

УДК 621.43.044.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ КАТУШКИ ЗАЖИГАНИЯ С ЗАМКНУТОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ

Чепланов В.И., Голубчик Т.В., Лазарев Д.Б.

*ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,
Москва, Россия (125319, Москва, Ленинградский проспект, 64), tvgolubchik@mail.ru*

Последние годы наблюдается интенсивное развитие оригинальных конструкций катушек зажигания для современных автомобильных двигателей. В значительной мере это связано со стремлением конструкторов ДВС достичь максимального наполнения цилиндров поршневого ДВС. Основным методом решения этой задачи является увеличение количества впускных и соответственно выпускных газораспределительных клапанов. Конструкция газораспределительной головки цилиндров при этом существенно усложняется, и усложняется доступ к зажигательной свече для подвода высокого напряжения и установочного инструмента. Практически все конструкторы ДВС настаивают на отказе от высоковольтного распределения искр по цилиндрам двигателя и установке источника высокого напряжения (катушки) непосредственно на свечу, предоставляя для этой цели только цилиндрический колодец в корпусе головки. Максимальный диаметр этого колодца определяется размером установочного инструмента (торцевого ключа) для свечи с минимально возможным диаметром ввертной части. В большинстве известных конструкций диаметр колодца составляет 20–25 мм. Этот диаметр и высота головки цилиндров практически и определяют минимальные габаритные размеры катушки зажигания.

Ключевые слова: двигатель, катушка зажигания, замкнутая магнитная система, искра, высоковольтное распределение, стержневая катушка.

GEOMETRIC DIMENSIONS IGNITION COIL WITH CLOSED MAGNETIC SYSTEM

Cheplanov V.I., Golubchik T.V., Lazarev D.B.

"Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI)", Moscow, Russia (Leningrad Prospect, Moscow, 64125319), tvgolubchik@mail.ru

Recent years have seen the rapid development of original designs ignition coils for the modern automobile engines. This is largely due to the desire of designers to achieve maximum engine cylinder filling piston engine. The basic method of solving this problem is to increase the amount of intake and exhaust gas distribution valves respectively. The design of the gas distribution of the cylinder head with the much more complex and more difficult access to the incendiary spark for the high voltage supply and installation tool. Almost all designers ICE insist on the rejection of a high-voltage distribution sparks on the engine cylinders and installation of high voltage source (coil) directly on the candle, providing for this purpose only a cylindrical well in the housing head. The maximum diameter of the well is determined by the size of the installation tool wrench for the candle with the smallest possible diameter of the screw. Most of the well-known designs diameter of 20–25mm. The diameter and height of the cylinder head and practically define the minimum dimensions of the ignition coil.

Keywords: engine, ignition coil, a closed magnetic system, the spark, high-voltage distribution, rod reel.

Введение

Последние годы наблюдается интенсивное развитие оригинальных конструкций катушек зажигания для современных автомобильных двигателей. В значительной мере это связано со стремлением конструкторов ДВС достичь максимального наполнения цилиндров поршневого ДВС. Основным методом решения этой задачи является увеличение количества впускных и соответственно выпускных газораспределительных клапанов. Конструкция газораспределительной головки цилиндров при этом существенно усложняется, и усложняется доступ к зажигательной свече для подвода высокого напряжения и установочного инструмента. Практически все конструкторы ДВС настаивают на отказе от

высоковольтного распределения искр по цилиндрам двигателя и установке источника высокого напряжения (катушки) непосредственно на свечу, предоставляя для этой цели только цилиндрический колодец в корпусе головки. Максимальный диаметр этого колодца определяется размером установочного инструмента (торцевого ключа) для свечи с минимально возможным диаметром свертной части. В большинстве известных конструкций диаметр колодца составляет $\approx 20\text{--}25$ мм. Этот диаметр и высота головки цилиндров практически и определяют минимальные габаритные размеры катушки зажигания. Соответственно конфигурацию катушки принято называть стержневой [2, 3]. Однако все увеличивающиеся требования по величине энергетических показателей катушек не позволяют вписать полностью ее габаритные размеры в предлагаемый конструкторами объем. В связи с этим возникает необходимость рассмотреть различные варианты повышения их удельных показателей.

Материал и методы расчета

Существующие варианты исполнения конструкции стержневых катушек определили два основных направления по повышению их удельных показателей:

- при замкнутой магнитной системе – минимизация размеров магнитной цепи за счет выбора оптимального выбора конфигурации и свойств магнитопровода;
- при разомкнутой магнитной системе – введение в магнитную цепь катушки постоянных магнитов.

Настоящая статья посвящена расчетному анализу первого направления.

Исходными уравнениями для расчета являются два электротехнических уравнения индуктивности:

$$L_1 = w_1^2 \cdot G, \quad (1)$$

где: w_1 – количество витков первичной обмотки ;

G – проводимость магнитной цепи, сцепленной с витками обмотки катушки;

$$L_1 = \frac{\Psi}{I} = \frac{\Phi w_1}{I_p} = \frac{B_c S \cdot 10^{-4} \cdot w_1}{I_p}, \quad (2)$$

где: B_c – индукция в стали сердечника;

S_c – сечение сердечника;

I_p – максимальное значение тока в обмотке (тока разрыва в катушке зажигания).

Для обычно применяемых сталей сердечника индукция в стали $B_c \approx 0.9 \div 1.5 \text{ Тл}$

При определении значений B_c по кривым намагничивания для расчета следует принимать значения B_c , находящиеся только на линейной части кривой.

Из (2) определяем значения

$$S_c w_1 = \frac{L_1 I_p}{B_c} \cdot 10^4, \quad (3)$$

То, что находится в правой части уравнения (за исключением B_c), нами определено при электрическом расчете. Значения L_1 и I_p определяют запасаемую катушкой энергию.

В левой части уравнения этой энергии сопоставлено произведение $S_c w_1$. Одно и то же значение $S_c w_1$, соответствующее заданному уровню энергии, может быть получено при больших сечениях и, соответственно, малом количестве витков. И, наоборот, при большом количестве витков потребуется малое сечение магнитопровода. Если не существует каких-либо других ограничений, то выбор соотношения S_c и w_1 диктуется, в первом случае, экономией медного провода, а во втором – уменьшением габаритов и снижением веса катушки.

Однако при конструировании катушки для системы зажигания высокой энергии имеется важный параметр, который диктует однозначный выбор упомянутого соотношения. Этот параметр – активное сопротивление первичной обмотки катушки R_1 , определяемое на стадии электрического расчета [1].

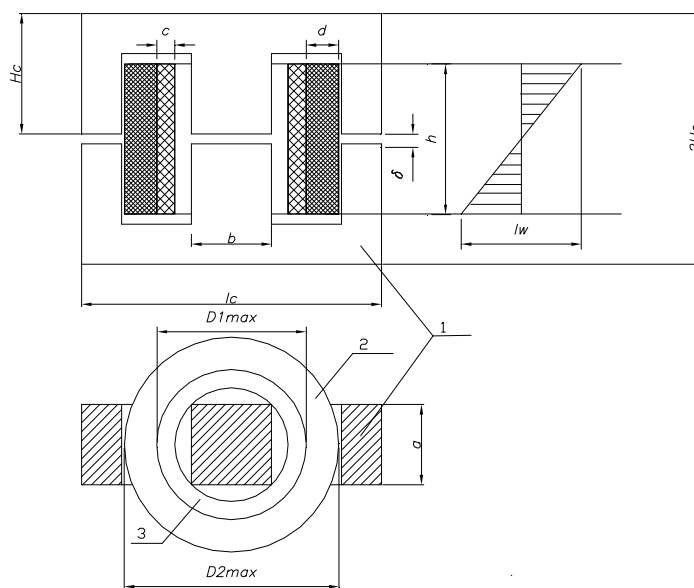


Рис. 1. Эскиз магнитной системы катушки

где: 1 – Ш-образный, наборный сердечник, разрезной;

2 – вторичная обмотка;

3 – первичная обмотка;

a – толщина сердечника;

b – ширина центрального стержня;

c – ширина сечения первичной обмотки;

d – ширина сечения вторичной обмотки;

h – высота обмотки;

δ – толщина зазора.

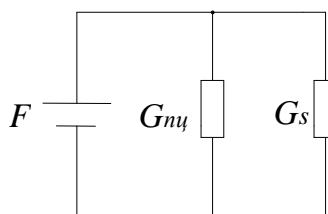


Рис. 2. Схема замещения

где: $F=I_p w_1$ – магнитодвижущая сила;

G_{nu} – проводимость последовательной цепи магнитопровода;

G_s – проводимость рассеяния.

Общая проводимость магнитной цепи определяется согласно (рис.2):

$$G = G_{nu} + G_s, \quad (4)$$

$$G_{nu.} = \frac{1}{R_l + R_\delta} = \frac{1}{\frac{l_{cp}}{\mu_c S_c k_3 \cdot 10^{-4}} + \frac{\delta}{Sk_\epsilon 0.4\pi \cdot 10^{-8}}}, \quad (5)$$

где l_{cp} – длина средней силовой линии магнитного потока по стали в см.;

μ_c – магнитная проницаемость стали при данной индукции (по кривым, имеющимся в справочнике). Размерность в $\frac{Tл}{A / см}$.

S_c – площадь поперечного сечения магнитопровода;

k_3 – коэффициент заполнения сечения сталью (0.9-0.95);

$\delta = \delta_1 + \delta_2$ – суммарный воздушный зазор;

κ_ϵ – коэффициент выпучивания, учитывающий увеличение площади воздушных промежутков вследствие выпучивания;

Диаметр провода первичной обмотки

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{max}}{\pi [\sigma]_{дон}}}, \quad (6)$$

Где I_{max} – максимальное значение действующего (эффективного) тока в катушке;

Рекомендуемая плотность тока $[\sigma]$ - 8 А/мм².

Средний диаметр первичной обмотки:

$$D_{cp} = \frac{R_1 \cdot d_1^2}{4\rho \cdot w_1},$$

(7)

Из определения понятия о среднем диаметре:

$$D_{cp} = \frac{D_{max} + D_{min}}{2}, \quad (8)$$

определим $D_{max} = 2D_{cp} - D_{min}$; или, подставляя значения, получим:

$$D_{max} = \frac{R_1 \cdot d_1^2}{2\rho \cdot w_1} - a\sqrt{2}, \quad (9)$$

Разность $(D_{max} - D_{min})/2 = c = (\frac{R_1 d_1^2}{2\rho \cdot w_1} - 2a\sqrt{2})/2 = (D_{cp} - D_{min})$ или:

$$c = D_{cp} - a\sqrt{2}, \quad (10)$$

$$S_{w1} = c \cdot h, \quad (11)$$

где: h – высота обмотки (рекомендуемое значение $h = (3 - 4)c$);

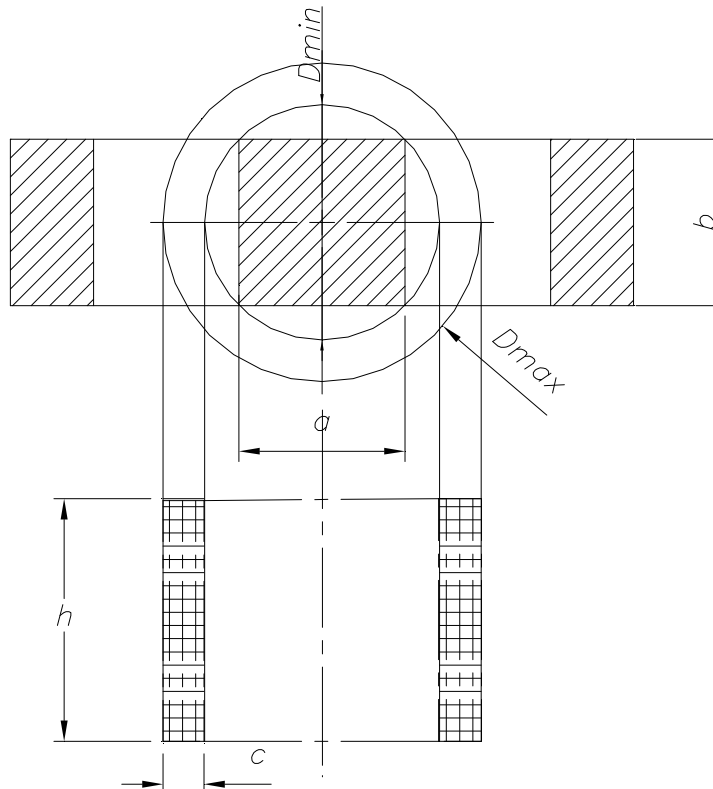


Рис. 3. Осевое сечение первичной обмотки

Формула (11) определяет значения площади окна первичной обмотки S_{w1} , которые при вариациях сечения сердечника S_c обеспечивают заданные значения сопротивления первичной обмотки R_1 .

Среди этих значений площади S_{w1} существует только одно значение, при котором заполнение окна выбранного сердечника обмоткой оптимально. Нахождение этого значения площади S_{w1} приводится ниже.

Определение площади сечения обмотки может производиться исходя из выбранного диаметра провода, известного числа витков обмотки, а также нормируемых коэффициентов заполнения окна обмотки проводом, изоляционной бумагой т.п.

$$S_{w1p} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot w_1 k_{zm} k_{zб} k_{zn}, \quad (14)$$

Произведение $k_{zm} k_{zб} k_{zn}$ может быть заменено одним коэффициентом k_{zo} , при достаточно установившейся технологии изготовления катушек.

Расчет диаметров вторичной обмотки производится аналогично. При этом за D_{min} вторичной обмотки может быть принят D_{max} первичной обмотки. Диаметр провода вторичной обмотки d_2 принимается равным 0.05–0.07мм. Целесообразно сразу воспользоваться формулой для площади окна вторичной обмотки, аналогичной формуле (14):

$$S_{w2p} = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot w_2 k_{zm} k_{zб} k_{zn}, \quad (15)$$

Зная S_{w2p} , можно определить толщину вторичной обмотки, задаваясь уже известной общей высотой обмоток h . На рис. 4. представлен эскиз расположения первичной и вторичной обмоток.

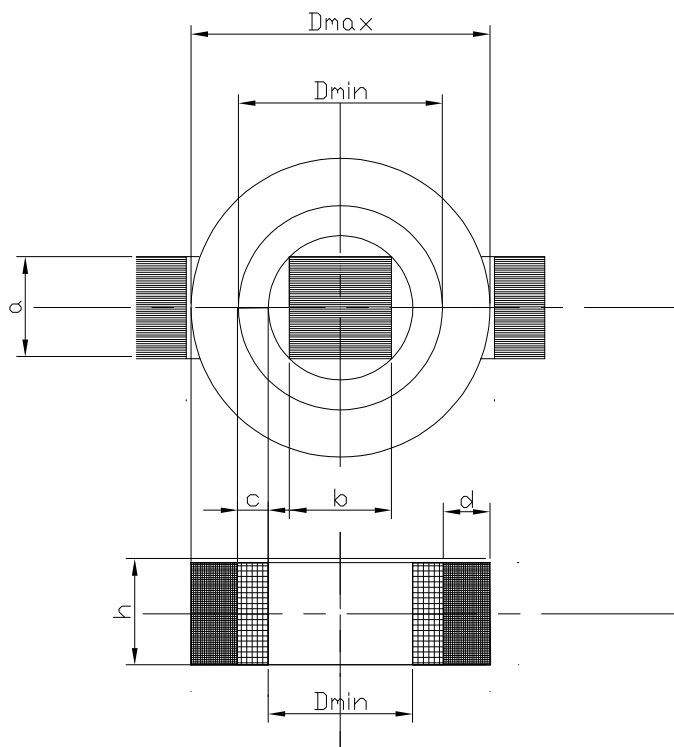


Рис. 4. Расположение первичной и вторичной обмоток

Величина зазора определяется согласно чертежу по формуле, получаемой из (4) в предположении, что проводимостью рассеяния пренебрегаем.

$$G_{н.ц.} = \frac{L_1}{w_1^2} = \frac{1}{\frac{l_{cp}}{\mu S k_{zc} \cdot 10^{-4}} + \frac{\delta}{S k_e \cdot 0,4\pi \cdot 10^{-8}}}, \quad (16)$$

отсюда:

$$\delta = \left(\frac{1}{G_{нц}} - \frac{l_{cp}}{\mu S k_{zc} \cdot 10^{-4}} \right) S k_e \cdot 0,4\pi \cdot 10^{-8} = \left(\frac{w_1^2}{L_1} - \frac{l_{cp}}{\mu S k_{zc} \cdot 10^{-4}} \right) S k_e \cdot 0,4\pi \cdot 10^{-8}. \quad (17)$$

Значения w_1 определяем из (рис. 4.). Значения длины средней линии l_{cp} определяем по чертежу магнитопровода для выбранного сечения ($S = a \cdot b$).

Коэффициент заполнения площади сталью k_{zc} принимаем равным 0,95. Коэффициент выпучивания k_e принимаем равными 1,1.

Заключение

Представленный расчет позволяет реализовать оптимальную по габаритным размерам конструкцию магнитной системы катушки зажигания, однозначно соответствующую определенными ранее электрическим расчетом энергетическим параметрам катушки.

Список литературы

1. Арнольд Р.Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. – М.: Энергия, 1969. – С. 175.
2. Балагуров В.А. Аппараты зажигания. – М.: Машиностроение, 1968. – С. 479.
4. Балбашов А.М., Червоненкис А.Я. Магнитные материалы для микроэлектроники. – М.: Энергия, 1979.
4. Епифанов А.П. Электромеханические преобразователи энергии. – Изд-во «Лань», 2000.
5. Системы управления бензиновыми двигателями / Пер. с нем. – Первое рус. изд. – М.: ООО «Кн. изд-во «За рулем», 2005. – С. 432.

Рецензенты:

Ютт В.Е., д.т.н. профессор, зав. кафедрой «Электротехника и электрооборудование», ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва.

Марсов В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», ФГБОУ ВПО ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва.