

**ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. ЭНЕРГОСБЕ-
РЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 621.436.681.51

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДОЗАТОРА ГАЗА,
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В.М. Манойло, доцент, к.т.н., ХНТУСХ

***Аннотация.** Предложена методика расчётно-экспериментального определения параметров электромеханической части дозатора газа, обеспечивающая повышение надёжности узла, установленного в системе топливоподачи транспортного двигателя, адаптированного к условиям эксплуатации.*

***Ключевые слова:** методика, расчет, параметры, клапан-сердечник, электромагнитный дозатор газа.*

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ
ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ДОЗАТОРА ГАЗУ,
СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГУНА**

В.М. Манойло, доцент, к.т.н. ХНТУСГ

***Анотація.** Запропоновано методику розрахунково-експериментального визначення параметрів електромеханічної частини дозатора газу, що забезпечує підвищення надійності вузла, встановленого в системі паливоподачи транспортного двигуна, адаптованого до умов експлуатації.*

***Ключові слова:** методика, розрахунок, параметри, клапан-сердечник, електромагнітний дозатор газу.*

**METHOD FOR DETERMINING REGIME AND DESIGN PARAMETERS OF
ELECTRO-MECHANICAL COMPONENTS OF A GAS DIVIDER,
SYSTEM POWER MOTOR VEHICLE**

V. Manoilo, assistant professor, cand. eng. sc., KhNTUA

***Abstract.** The method of settlement and experimental determination of the parameters of the electro-mechanical dispenser gas, ensuring higher reliability node installed in the fuel system of a vehicle engine, adapted to the conditions.*

***Key words:** methods of calculation parameters, the valve-core electromagnetic gas dispenser.*

Введение

Электромагнитные дозаторы эффективно используются в системах питания 2-хтопливных либо в «чисто» газовых автотра-

кторных ДВС отечественного и зарубежного производства. Достоинствам дозаторов является простота конструкции узла и удобство техобслуживания; высокая надёжность в работе; сравнительно не высокая себестои-

мость изготовления и т.д.

Анализ последних достижений и публикаций

Теория рабочего процесса электромеханической части электромагнитных устройств соленоидного типа, а также определение величины магнитовтягивающей силы, воздействующей на якорь-сердечник, приведены в работах [1,2]. Автором систематизированы отдельные положения из этих работ [1,2]. На основании чего, был разработан метод определения режимных и конструктивных параметров электромеханической части ЭДГ, системы топливоподачи транспортного двигателя, сущность которого приведена ниже.

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является: обоснование выбора основных параметров электромеханической части узла; разработка методики для определения режимных и конструктивных параметров электромеханической части ЭДГ, установленного в системе топливоподачи транспортного двигателя автотранспортного средства.

Сущность предлагаемой методики

При подаче напряжения на обмотку возбуждения катушки электромагнита, возникает магнитовтягивающая сила (открывающая сила), которая притягивает якорь-сердечник к задней части (торцу) стопора катушки. Обратная торцевая сторона якоря-сердечника представляет собой уплотнительное устройство, в котором закреплена резиновая прокладка толщиной 1,5 – 2,0 мм. Таким образом, в конструкции электромагнитного дозатора газа якорь-сердечник соленоидного типа является одновременно перепускным клапаном-сердечником и обеспечивает подачу (либо отсечку) газа во впускную систему ДВС.

Схема ЭДГ с перепускным клапаном-сердечником приведена на рис.1, а статические характеристики основных параметров электромагнитного дозатора представлены на рис. 2 [1].

При прекращении подачи напряжения на обмотку катушки ЭДГ, предварительно сжатая пружина (закрывающая сила, равная $F_3 = z_d$

$b_{pr} \cdot [z_0 + z_d]$) передвигает клапан-сердечник в исходное первоначальное положение, и подача рабочего тела из полости газовой рампы прекращается. Здесь: b_{pr} – жесткость пружины, Н/мм; z_0 – начальное положение предварительно сжатой пружины, м; z_d – рабочий ход (максимальное перемещение) якоря-сердечника, м.

Наружный диаметр пружины дозатора газа определяем соответственно следующим выражением

$$D_p = \sqrt{\frac{E_r \cdot d_{pd}^4 \cdot 10^6}{8 \cdot n_v \cdot b_{pr}}}, \quad (1)$$

где: E_r – модуль упругости при сдвиге материала, Па; d_{pd} – средний диаметр пружины дозатора газа, м; n_v – число витков пружины, шт; b_{pr} – жесткость пружины, Н/м;

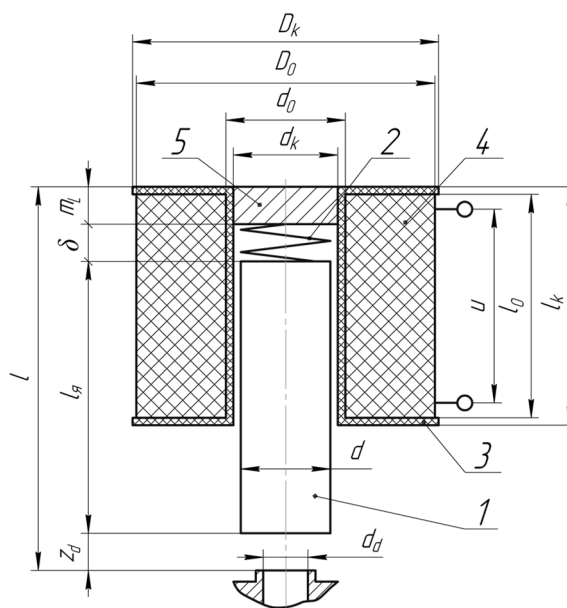


Рис. 1. Схема электромагнитного дозатора газа: 1 – клапан-сердечник перепуска газа; 2 – предварительно сжатая пружина; 3 – корпус катушки; 4 – обмотка катушки; 5 – упор; D_k и d_k – наружный и внутренний диаметры электромагнитной катушки; l – длина корпуса катушки

Начальное усилие предварительно сжатой пружины выразим соотношением, Н;

$$F_{pr.min} = b_{pr} \cdot z_0. \quad (2)$$

Максимальное усилие пружины дозатора

газа определяем по формуле, Н;

$$F_{pr.max} = b_{pr} \cdot z_d + F_{pr.min} \quad (3)$$

Начальное положение якоря относительно торцевой части корпуса катушки электромагнитного дозатора газа, выразим уравнением, м

$$z_{нач} = l - (l_y + \delta + z_d + m_L) = 0, \quad (4)$$

где: l - расстояние от седла плоского клапана до конца электромагнита, м; l_y - длина якоря, м; δ - максимальное расстояние между стопором и торцом якоря, м; z_d - максимальное перемещение клапана-сердечника, м; m_L - длина стопора, м;

Конечное положение якоря относительно корпуса катушки электромагнита дозатора выразим следующей зависимостью, м

$$z_{кон} = l - (l_y + \delta + m_L) = z_d \quad (5)$$

Максимальную намагничивающую силу электромагнита [2, с. 260], можно (получить при заданных габаритах обмотки и превышении температуры, равной допустимому τ_δ), выразив последнюю следующим соотношением, Н

$$\theta_m = l_k \cdot \sqrt{\frac{\tau_\delta}{A + \alpha_t \cdot \tau_\delta} \cdot \kappa_\tau \cdot \frac{f_k}{\rho} \cdot (D_0 - d_0)}, \quad (6)$$

где: D_0 и d_0 - наружный и внутренний диаметры катушки обмотки, м; κ_τ - коэффициент теплоотдачи материала (меди), Вт/(м²·°C); ρ - удельное сопротивление материала, Ом·м; α_t - коэффициент температуропроводности материала провода обмотки; f_k - коэффициент заполнения катушки; A - коэффициент приведения; τ_δ - температура обмотки при работе в кратковременном режиме, °C.

Коэффициент приведения [2, с. 254] можно представить следующей зависимостью

$$A = 1 + \alpha_t \cdot (T_0 + 20), \quad (7)$$

здесь: T_0 - температура окружающей среды, °C.

Наружная поверхность обмотки вычисляется по формуле [2, с. 228], м²

$$S_{бок} = 2 \cdot \pi \cdot (D_0 \cdot l_0), \quad (8)$$

где: l_0 - диаметр обмотки катушки, м.

Допустимая величина подводимой мощности (согласно, технических требований режима работы и нагрева катушки), может быть определена при помощи следующего уравнения [2, с. 255], Вт

$$P_\delta = \tau_\delta \cdot (1 + \alpha \cdot \tau_\delta) \cdot \kappa_\tau \cdot S_{бок} \quad (9)$$

Температура перегрева обмотки относительно окружающей среды находится из соотношения [2, с. 247], °C

$$\tau_n = \frac{C_m \cdot G_m}{\kappa_\tau \cdot S_{бок}}, \quad (10)$$

где: C_m - теплоемкость материала (меди), Дж/(кг·°C); если рассматривать катушку электромагнита как изотермическое тело, тогда, G_m - масса обмотки катушки, кг/с.

Температура обмотки при работе в кратковременном режиме определяется следующим образом [2, с. 247], К

$$\tau_\delta = \vartheta_{dd} - 35, \quad (11)$$

здесь: ϑ_{dd} - значения допустимой рабочей температуры изоляции (например, для класса А), °C.

Средний диаметр проволоки в обмотке катушки находится из условия [2, с. 226], м

$$D_{cp.0} = \frac{(D_0 + d_0)}{2} \quad (12)$$

Требуемый диаметр проволоки для обмотки катушки находится из формулы [2, с. 226], м

$$d_p = \sqrt{4 \cdot \rho \cdot D_{cp.0} \cdot \frac{\theta_m}{u}}, \quad (13)$$

где: u - напряжение в бортовой сети автомобиля, В.

Полный диаметр магнитопровода вычисляется из соотношения, м

$$d_{\text{п}} = d_p + 2 \cdot \Delta_{\text{из}}, \quad (14)$$

здесь: $\Delta_{\text{из}}$ – толщина изоляции магнитопровода, м.

Число витков в обмотке электромагнита определяется следующим выражением [2, с. 227], шт

$$w_v = f_y \cdot (D_0 - d_0) \cdot \frac{l_0}{2 \cdot d_n^2}. \quad (15)$$

Последовательную магнитную цепь (без учета рассеивания), но с учетом воздушного зазора, проводимость (в зазоре G_{δ}) известна, и ее можно записать тождеством [2, с. 72], Н

$$\begin{aligned} \theta_m = \theta + \theta_{\delta} &= \Phi \cdot \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu \cdot S} + \Phi \cdot \frac{l}{G_{\delta}} = \\ &= \frac{B \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu} + \frac{B \cdot l}{G_{\delta}}, \end{aligned} \quad (16)$$

где l – длина провода обмотки, м; Φ – магнитный поток, Ф; B – магнитная индукция, Гс; μ – магнитная проницаемость материала при определенной температуре, Гс; μ_0 – начальная магнитная проницаемость, Гс; S – площадь поперечного сечения обмотки, м²; G_{δ} – магнитная проводимость в зазоре, Мкс/А.

Условно, можно считать, что намагничивающая сила θ_m раскладывается на две составляющие части: одна часть, отнесенная к воздушному зазору

$$\theta = H \cdot l = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu} = \frac{u \cdot w_0}{R_0}, \quad (17)$$

где R_0 – сопротивление обмотки, Ом; и другая часть, создающая поле в магнитопроводе

$$\theta_{\delta} = \frac{B \cdot l}{G_{\delta}} = \theta_m - \theta. \quad (18)$$

Сила электромагнитного притяжения якоря-сердечника с учетом воздушного зазора будет иметь следующий вид [2, с. 72], Н

$$F_{el.n} = -5.1 \cdot 10^{-8} (\theta_{\delta})^2 \left[-\frac{dG_{\delta}}{dz_d} + g_s \left(\frac{l_a}{l_k} \right)^2 \right]. \quad (19)$$

Производную магнитной проводимости можно представить следующим образом [2, с. 191]

$$\frac{dG_{\delta}}{dz_d} = -1,256 \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4 \cdot z_d^2}. \quad (20)$$

Выражение для магнитной проводимости воздушного зазора определяется соотношением [2, с. 191], Мкс/А

$$G_{\delta} = 1.254 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_p^2}{4 \cdot z_d} + 0.58 \cdot d_p \right). \quad (21)$$

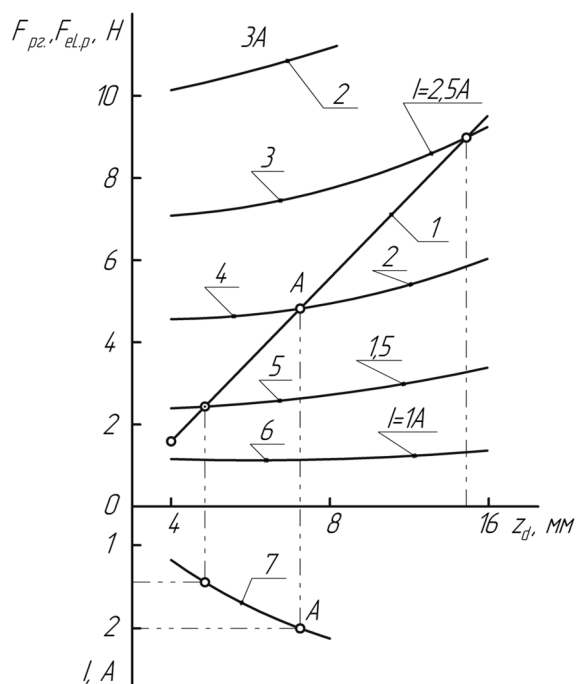


Рис. 2. Статические характеристики электромагнита с пружиной: 1- характеристика пружины; F_{pr} – усилие, создаваемое пружиной дозатора газа 2 – 6 – усилия электромагнита в зависимости от значений силы тока I ; $F_{el.p}$ – сила электромагнитного притяжения якоря-сердечника с учетом воздушного зазора; 7 – равновесная кривая тока в зависимости от изменения подъема клапана z_d .

Удельная магнитная проводимость рассеивания между якорем и корпусом находится из соотношения [2, с. 304], Гн/м

$$g_s = \mu_0 \cdot \pi \cdot \frac{2}{\ln\left(\frac{D_k}{d}\right)}, \quad (21)$$

Магнитный поток, проходящий через воздушный зазор, выразим таким соотношением, Φ

$$\Phi_\delta = \theta_\delta \cdot G_\delta. \quad (22)$$

Магнитный поток, проходящий через паразитный зазор, запишем следующим равенством [2, с. 101], Φ

$$\Phi_e = \Phi_\delta \cdot \left[1 + \frac{g_s \cdot l_{я.p}}{G_\delta \cdot l_{к.p}} \cdot \frac{l_{я.}}{2} \cdot \left(2 - \frac{l_{я.}}{l_{к.p}} \right) \right]. \quad (23)$$

Основное паразитное сопротивление на пути магнитного потока, создаваемое зазором между поступательно движущимся якорем и охватывающим его неподвижным статором, которое называется радиальной силой, представим в виде [2, с. 282], Н

$$F_{pad} = 4,06 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\Phi_e}{\pi d^2} \cdot \frac{d^2 \varepsilon}{h_e \sqrt{e_{min}^2 - \varepsilon^2}}, \quad (24)$$

где: Φ_e – магнитный поток, проходящий через паразитный зазор, Φ ; ε – эксцентриситет между осями якоря и катушки, м; h_e – осевая длина воротничка, м; e_{min} – наиболее благоприятный размер паразитного (пассивного) зазора, м.

Паразитный зазор в электромагните приведен на рис.3.

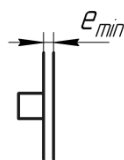


Рис. 3. Размер пассивного зазора в электромагните между корпусом и клапаном-сердечником

Выражение для проводимости в радиальном зазоре можно определить следующим образом [2, с. 199], Мкс/А

$$G_e = 1,256 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot h_e}{\ln \left[1 + a \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{2}{a} + 1} \right) \right]}, \quad (25)$$

$$\text{где: } a = 2 \cdot \frac{e_{min}^2 - \varepsilon^2}{d^2}.$$

Коэффициент рассеивания, соответствующий полной длине якоря равен [2, с. 283]

$$\sigma_e = \frac{\Phi_e}{\Phi_\delta}. \quad (26)$$

Наиболее благоприятный минимальный размер паразитного зазора определяется выражением [2, с. 283], м

$$e_{min} = \sqrt{0,5 \cdot k_f \cdot \sigma_e \cdot z_d \cdot \varepsilon + \varepsilon^2}, \quad (27)$$

где: k_f – коэффициент трения между корпусом (металлом) и сердечником (металлом); коэффициент трения при движении по сухой поверхности трущейся пары.

Вследствие наличия радиальной силы F_{pad} создается сила трения, которая действует вдоль оси якоря, уменьшает полезную тяговую силу. Уменьшение полезной работы выразится величиной [2, с. 282] равной,

$$F_{mp} = k_f \cdot 4,06 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\Phi_e}{\pi d_y^2} \cdot \frac{\varepsilon}{h_e \sqrt{e_{min}^2 - \varepsilon^2}}. \quad (28)$$

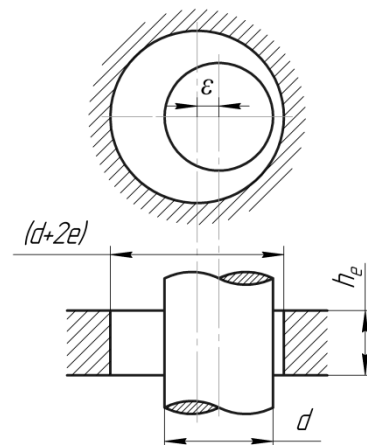


Рис. 4. К определению радиальной силы, действующей на эксцентрично расположенный полюс

Для того, чтобы скомпенсировать эту вели-

чину, необходимо соответственно увеличить электромагнитную силу [2, с. 283], действующую на якорь. Это потребует увеличения длины катушки примерно на

$$\Delta l_k = \frac{F_{mp}}{F_{el.n}} \cdot \frac{l_{k.p}}{2}. \quad (29)$$

Как видно из рис.4, необходимое увеличение длины катушки при данном эксцентриситете ε будет тем больше, чем меньше паразитный зазор e_{min} .

С другой стороны, при уменьшении величины e_{min} уменьшается размер пассивного участка обмотки, требующего для проведения магнитного потока через паразитный зазор [2, с. 283] увеличения длины катушки.

Размер воротничка приведен на рис. 4. Размер пассивного участка можно записать следующим образом:

$$(l_{я} - l_{я.p}) = \frac{\Phi_e}{\theta_n \cdot G_e} = l_{к.р} \cdot \frac{G_{\delta}}{G_e} \cdot \sigma_e. \quad (30)$$

Осевая длина воротничка определяется уравнением [2, с. 284], м

$$h_e = \frac{D_{\kappa}}{d} \cdot \sqrt{\frac{l_{к.р} \cdot G_{\delta} \cdot \sigma_e \cdot e_{min}}{2 \cdot \pi \cdot d}}. \quad (31)$$

Увеличение осевой длины воротничка приводит к увеличению проводимости пассивно-

го зазора и, соответственно, снижению размера пассивного участка. А это, в свою очередь, приводит к увеличению длины и массы электромагнита ЭДГ за счет удлинения сердечника и воротничка.

Выводы

Методика определения режимных и конструктивных параметров электромеханической части электромагнитного дозатора газа, системы топливоподдачи транспортного двигателя, используется в дальнейшем:

- для построения статических характеристик основных параметров электромагнитного дозатора;
- для разработки модели с целью исследования динамических свойств поступательного движения клапана-сердечника ЭДГ;

Литература

1. Крутов В.И. Сборник задач по автоматическому регулированию двигателей внутреннего сгорания. - М.: "Машиностроение", 1990.- 320 с.
2. Гордон В.Г. Электромагниты постоянного тока / Гордон В.Г. и Сливинская А.Г. // М-Л.: Энергоиздат, 1960.- 448 с.

Рецензент А.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редколлегию 20.04.2015