

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТА НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ

М. С. Коваленко, Н. Н. Закаблуква, В.А. Новиков

В статье выполнен расчет электромагнита для намагничивания (и размагничивания) деталей средней величины, описана разработанная установка для размагничивания типовых деталей вертолета МИ-8.

Ключевые слова: намагничивающие и размагничивающие устройства, магнитный контроль, электромагниты, ферромагнитные объекты, типовые детали, технические средства.

Выполним расчет электромагнита намагничивающего устройства, которое может быть использовано как для намагничивания, так и для размагничивания объектов в средствах малой механизации неразрушающего контроля.

Целью расчета является определение величины намагничивающей силы (IW) устройства для создания в изделии необходимой индукции. Расчет выполним по методике, изложенной в [1].

Из рекомендаций [2], толщина полюсов намагничивающего устройства должна быть в 2–3 раза больше толщины намагничиваемого изделия. Если же толщина стенки изделия 1...2 мм, то толщина полюсов – 10...20 мм. Остальные размеры намагничивающего устройства выбираем конструктивно, исходя из существующих разработок. Расчет выполняем, принимая допущение, что растекание магнитного потока в изделии отсутствует, т.е. размеры проекции устройства на изделие и изделия равны [2].

Расчетная схема намагничивающего устройства приведена на рисунке 1. Зададимся рекомендуемыми параметрами сердечника для расчета устройства: $L = 90$ мм, $b = 8$ мм, $d = 20$ мм, $h = 105$ мм, $c = 185$ мм, суммарный зазор между полюсами электромагнита и поверхностью объекта $\delta = 1$ мм.

Из закона Кирхгофа следует:

$$IW = \sum H_i \cdot l_i, \quad (1)$$

где $H_i \cdot l_i$ – падение магнитного напряжения на участке магнитной цепи l_i .

Рассмотрим сумму падений магнитных напряжений в изделии U_u , в зазорах U_y , в магнитопроводе U_n :

$$\left. \begin{aligned} U_u &= H_u \cdot l_u = H_u \cdot (L + b + d), \\ \Phi_u &= B_u \cdot S_u, \quad S_u = b \cdot c. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Строим кривую намагничивания материала изделия. Используя выражение (3) по 12 значениям H_u и B_u , взятых с кривой намагничивания, строим зависимость $U_u = f(\Phi_u)$, а затем зависимость $U_y = f(\Phi_u)$ в той же системе координат [2].

$$U_y = H_0 \cdot \delta = \frac{\Phi_u}{\mu_0 \cdot S_{II}} \cdot \delta, \quad (3)$$

где H_0 – напряженность поля в зазоре;

δ – толщина суммарного зазора;

$$S_{II} = d \cdot c.$$

График зависимости $U_y = f(\Phi_u)$ приведен на рисунке 2.

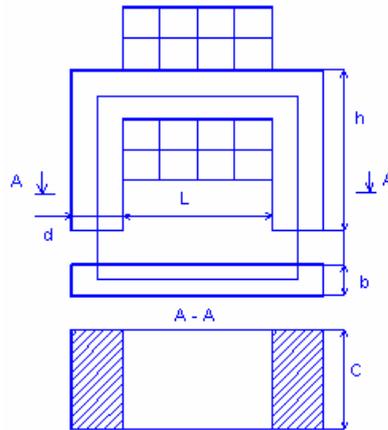


Рис. 1 – Расчетная схема намагничивающего устройства

Затем на отдельном графике строится кривая падения магнитного напряжения в магнитопроводе при изменении магнитного потока в нем $U_n = f(\Phi_n)$.

$$\left. \begin{aligned} U_n &= H_n \cdot l_n = H_n \cdot (2 \cdot h + L), \\ \Phi_n &= B_n \cdot S_n = B_n \cdot c \cdot d. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

График зависимости приведен на рисунке 3.

Чтобы пересчитать U_{II} в зависимости от Φ_{II} , запишем уравнение Кирхгофа для точки М эквивалентной электрической схемы. Схема представлена на рисунке 4.

$$\Phi_{II} - \Phi_u - F = 0, \quad (5)$$

где F – магнитный поток рассеяния, шунтирующий изделие и переходный участок.

Так как отношение потоков Φ_u и F обратно пропорционально магнитным сопротивлениям $R_u + R_y$ и R_F , то:

$$\frac{F}{\Phi_u} = \frac{R_u + R_y}{R_A}, \quad F = \Phi_u \cdot \frac{R_b + R_y}{R_F}, \quad (6)$$

где R_F – магнитное сопротивление потока рассеяния между полюсами электромагнита.

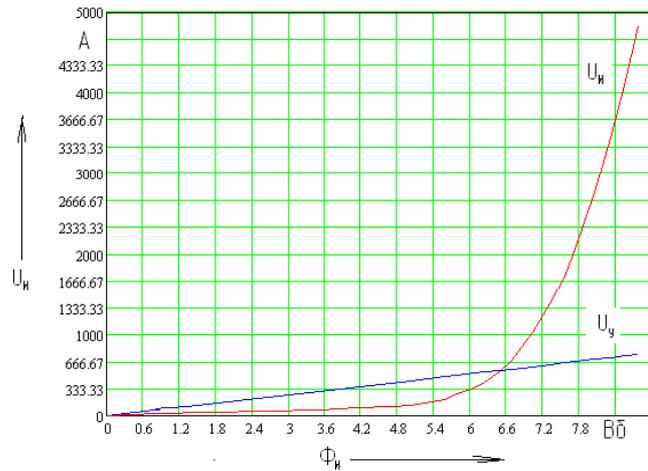


Рис. 2 – Зависимости магнитных напряжений в зазоре U_y и в изделии U_n от магнитного потока в изделии

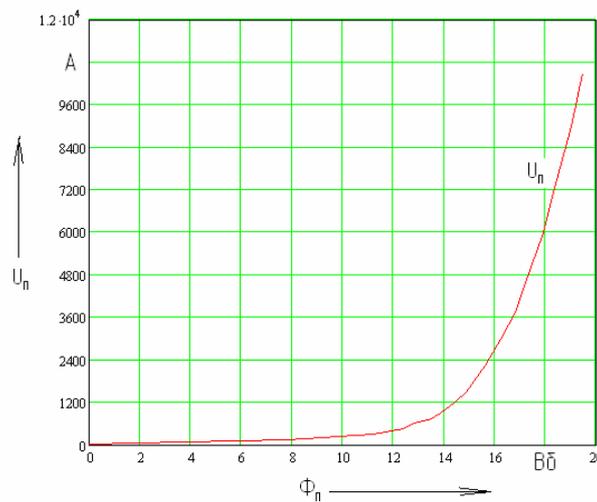


Рис. 3 – Зависимость магнитного напряжения в магнитопроводе U_n от магнитного потока в нем

$$R_F = \frac{1}{G_F} [\Gamma H^{-1}], \quad (7)$$

где G_F – проводимость участка между параллельными призмами (полюсами намагничивающего устройства).

$$G_F = R^{-1}_F = \mu_0 \cdot (h_F \cdot x_F + y_F) . \quad (8)$$

$$h_F = h - d . \quad (9)$$

$$x_F = \frac{C}{L} + 0,52 + \frac{2}{\pi} \cdot \ln \left(1 + \frac{2 \cdot d}{L} \right) . \quad (10)$$

$$y_F = 0,26 \cdot C + \frac{C}{\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \cdot d}{L}\right) + 0,15 \cdot L + 0,5 \cdot d. \quad (11)$$

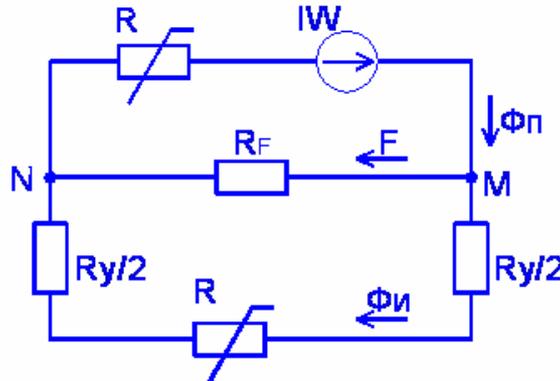


Рис. 4 – Эквивалентная электрическая схема намагничивающего устройства

Из (5) и (6) получаем:

$$\Phi_u = \frac{\Phi_n}{1 + \frac{R_u + R_y}{R_F}}, \quad (12)$$

где:

$$R_y = \frac{\delta}{\mu_0 \cdot S_{3A3}}; \quad (13)$$

$$S_{3A3} = c \cdot d$$

$$R_u = \frac{l_u}{\mu_0 \cdot \mu_u \cdot S_u} = \frac{H_u \cdot l_u}{B_u \cdot S_u}, \quad (14)$$

где l_u – длина средней силовой линии в изделии;

B_u и H_u – соответствуют оптимальному режиму намагничивания.

Путем пересчета с использованием формулы (12) из графика зависимости магнитного напряжения в магнитопроводе от магнитного потока в нем получаем зависимость $U_n = f(\Phi_u)$ [2]. График зависимости изображен на рисунке 5.

Затем суммируем U_u, U_y, U_n , получаем зависимость $U_\Sigma = f(B_u)$. График представлен на рисунке 6. Здесь $B_u = \Phi_u / \text{вс}$.

По известному значению оптимальной индукции $B_{\text{опт}}$ в контролируемом сечении, определяют $U_1 = I \cdot W_1 = 2200$ А. Затем с учетом коэффициента заполнения и площади окна S , занимаемого всеми витками катушки, в сечении, перпендикулярном осям витков (S составляет приблизительно 80% площади окна, образованного П-образным сердечником и намагничиваемым изделием) определяют число витков обмоточного провода, задаваясь различными его диаметрами (d от 0.5 до 3.5 мм) [2]:

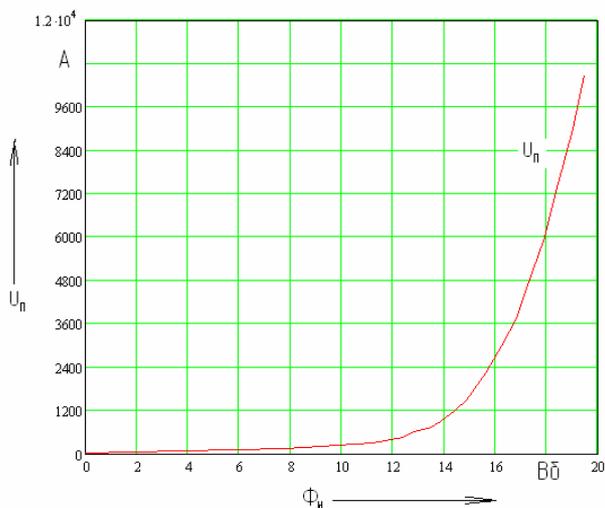


Рис. 5 – Зависимость магнитного напряжения в магнитопроводе от магнитного потока в изделии

$$W_1 = \frac{S \cdot K_3}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}, \quad (15)$$

где $S = L \cdot (h - d) \cdot 0.8$.

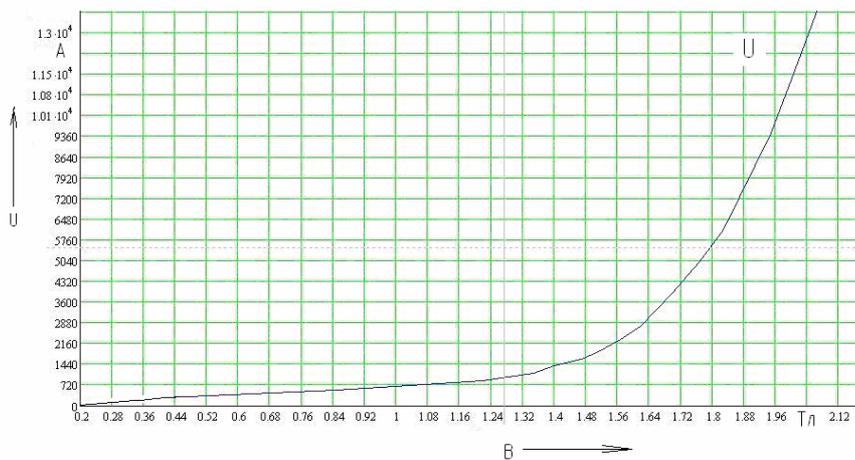


Рис. 6 – Зависимость суммарного магнитного напряжения в магнитопроводе от индукции в изделии

Расчеты показывают, что при $d=1$ мм $W_1 = 2752$ витка, при $d=2$ мм $W_2 = 688$ витков, при $d=3$ мм $W_3 = 306$ витков.

Определяем величину тока в катушке по известной намагничивающей силе и числу витков $I_1 = \frac{a}{W_1}$.

$$I_1 = \frac{3000}{2752} = 1,09(A), I_2 = \frac{3000}{688} = 4,36(A), I_3 = \frac{3000}{306} = 9,8(A).$$

Определяем электрическое сопротивление обмотки:

$$R = \frac{\rho \cdot l_{cp} \cdot W_1}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}, \quad (16)$$

где l_{cp} - средняя линия витка провода в катушке;

ρ - удельное электрическое сопротивление.

$$l_{cp} = 2c + 2d + 2\pi R = 2c + 2d + 2\pi \frac{0,8 \cdot (h-d)}{2} = 0,4 \text{ м.}$$

$$R_1 = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4 \cdot 2752}{\frac{3,14 \cdot 0,001^2}{4}} = 23,8 \text{ Ом. } R_2 = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4 \cdot 688}{\frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4}} = 1,5 \text{ Ом. } R_3 = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4 \cdot 306}{\frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4}} = 0,3 \text{ Ом.}$$

Определяем потребляемую мощность:

$$P = I^2 \cdot R \quad (17)$$

$$P_1 = 1,09^2 \cdot 23,8 = 28,3 [Вт], \quad P_2 = 4,36^2 \cdot 1,5 = 28,5 [Вт], \quad P_3 = 9,8^2 \cdot 0,3 = 28,6 [Вт].$$

Так как потребляемые мощности приблизительно одинаковы, то диаметр провода выбираем исходя из приемлемого числа витков катушки ($400 < W < 1500$) $W = 690$, при диаметре обмоточного провода 2 мм.

Рассчитанный электромагнит использован в разработанной установке для размагничивания деталей среднего размера. Она состоит из ленточного конвейера, двух электромагнитов, закрепленных на стойках, соленоида, установленного на скате. Соленоид служит для размагничивания мелких деталей и при размагничивании объектов средней величины он удаляется из устройства.

Размагничивание деталей происходит следующим образом: детали укладываются на ленту конвейера. Их размагничивание происходит при перемещении объектов в межполюсном пространстве двух электромагнитов. Первый электромагнит намагничивает детали до насыщения, а второй – размагничивает полем противоположного направления, напряженность которого определяется экспериментально. В конце конвейера детали попадают на скат, а затем поступают в накопительный бункер.

Литература

1. **Козлов, В.С.** Техника магнитографической дефектоскопии / В.С. Козлов. – Мн.: Выш. школа, 1976. – 256 с.: ил.
2. **Фалькевич, А. С.** Магнитографический контроль сварных соединений. / А.С. Фалькевич, М.Х. Хусанов – М.: Машиностроение, 1966. – 176 с.: ил.

Коваленко Мария Сергеевна

Магистрантка электротехнического факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: (029) 710-37-00

Закаблукова Наталья Николаевна

Студентка электротехнического факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: (029) 245-57-79

E-mail: natalya_zakablukova@mail.ru

Новиков Владимир Алексеевич

Профессор кафедры «Физические методы контроля», д-р техн. наук.

Белорусско-Российский университет, г. Могилев

Тел.: (029) 245-26-19

E-mail: novikovva@tut.by