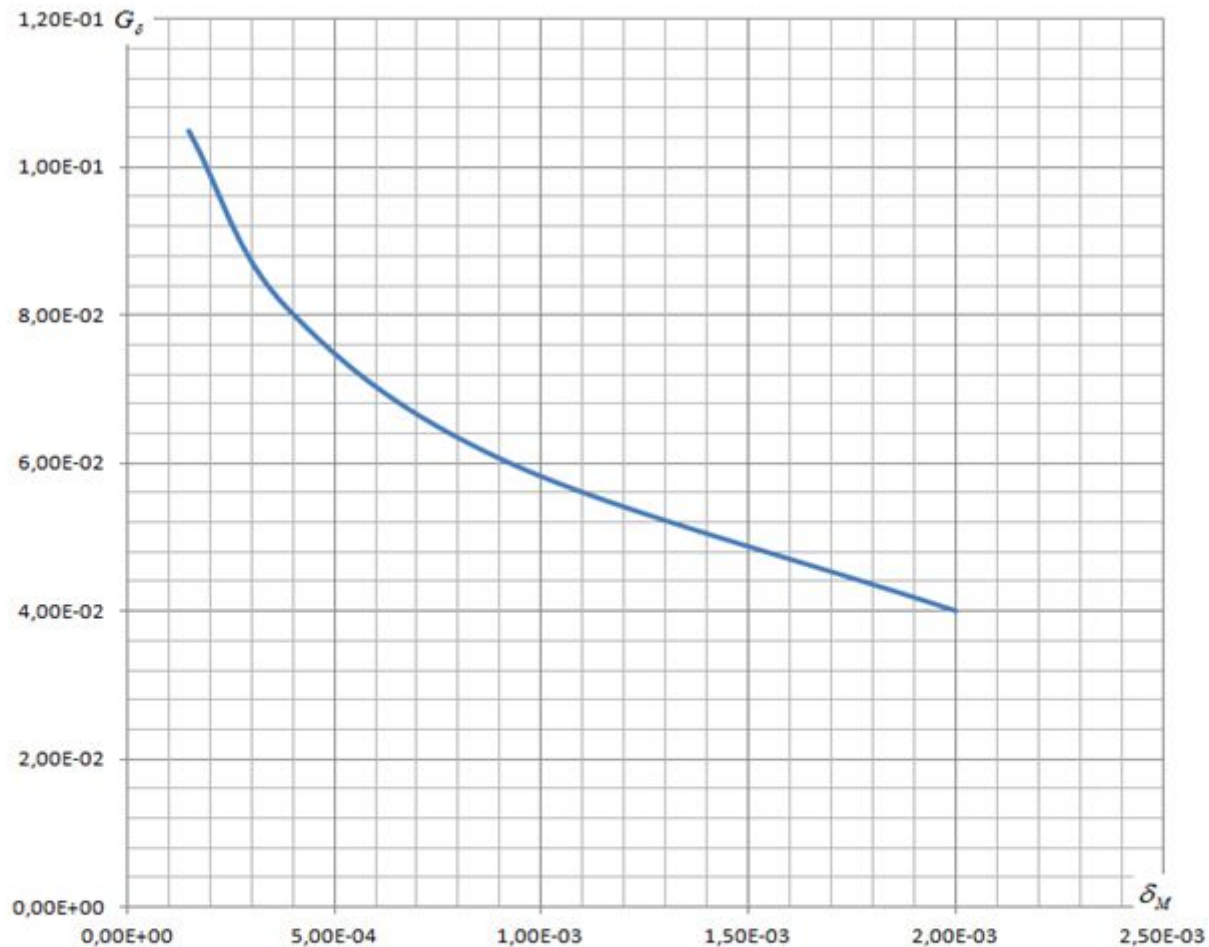


Рисунок 4. – График зависимости $F_s(\delta)$ от δ

Выполним проверку значений по формуле Максвелла:

$$F_s = \frac{1}{2} \frac{\Phi^2}{\mu_0 S}, H$$

$$F_{\text{знач}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(9,425 \cdot 10^{-6})^2}{0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot 9,425 \cdot 10^{-5}} = 0,0976 \text{ Н}$$

$$F_{\text{сред}} = 0,07519 \text{ Н}$$

$$F_{\text{эром}} = 0,0693 \text{ Н}$$

$$F_{\text{экон}} = 0,0381 \text{ Н}$$

Произведём расчет погрешности:

$$\text{Pr} = \frac{|0,105 - 0,0976|}{0,105} \cdot 100\% = 7,4$$

$$\text{Pr} = \frac{|0,081 - 0,07519|}{0,081} \cdot 100\% = 7,1$$

$$\text{Pr} = \frac{|0,065 - 0,0693|}{0,065} \cdot 100\% = 6,6$$

$$\text{Pr} = \frac{|0,04 - 0,0381|}{0,04} \cdot 100\% = 4,7$$

Разница не превышает 8 процентов.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ТРОГАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

Удельная магнитная проводимость:

$$g = \frac{\pi \cdot d^2 \Gamma_{\text{нр}}}{4};$$

$$g = \frac{3,14 \cdot 0,16^2 \cdot 10^{-6}}{4} = 0,02011 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$$

Эквивалентная проводимость

$$G_{\text{экв}} = G_{\delta} + g \cdot \frac{l_{\text{я}}^3 \cdot l_{\text{св}}^3}{3l^2};$$

$$G_{\text{экв}} = 26,5 \cdot 10^{-9} + 0,02011 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,16^3 \cdot 6^3 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 26,5 \cdot 10^{-9} \text{ Гн}$$

Постоянное время электромагнита

$$T_{\text{н}} = \frac{w^2 \cdot G_{\text{экв}}}{R};$$

$$T_{\text{н}} = \frac{5,526^2 \cdot 10^{-3} \cdot 26,5 \cdot 10^{-9}}{329,877} = 2,461 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Коэффициент запаса

$$K_{\text{з}} = 1,4$$

Время трогания электромагнита

$$t_{\text{трог}} = T_{\text{н}} \cdot \ln \frac{K_{\text{з}}}{K_{\text{з}} - 1};$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной курсовой работе мы провели проектирование электромагнитного аппарата. Это проектирование состояло из 4 этапов:

1. Выбор магнитной цепи
2. Предварительный расчет, то есть определение основных размеров электромагнита.
3. Проверочный расчет – расчет магнитной цепи электромагнита и уточнения параметров предварительного расчета; расчета обмотки и проверки ее теплового режима; расчет тяговой характеристики электромагнита; расчет контактов и контактных пружин; расчет возвратной пружины, определение времени срабатывания и отпускания электромагнита.
4. Конструирование всего устройства с учетом его применения и технологии производства.

По мере продвижения, мы описали все расчеты и чертежи аппарата.

Расчёты были произведены с помощью программного комплекса Mathcad. Все манипуляции в программе мы подкрепляли скриншотами, а расчёты процессов сопровождали графиками и характеристиками, для наилучшего восприятия и наглядного анализа. Вышеупомянутые графики, которые мы получили, являются результатами искомого решения задач.