

УДК 621.43.04

Францев Сергей Михайлович

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
Россия, Пенза¹
Доцент кафедры
Кандидат технических наук
E-Mail: fsm8@mail.ru

Кавторев Александр Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
Россия, Пенза
Студент
E-Mail: Kavtoreva@mail.ru

Обеспечение бесперебойности искрообразования в межэлектродном зазоре свечи зажигания

Аннотация. Величина межэлектродного зазора свечи зажигания оказывает существенное влияние на показатели двигателя. Его увеличение позволяет снизить расход топлива и улучшить токсичность отработавших газов.

Однако, чрезмерное увеличение межэлектродного зазора влечет перебои в искрообразовании между электродами свечи зажигания из-за недостаточной скорости нарастания и величины развиваемого вторичного напряжения системой зажигания.

Для определения критического межэлектродного зазора свечей зажигания свыше которого не обеспечивается их бесперебойная работа, были проведены исследования с системами зажигания, формирующими вторичное напряжение с различными скоростями нарастания.

Испытания показали, что увеличение до определенной величины плотности воздуха в межэлектродном промежутке свечи зажигания и соответственно пробивного напряжения вызывает поверхностный пробой высокого напряжения по изолятору между корпусом и высоковольтным выводом свечи, т. е. возникают пропуски процесса искрообразования в нем.

В результате обработки экспериментальных данных получены регрессионные зависимости критического зазора свечей зажигания как при прямой полярности вторичного напряжения, так и обратной.

Таким образом, для двигателя с высокой плотностью топливовоздушной смеси в цилиндре выбор межэлектродного зазора свечей зажигания для обеспечения бесперебойности искрообразования должен осуществляться не только в соответствии со скоростью нарастания вторичного напряжения и плотностью смеси, но и, как показали результаты исследований, в соответствии с полярностью вторичного напряжения в системе зажигания.

Ключевые слова: система зажигания; искровой разряд; искровое зажигание; катушка зажигания; двигатель внутреннего сгорания; электрооборудование; свеча зажигания.

Идентификационный номер статьи в журнале 34TVN314

¹ 440028, Россия, г. Пенза, ул. Беляева, 16, ауд. 5206

Величина межэлектродного зазора свечи зажигания оказывает существенное влияние на показатели двигателя. Увеличение межэлектродного зазора позволяет снизить расход топлива и улучшить токсичность отработавших газов [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Однако, чрезмерное увеличение межэлектродного зазора влечет увеличение пробивного напряжения между электродами свечи, что создает повышенные электрические нагрузки на элементы вторичной цепи системы зажигания и могут наблюдаться перебои в искрообразовании между электродами свечи зажигания.

Перебои в искрообразовании возникают из-за недостаточной скорости нарастания и величины развиваемого вторичного напряжения системой зажигания.

Известно, что, в соответствии с законом Пашена, пробивное напряжение зависит от величины межэлектродного зазора свечи зажигания, плотности газа, скорости нарастания вторичного напряжения dU_2/dt [7].

Для определения критического межэлектродного зазора свечей зажигания свыше которого не обеспечивается их бесперебойная работа, были проведены исследования с экспериментальными конденсаторными системами зажигания (КСЗ), формирующими вторичное напряжение со скоростями нарастания 0,5, 0,7 и 1,4 кВ/мкс [8]. Данные скорости нарастания вторичного напряжения обеспечиваются с катушками зажигания Б115-В2, 27.3705 и 406.3705 соответственно.

Определение значений времени нарастания вторичного напряжения производилось в интервале между 1,5 и 15 кВ [11].

Скорость нарастания вторичного напряжения КСЗ определяется параметрами катушки зажигания, емкостью накопительного конденсатора, величиной напряжения приложенного к первичной обмотке катушки зажигания и величиной емкости вторичной цепи катушки зажигания. Высокая скорость изменения тока в первичной цепи катушки зажигания и соответственно высокая скорость изменения магнитного потока $d\Phi/dt$ и соответственно, вторичного тока, за счет меньшей индуктивности рассеяния и меньшей индуктивности обмоток катушки зажигания с замкнутым магнитопроводом (406.3705, 3009.3705), по сравнению с катушками зажигания с разомкнутым магнитопроводом (Б115В2, 27.3705), приводит к более быстрому заряду сосредоточенных емкостей вторичной обмотки катушки зажигания, свечи зажигания и распределенных емкостей высоковольтного провода, т.е. к более быстрому росту вторичного напряжения. Увеличение $d\Phi/dt$ приводит к увеличению максимума развиваемого вторичного напряжения. Проведенный эксперимент показал, что развиваемое вторичное напряжение с катушкой зажигания 27.3705 – 40 кВ (ограничено поверхностным перекрытием по крышке катушки зажигания между высоковольтным выводом и одной из клемм первичной обмотки), с катушкой зажигания 406.3705 – 51 кВ (ограничено внутренним пробоем изоляции вторичной обмотки) при следующих условиях: шунтирующее сопротивление параллельное межэлектродному зазору $R_{ш} = 1 \text{ МОм}$, шунтирующая емкость параллельная межэлектродному зазору $C_{ш} = 50 \text{ пФ}$. Согласно [12], максимум вторичного напряжения, развиваемого транзисторной системой зажигания в накоплении энергии в магнитном поле катушки зажигания (ТрСЗ) с катушкой зажигания 27.3705 при $R_{ш} = 1 \text{ МОм}$, $C_{ш} = 50 \text{ пФ}$ и напряжении питания 12 В составляет 26 кВ.

Максимум вторичного напряжения ТрСЗ определяется параметрами катушки зажигания (коэффициентом трансформации, индуктивностями и омическими сопротивлениями обмоток, емкостями обмоток и вторичной цепи), скоростью закрытия ключевого элемента и значением тока разрыва [13].

Бесперебойность искрообразования между электродами свечей зажигания оценена с использованием прибора марки Э203П, предназначенного для проверки свечей зажигания под давлением.

Из уравнения состояния идеального газа через давление находим плотность воздуха в камере прибора Э203П по формуле:

$$\rho = \frac{P_{ABC} \cdot \mu}{R \cdot T_{ABC}}, \quad (1)$$

где P_{ABC} – абсолютное давление, Па;

μ – молярная масса газа, 28,95 г/моль;

R – универсальная газовая постоянная, 8,31 Дж/(моль·К);

T_{ABC} – абсолютная температура, К.

$$P_{ABC} = P_{ИЗБ} \cdot 9,81 \cdot 10000 + P_{АТМ} \cdot 133,32, \quad (2)$$

где $P_{АТМ}$ – атмосферное давление, мм.рт.ст.;

$P_{ИЗБ}$ – избыточное давление, показания манометра прибора Э203П, кгс/см².

Давление в камере прибора при испытаниях плавно поднимали с помощью ручного насоса.

Испытания показали, что увеличение до определенной величины плотности воздуха в межэлектродном промежутке свечи зажигания и соответственно пробивного напряжения вызывает поверхностный пробой высокого напряжения по изолятору между корпусом и высоковольтным выводом свечи, к которому подключен высоковольтный провод. При поверхностном пробое искровой разряд формируется вне межэлектродного зазора свечи, т. е. возникают пропуски процесса искрообразования в нем.

Особенностью формирования искрового разряда на базе катушек зажигания с одним высоковольтным выводом является то, что полярность вторичного напряжения, прикладываемого к межэлектродному зазору свечи зажигания, можно изменять путем подключения к первичной обмотке катушки зажигания подводящих проводов с различной полярностью [7, 9, 10].

Поверхностный пробой при формировании вторичного напряжения, приложенного с обратной полярностью (боковой электрод – анод, центральный электрод – катод свечи зажигания BRISK SILVER LR15YS) выявлен при величине напряжения на 3 кВ большей, чем с прямой полярностью (рис. 1).

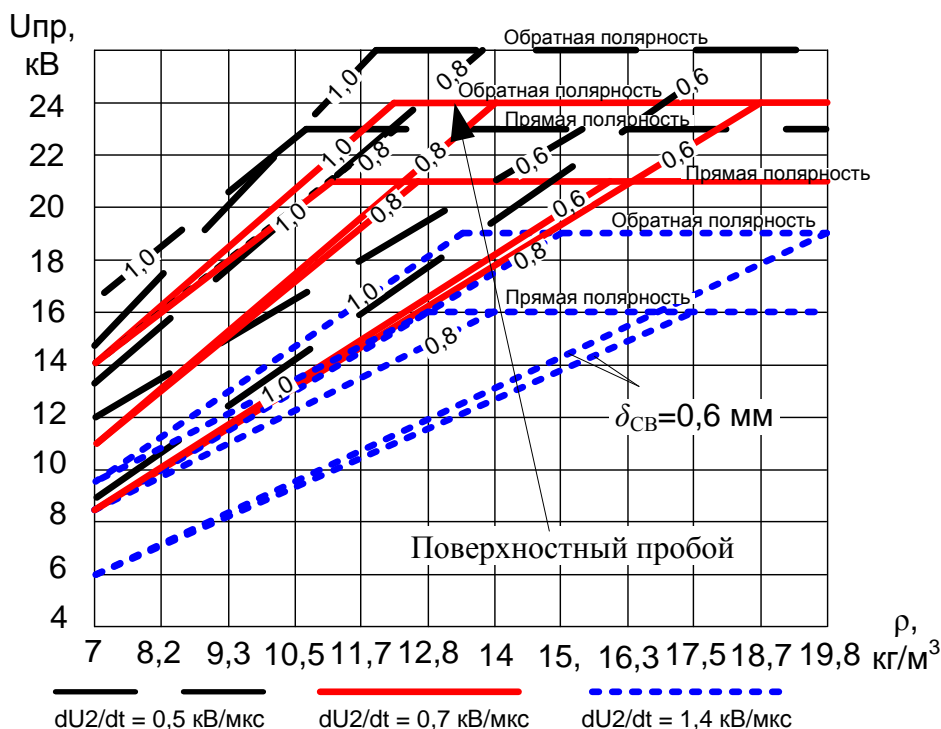


Рис. 1. Пробивное напряжение $U_{пр}$ межэлектродного зазора и напряжение поверхностного пробоя свечи зажигания BRISK SILVER LR15YS от плотности воздуха ρ в камере прибора Э203П, величины зазора свечи $\delta_{св}$, скорости нарастания вторичного напряжения dU_2/dt с прямой и обратной его полярностью ($P_{АТМ} = 745$ мм.рт.ст., $T_{АБС} = 293$ К)

Различия в величинах пробивного напряжения объясняется неоднородностью электрического поля из-за различия форм поверхностей, между которыми происходит пробой. Высоковольтный вывод свечи зажигания – анод с острыми кромками характеризуется более сильным электрическим полем, что снижает величину напряжения поверхностного пробоя.

Повышение скорости нарастания вторичного напряжения позволяет снизить пробивное напряжение межэлектродного зазора свечи зажигания. Так, при повышении скорости нарастания с 0,5 до 1,4 кВ/мкс, пробивное напряжение снижается на 10 кВ (см. рис. 1).

При обратной полярности вторичного напряжения пробой происходит при более высоких пробивных напряжениях как межэлектродного зазора свечи, так и по ее изолятору (поверхностный пробой).

На рис. 2 показаны пределы бесперебойной работы свечи зажигания BRISK SILVER LR15YS от плотности воздуха, величины межэлектродного зазора свечи зажигания, скорости нарастания вторичного напряжения с прямой и обратной его полярностью.

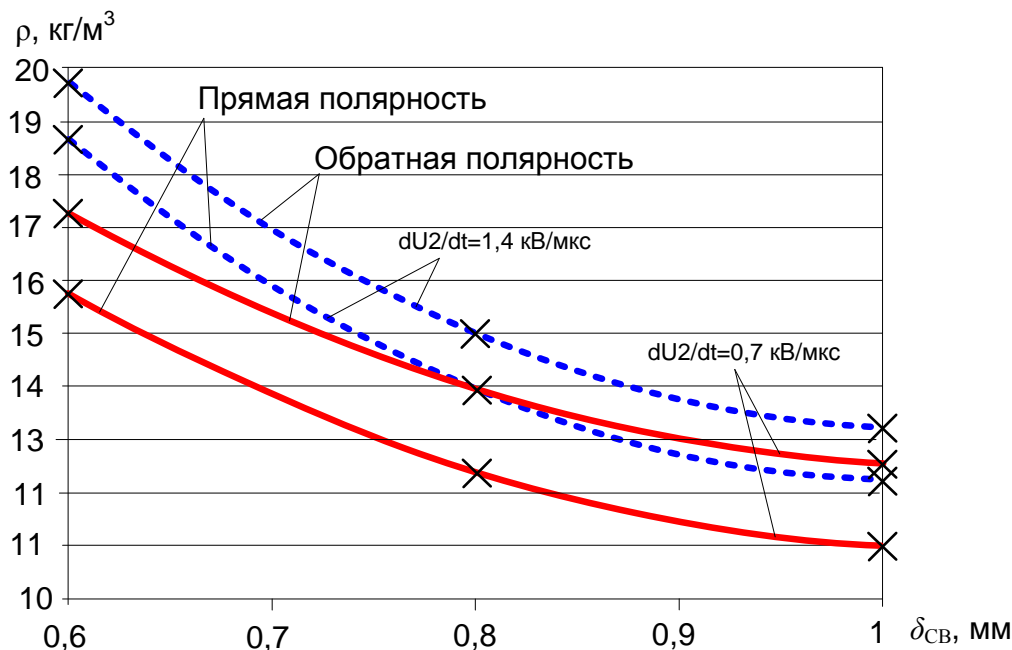


Рис. 2. Пределы бесперебойной работы свечи зажигания BRISK SILVER LR15YS от плотности воздуха ρ в камере, величины зазора свечи $\delta_{св}$, скорости нарастания вторичного напряжения dU_2/dt с прямой и обратной его полярностью

В результате обработки экспериментальных данных получены регрессионные зависимости критического зазора свечей зажигания BRISK SILVER LR15YS как при прямой полярности вторичного напряжения (3), так и обратной (4).

$$\delta_{св} = 0,526 + \exp(2,951 + 0,822 \cdot \frac{dU_2}{dt} - 0,386 \cdot \rho), \quad (3)$$

$$\delta_{св} = 0,545 + \exp(2,937 + 0,475 \cdot \frac{dU_2}{dt} - 0,330 \cdot \rho), \quad (4)$$

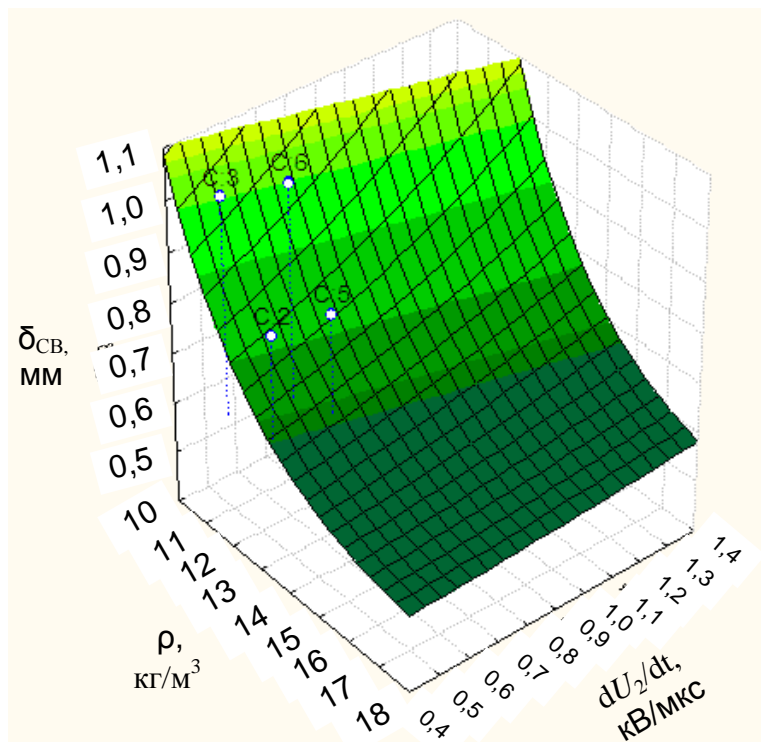
где $\delta_{св}$ – межэлектродный зазор свечи зажигания, мм;

dU_2/dt – скорость нарастания вторичного напряжения, кВ/мкс;

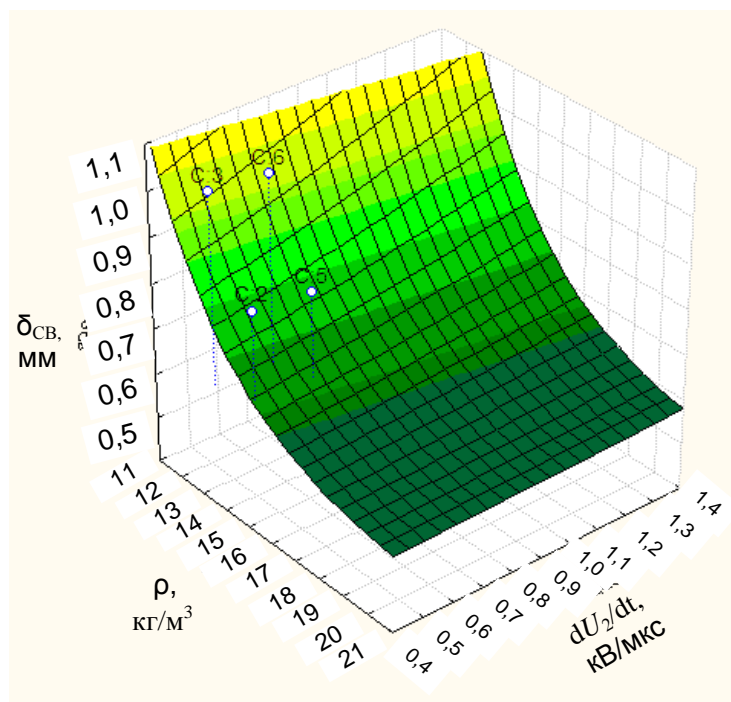
ρ – плотность воздуха в зазоре свечи, кг/м³.

Коэффициент множественной корреляции для регрессионной зависимости (3) $R=0,998$. Коэффициент множественной корреляции для регрессионной зависимости (4) $R=0,999$.

По результатам расчетов по формулам (3) и (4) построены графики изменения критической величины $\delta_{св}$ от dU_2/dt и ρ (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Критический межэлектродный зазор свечей зажигания от скорости нарастания вторичного напряжения и плотности воздуха в зазоре свечи: прямая полярность вторичного напряжения (а); обратная полярность вторичного напряжения (б)

Противоположные полярности вторичного напряжения, прикладываемые к электродам двух свечей зажигания (с одинаковыми по значению межэлектродными зазорами), включенных последовательно со вторичной обмоткой двухвыводных катушек зажигания,

например марки 406.3705, приводят к поверхностному пробоя по изолятору одной из свечей, находящейся на такте сжатия в ДВС. Устранение поверхностного пробоя по изолятору свечи, для которой полярность напряжения обусловлена пониженным напряжением поверхностного перекрытия по ее изолятору, вынуждает устанавливать уменьшенный межэлектродный зазор обеих свечей зажигания.

Таким образом, для двигателя с высокой плотностью топливовоздушной смеси в цилиндре выбор межэлектродного зазора свечей зажигания для обеспечения бесперебойности искрообразования должен осуществляться не только в соответствии со скоростью нарастания вторичного напряжения и плотностью смеси, но и, как показали результаты исследований, в соответствии с полярностью вторичного напряжения в системе зажигания из-за возникновения поверхностного пробоя по изолятору свечи.

Получена аналитическая зависимость критического значения межэлектродного зазора свечей зажигания ДВС от плотности газовой смеси, скорости нарастания, а также полярности вторичного напряжения в системе зажигания. Так, обратная полярность вторичного напряжения позволяет использовать увеличенный установочный межэлектродный зазор свечей зажигания ДВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Злотин, Г.Н. Начальный очаг горения при искровом зажигании гомогенных топливовоздушных смесей в замкнутых объемах: монография / Г.Н. Злотин, Е.А. Федянов; ВолГТУ. – Волгоград, 2008. – 152 с.
2. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями [Текст] / Т. У. Асмус, К. Боргнакке, С. К. Кларк [и др.]; под ред. Д. Хиллиарда, Дж. С. Спрингера; пер. с англ. А. М. Васильева; под ред. А. В. Кострова. – М.: Машиностроение, 1988. – 504 с: ил.
3. Башев, В.В. Улучшение показателей роторно-поршневого двигателя за счет оптимизации инициирующего искрового разряда [Текст]: дис... канд. техн. наук. / В.В. Башев. – Волгоград: 1986. – 196 с.
4. Исследование воспламенительной смеси с высокой энергией [Текст] / Отчет о НИР (промежуточ.) ; ИХФ АН СССР. Отв. исполн. В.П. Карпов. – Инв. № - 0286.0026957. – М.: 1985. – 38 с.
5. Флиегел, В.К. Исследование процессов воспламенения топливовоздушных смесей электрической искрой [Текст]: дис... канд. техн. наук. / В.К. Флиегел. – Волгоград, 1982. – 198 с.
6. Шумский, С.Н. Форсирование начальной фазы сгорания в ДВС за счет воздействия на процесс искрового воспламенения топливовоздушных смесей [Текст]: дисс... канд. техн. наук. / С.Н. Шумский. – ВолгПИ. – Волгоград, 1987. – 254 с.
7. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей [Текст]: учеб. для студентов вузов / В.Е. Ютт. – 2-е изд. – М.: Транспорт, 1995. – 304 с.
8. Францев, С.М. Теоретико-экспериментальные исследования параметров систем зажигания высокой энергии для газовых двигателей: монография / С.М. Францев, Г.И. Шаронов. – Пенза, ПГУАС, 2012. – 120 с.
9. Ходасевич, А.Г. Катушки зажигания, датчики, октан-корректоры, контроллеры [Текст] / А.Г. Ходасевич, Т.И. Ходасевич // Справочник по устройству и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 2. Электронные системы зажигания. – М.: АНТЕЛКОМ, 2002. – 224 с.
10. Синельников, А. Х. Электроника в автомобиле [Текст] / А.Х. Синельников; 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 96 с., ил. – (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1084).
11. ГОСТ 28827-90. Системы зажигания автомобильных двигателей. Методы испытаний [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
12. Опарин, И.М. Электронные системы зажигания [Текст] / И.М. Опарин, Ю.А. Дупеев, Е.А. Белов. – М.: Машиностроение, 1987. – 198 с.
13. Синельников, А. Х. Электроника в автомобиле [Текст] / А.Х. Синельников; 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 96 с., ил. – (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1084).

Рецензент: Шаманов Роман Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Организация и безопасность движения» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», кандидат технических наук.

Frantsev Sergey

«Penza State University of Architecture and Construction»
Russia, Penza
fsm8@mail.ru

Kavtorev Aleksandr

«Penza State University of Architecture and Construction»
Russia, Penza
Kavtoreva@mail.ru

Ensuring continuity of sparking in the sparkplug

Abstract. The magnitude of the spark plug electrode gap has a significant impact on the performance of the engine. Its increase to reduce fuel consumption and improve exhaust emissions.

However, an excessive increase in the electrode gap implies outages sparking sparkplug because of insufficient magnitude and rate of rise of the voltage developed by the secondary ignition system.

To determine the critical electrode gap sparkplugs over which is not ensured their smooth operation, studies have been conducted with the ignition system, forming secondary voltage with different rates of growth. Tests have shown that the increase to a certain amount of air density in the electrode gap spark plugs and thus the breakdown voltage causes flashover on high voltage insulator between the body and the high-voltage output candles, i.e., there are gaps in the process of sparking it. The processing of the experimental data obtained by regression dependence of the critical gap spark plugs in straight polarity as the secondary voltage and reverse.

Thus, for a motor with a high density fuel mixture in the cylinder selection electrode gap of the spark plugs to secure the continuity of spark formation should be carried out not only in accordance with the secondary voltage slew rate, and density of the mixture, but, as shown by the results of studies in accordance with the polarity of the secondary voltage in the ignition system.

Keywords: ignition system; spark; spark ignition; ignition coil; motor; electrical equipment; ignition plug.

Identification number of article 34TVN314

REFERENCES

1. Zlotin, G.N. Nachal'nyj ochag gorenija pri iskrovom zazhiganii gomogennyh toplivovozdushnyh smesej v zamknutyh ob'emah: monografija / G.N. Zlotin, E.A. Fedjanov; VolGTU. – Volgograd, 2008. – 152 s.
2. Toplivnaja jekonomichnost' avtomobilej s benzinovymi dvigateljami [Tekst] / T. U. Asmus, K. Borgnakke, S. K. Klark [i dr.]; pod red. D. Hilliarda, Dzh. S. Springera; per. s angl. A. M. Vasil'eva; pod red. A. V. Kostrova. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 504 s: il.
3. Bashev, V.V. Uluchshenie pokazatelej rotorno-porshneвого dvigatelja za schet optimizacii iniciirujushhego iskrovogo razrjada [Tekst]: dis... kand. tehn. nauk. / V.V. Bashev. – Volgograd: 1986. – 196 s.
4. Issledovanie vosplamenitel'noj smesi s vysokoj jenergiej [Tekst] / Otchet o NIR (promezhutoch.) ; IHF AN SSSR. Otv. ispoln. V.P. Karpov. – Inv. № -0286.0026957. – M.: 1985. – 38 s.
5. Fliegel, V.K. Issledovanie processov vosplamenenija toplivovozdushnyh smesej jelektricheskoy iskroj [Tekst]: dis... kand. tehn. nauk. / V.K. Fliegel. – Volgograd, 1982. – 198 s.
6. Shumskij, S.N. Forsirovanie nachal'noj fazy sgoranija v DVS za schet vozdeystvija na process iskrovogo vosplamenenija toplivovozdushnyh smesej [Tekst]: diss... kand. tehn. nauk. / S.N. Shumskij. – VolgPI. – Volgograd, 1987. – 254 s.
7. Jutt, V.E. Jelektooborudovanie avtomobilej [Tekst]: ucheb. dlja studentov vuzov / V.E. Jutt. – 2-e izd. – M.: Transport, 1995. – 304 s.
8. Francev, S.M. Teoretiko-jeksperimental'nye issledovanija parametrov sistem zazhiganiya vysokoj jenerгии dlja gazovyh dvigatelej [Tekst]: monografija / S.M. Francev, G.I. Sharonov. – Penza, PGUAS, 2012. – 120 s.
9. Hodasevich, A.G. Katushki zazhiganiya, datchiki, oktan-korrektory, kontrollery [Tekst] / A.G. Hodasevich, T.I. Hodasevich // Spravochnik po ustrojstvu i remontu jelektronnyh priborov avtomobilej. Chast' 2. Jelektronnye sistemy zazhiganiya. – M.: ANTELKOM, 2002. – 224 s.
10. Sinel'nikov, A. H. Jelektronika v avtomobile [Tekst] / A.H. Sinel'nikov; 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Radio i svjaz', 1986. – 96 s., il. – (Massovaja radiobiblioteka; Vyp. 1084).
11. GOST 28827-90. Sistemy zazhiganiya avtomobil'nyh dvigatelej. Metody ispytanij [Tekst]. – M.: Izd-vo standartov, 1991.
12. Oparin, I.M. Jelektronnye sistemy zazhiganiya [Tekst] / I.M. Oparin, Ju.A. Dupeeв, E.A. Belov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 198 s.
13. Sinel'nikov, A. H. Jelektronika v avtomobile [Tekst] / A.H. Sinel'nikov; 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Radio i svjaz', 1986. – 96 s., il. – (Massovaja radiobiblioteka; Vyp. 1084).