

УДК 621.43.05

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
Kavtoreva@mail.ru

Влияние характеристик искрового разряда конденсаторных систем зажигания на показатели газового двигателя на нагрузочных режимах

Аннотация. Применение природного газа позволяет улучшить экологические показатели газовых двигателей внутреннего сгорания. Однако, искровое воспламенение системой зажигания метановоздушных смесей сопряжено с увеличенной длительностью формирования начального очага горения и общей длительностью процесса сгорания в цилиндре двигателя.

Параметры искрового разряда транзисторной системы зажигания не соответствуют требуемым для условий камеры сгорания газовых двигателей и требуется система зажигания, обладающая улучшенными характеристиками.

Разработаны образцы экспериментальных конденсаторных систем зажигания высокой энергии.

Нагрузочные характеристики двигателя показали, что применение экспериментальных систем зажигания позволило уменьшить на 7-9 % расход топлива, по отношению к штатной системе зажигания.

Полученные экспериментальные данные показывают, что за счет применения экспериментальных систем зажигания обеспечивается повышение топливной экономичности на 9 % и снижение на 35-37 % токсичности отработавших газов на режимах частичных нагрузок, по сравнению со штатной системой зажигания. На режиме номинальной нагрузки, испытания с экспериментальными системами зажигания показали одинаковые значения выбросов вредных веществ с отработавшими газами и расхода топлива.

Ключевые слова: система зажигания; искровой разряд; искровое зажигание; катушка зажигания; двигатель внутреннего сгорания; электрооборудование; свечи зажигания; токсичность отработавших газов.

Идентификационный номер статьи в журнале 36TVN314

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

Применение природного газа позволяет улучшить экологические показатели газовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Отрицательной стороной использования природного газа является повышенный уровень выбросов несгоревших углеводородов СН, вызываемый пониженной, по сравнению с бензиновыми двигателями, скоростью сгорания метановоздушных смесей. Искровое воспламенение системой зажигания метановоздушных смесей сопряжено с увеличенной длительностью формирования начального очага горения и общей длительностью процесса сгорания в цилиндре ДВС.

Указанные факторы особенно резко проявляются при использовании транзисторной системы зажигания, в которой энергия для искрообразования накапливается в магнитном поле катушки зажигания. Результаты исследований, приведенных в [1], показывают, что параметры искрового разряда транзисторной системы зажигания не соответствуют требуемым для условий камеры сгорания газовых ДВС и требуется система зажигания, обладающая улучшенными характеристиками.

В Автомобильно-дорожном институте Пензенского государственного университета архитектуры и строительства разработаны схемотехнические решения и изготовлены макетные образцы экспериментальных конденсаторных систем зажигания высокой энергии (КСЗ), которые использовались в качестве оконечного каскада микропроцессорной системы управления газового ДВС, система зажигания которого выполнена с отдельной катушкой зажигания на каждый цилиндр. Подробное описание экспериментальных систем зажигания высокой энергии приведено в [1].

Преимущества КСЗ описаны в работах [2-5]. В этих системах зажигания катушка зажигания не накапливает энергию, а лишь трансформирует ее из первичной цепи (накопительного конденсатора) во вторичную, нагрузкой которой является межэлектродный зазор свечи зажигания. Характерными особенностями конденсаторных систем зажигания являются высокая скорость нарастания вторичного напряжения, большая величина развиваемого вторичного напряжения и большие величины амплитуд токов индуктивной фазы искрового разряда.

Проведенный эксперимент показал, что скорость нарастания вторичного напряжения КСЗ составляет 0,7 кВ/мкс, а развиваемое вторичное напряжение – 40 кВ (ограничено поверхностным перекрытием по крышке катушки зажигания между высоковольтным выводом и одной из клемм первичной обмотки) при следующих условиях: шунтирующее сопротивление параллельное межэлектродному зазору $R_{ш} = 1 \text{ МОм}$, шунтирующая емкость параллельная межэлектродному зазору $C_{ш} = 50 \text{ пФ}$. Для сравнения, максимум вторичного напряжения, развиваемого транзисторной системой зажигания в накоплении энергии в магнитном поле катушки зажигания при $R_{ш} = 1 \text{ МОм}$, $C_{ш} = 50 \text{ пФ}$ и напряжении питания 12 В составляет 26 кВ.

Исследования экспериментальных систем зажигания проводились в Научно-техническом центре ОАО «КАМАЗ» на базе 8-ми цилиндрового газового двигателя внутреннего сгорания КАМАЗ мод. 820.52-260, оснащенного турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха.

В качестве базовой в исследованиях была принята штатная транзисторная система зажигания (ТрСЗ) с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания, формирующая искровой разряд с амплитудой тока индуктивной фазы экспоненциальной формы $I_1 = 60 \text{ мА}$, при длительности индуктивной фазы t_1 не более 2,6 мс.

Экспериментальные КСЗ формируют искровой разряд, состоящий из двух разнополярных искровых разрядов, следующих друг за другом. Первый и второй искровые

разряды включает в себя пробой межэлектродного зазора свечи зажигания, емкостную и индуктивную фазы.

После пробоя искрового зазора свечи зажигания и емкостной фазы первого разряда, образуется начальный очаг горения определенного радиуса, величина которого определяется величиной пробивного напряжения и параметрами системы зажигания. После емкостной фазы, очаг горения продолжает развиваться под действием тепла индуктивной фазы разряда и тепла, выделяемого во фронте пламени [16].

Временные диаграммы тока искрового разряда, формируемого двумя вариантами КСЗ приведены на рис. 1 и 2.

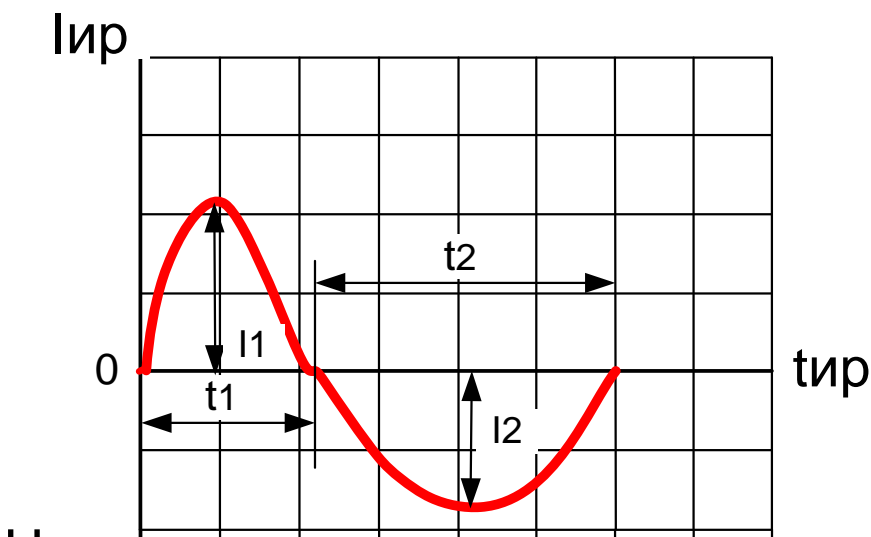


Рис. 1. Временные диаграммы искрового разряда, формируемого КСЗ-1

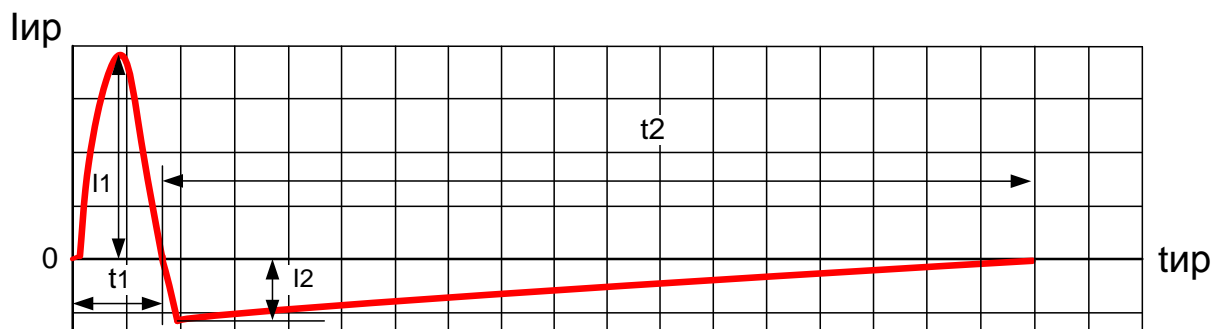


Рис. 2. Временные диаграммы искрового разряда, формируемого КСЗ-2

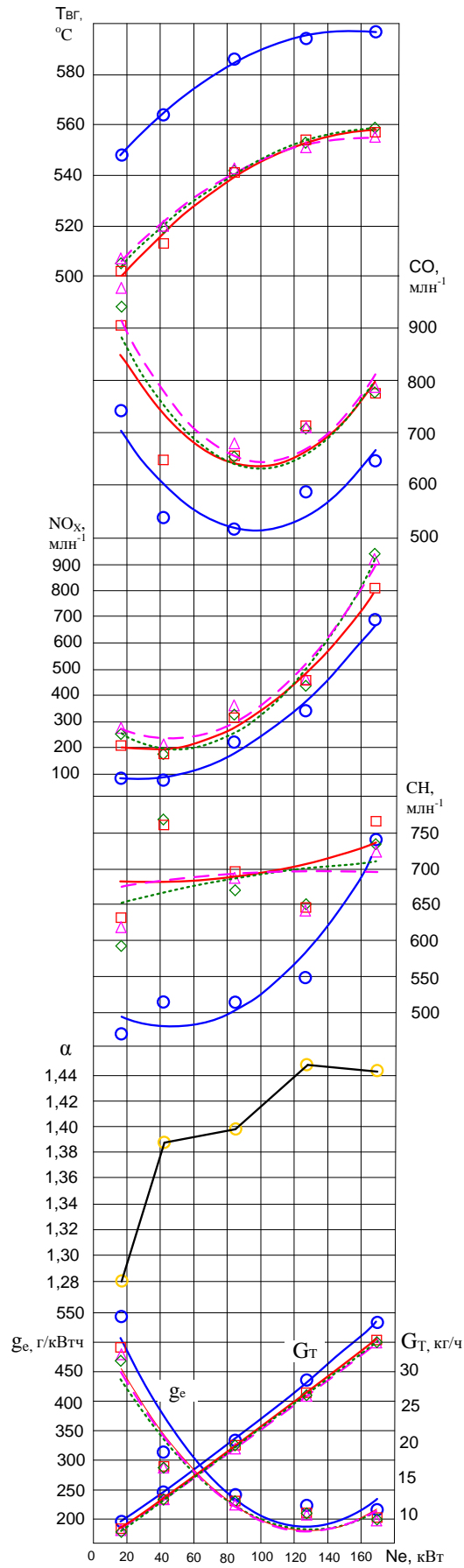
Параметры искровых разрядов КСЗ-1 следующие: сильноточная кратковременная индуктивная фаза первого искрового разряда с параметрами тока $I_1 = 280$ мА и длительности $t_1 = 0,25$ мс; сильноточная кратковременная индуктивная фаза второго искрового разряда с $I_2 = 150$ мА, $t_2 = 0,45$ мс. Параметры искровых разрядов КСЗ-2 следующие: сильноточная кратковременная индуктивная фаза первого искрового разряда с параметрами: $I_1 = 380$ мА, $t_1 = 0,18$ мс; индуктивная фаза второго искрового разряда экспоненциальной формы с $I_2 = 110$ мА, $t_2 = 1,82$ мс.

Нагрузочные характеристики ДВС сняты при $n = 1500$ и 2200 мин⁻¹ с различными системами зажигания (рис. 3, а, б). При $n = 1500$ мин⁻¹ – угол опережения зажигания $\Theta_{O3} =$

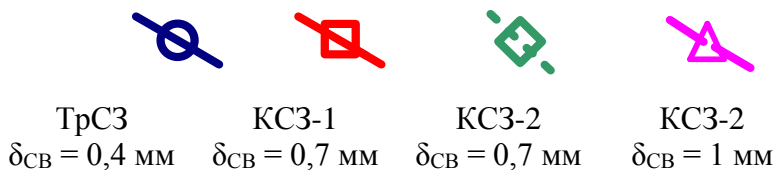
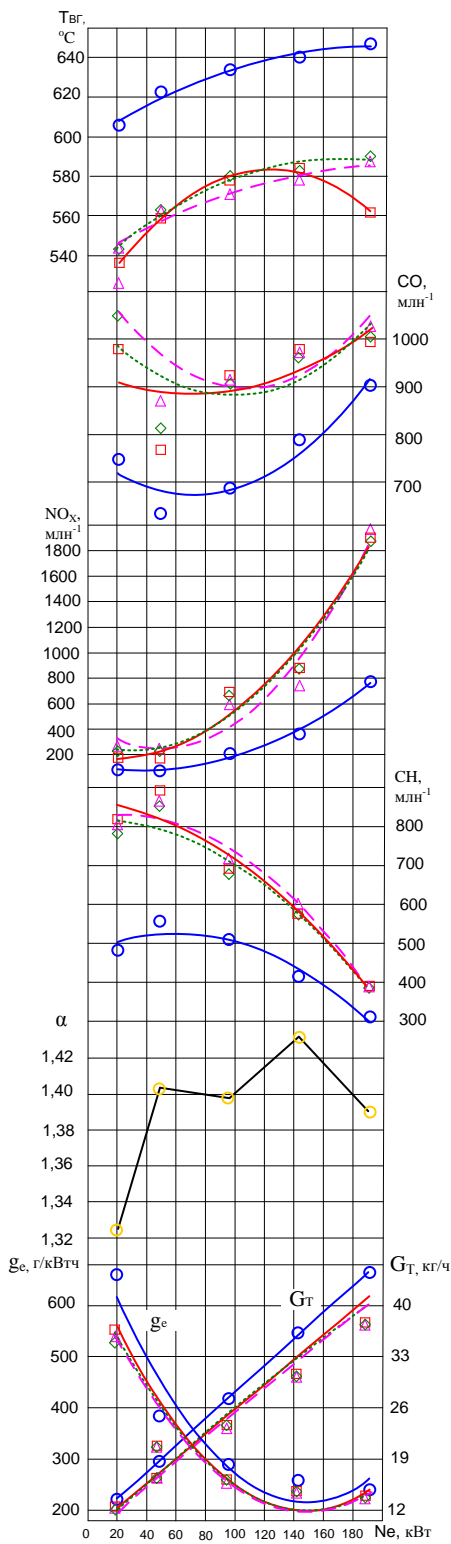
18° , при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ – $\Theta_{03} = 22^{\circ}$. Выравнивание опытных точек кривыми произведено методом наименьших квадратов.

Нагрузочные характеристики ДВС показали, что применение экспериментальных систем зажигания позволило уменьшить на 7-9 % удельный и часовой расходы топлива, по отношению к ТрСЗ при той же снимаемой мощности ДВС.

Уменьшение расхода топлива можно объяснить сокращением общей длительности процесса сгорания метановоздушных смесей [6], что связано со снижением продолжительности формирования начального очага горения вследствие увеличения скорости роста начального очага горения в увеличенном до 0,7-1,0 мм межэлектродном зазоре свечей зажигания и выделения тепла высокоэнергетическими индуктивными фазами искрового разряда. Начальный очаг после емкостной фазы искрового разряда продолжает развиваться под действием тепла индуктивной фазы искрового разряда от больших начальных размеров, что способствует ускоренному развитию пламени [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].



a)



б)

Рис. 3. Нагрузочная характеристика газового двигателя при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ (а) и 2200 мин^{-1} (б)

При испытаниях ДВС, оснащенного КСЗ-1 ($\delta_{св} = 0,7$ мм) и КСЗ-2 ($\delta_{св} = 0,7$ мм или $\delta_{св} = 1$ мм), наблюдаются увеличенные на 21 %, по отношению к ТрСЗ ($\delta_{св} = 0,4$ мм), выбросы СО с отработавшими газами, что объясняются диссоциацией СО₂ при высоких температурах в цилиндре [14]. Увеличенные на 50-55 % выбросы NO_x позволяют предположить о повышении максимальной температуры цикла [15].

Результаты испытаний ДВС с ТрСЗ ($\delta_{св} = 0,4$ мм), по сравнению с результатами испытаний КСЗ-1 ($\delta_{св} = 0,7$ мм) и КСЗ-2 ($\delta_{св} = 0,7$ мм или $\delta_{св} = 1$ мм) свидетельствуют о более длительном процессе сгорания метановоздушных смесей, на что указывают увеличенный расход топлива, меньшие значения выбросов NO_x и СН (на 35-37 %) при повышенной на 40-60 °С температуре выхлопных газов. Меньшие значения выбросов СН объясняются более интенсивным протеканием реакций доокисления несгоревших углеводородов в выпускном трубопроводе за счет повышенной температуры выхлопных газов (при этом больше тепла выносится с отработавшими газами).

При $n = 2200$ мин⁻¹ на режиме номинальной нагрузки, испытания с экспериментальными системами зажигания показали одинаковые значения выбросов вредных веществ с отработавшими газами и расхода топлива, что связано с тем, что на данном режиме ядро начального очага образующегося за счет действия емкостной фазы оказывается достаточно большим и даже небольшой энергии индуктивной фазы разряда достаточно для успешного развития процесса сгорания газовой смеси в цилиндре.

Полученные экспериментальные данные показывают, что за счет применения экспериментальных систем зажигания обеспечивается повышение топливной экономичности газовых ДВС на 9 % и снижение на 35-37 % токсичности отработавших газов (СО, СН) на различных режимах его работы, по сравнению со штатной ТрСЗ. Улучшение данных показателей связано с повышением скорости роста начального очага горения за время искрового разряда, формируемого экспериментальными системами зажигания, что сокращает время формирования начального очага горения и соответственно общую длительность процесса сгорания метановоздушных смесей в цилиндре ДВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Францев, С.М. Теоретико-экспериментальные исследования параметров систем зажигания высокой энергии для газовых двигателей [Текст]: монография / С.М. Францев, Г.И. Шаронов. – Пенза, ПГУАС, 2012. – 120 с.
2. Францев, С.М. Зависимость длительности индуктивной фазы искрового разряда конденсаторной и транзисторной систем зажигания от режима работы двигателя [Текст] / С.М. Францев // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2008. – С. 129–131.
3. Францев, С.М. Исследование влияния распределенного сопротивления высоковольтного провода на амплитудно-временные параметры инициирующего разряда конденсаторно-тиристорного модуля зажигания [Текст] / С.М. Францев, В.И. Викулов, Г.И. Шаронов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Материалы IV международной научно-технической конференции. Ч.2. – Пенза: ПГУАС, 2006. – С. 136-145.
4. Шаронов, Г.И. Интенсификация токовременных параметров искрового инициирующего разряда газового двигателя [Текст] / Г.И. Шаронов, С.М. Францев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – №2. – С. 128–135.
5. Шаронов, Г.И. Свойства искрового инициирующего разряда различных видов систем зажигания [Текст] / Г.И. Шаронов, С.М. Францев, В.И. Викулов // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: материалы V междунар. науч.-техн. конф. 21–23 мая 2008 г.; отв. ред. Э.Р. Домке. – Пенза, 2008. – Ч.2. – С. 87–94.
6. Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателей. Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя [Текст] / И.И. Вибе. – Москва-Свердловск: Машгиз, 1962. – 271 с.
7. 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.
8. 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.
9. Флиегел, В.К. Исследование процессов воспламенения топливовоздушных смесей электрической искрой [Текст]: дис... канд. техн. наук. / В.К. Флиегел. – Волгоград, 1982. – 198 с.
10. 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.
11. Bertling H., Schwarz H. Anforderungen an zündanlagen zur entflammung magerer gemische (teil 1) // ATZ. – 1978. Vol. 80. – No. 4. – P. 155–158.
12. Burgett R.R., Leptich J.M., Sangwan K.V.S. Measuring the effect of spark plug and ignition system design on engine performance // SAE Transactions. – Vol. 81. –1972. – paper 720007. – P. 48–66.

13. Kalghatgi G.T. Spark Ignition, Early flame development and cyclic variations in I.C. engine // SAE. Techn. Pap. Ser. – 1987. – № 870163. – 13 pp.
14. Горбунов, В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учеб. пособие / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев. – М.: Изд-во РУДН, 1998. – 214 с.: ил.
15. Кульчицкий, А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей [Текст] : учеб. пособие для вузов / А.Р. Кульчицкий; Владим. гос. ун-т. – [2-е изд., испр. и доп.]. – М.: Акад. Проект, 2004. – 398 с.
16. 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.

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

Effect of spark ignition by condenser ignition system on gas motor parameters under part and full load

Abstract. The use of natural gas can improve the environmental performance of an internal combustion engine. However, the spark ignition system ignition methane-air mixtures is associated with increased duration of the initial formation of the combustion chamber and the total duration of the combustion process in the engine cylinder. Options spark transistorized ignition system do not meet the conditions required for the combustion chamber gas engine and ignition system requires having improved characteristics. Developed experimental samples condenser ignition systems of high energy. Load characteristics of the engine showed that the use of experimental ignition systems allowed to reduce by 7-9 % fuel consumption with respect to standard ignition system. The experimental data show that by the use of experimental ignition systems provided fuel efficiency by 9% and a decrease of 35-37 % emission modes at partial load, compared to the stock ignition system. Mode at rated load tests with experimental ignition systems showed the same values of emissions of harmful substances in exhaust gases and fuel consumption.

Keywords: ignition system; spark; spark ignition; ignition coil; motor; electrical equipment; ignition sparkplugs; exhaust emission.

Identification number of article 36TVN314

REFERENCES

1. Francev, S.M. Teoretiko-jeksperimental'nye issledovaniya parametrov sistem zazhiganiya vysokoj jenerгии dlja gazovyh dvigatelej [Tekst]: monografija / S.M. Francev, G.I. Sharonov. – Penza, PGUAS, 2012. – 120 s.
2. Francev, S.M. Zavisimost' dlitel'nosti induktivnoj fazy iskrovogo razrjada kondensatornoj i tranzistornoj sistem zazhiganiya ot rezhima raboty dvigatelja [Tekst] / S.M. Francev // Perspektivnye napravlenija razvitija avtotransportnogo kompleksa: sb. statej mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Penza, 2008. – S. 129–131.
3. Francev, S.M. Issledovanie vlijaniya raspredelenного soprotivlenija vysokovol'tnogo provoda na amplitudno-vremennye parametry iniciirujushhego razrjada kondensatorno-tiristornogo modulja zazhiganiya [Tekst] / S.M. Francev, V.I. Vikulov, G.I. Sharonov // Problemy kachestva i jekspluatacii avtotransportnyh sredstv: Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Ch.2. – Penza: PGUAS, 2006. – S. 136-145.
4. Sharonov, G.I. Intensifikacija tokovremennyh parametrov iskrovogo iniciirujushhego razrjada gazovogo dvigatelja [Tekst] / G.I. Sharonov, S.M. Francev // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tehnicheskie nauki. – 2008. – №2. – S. 128–135.
5. Sharonov, G.I. Svoystva iskrovogo iniciirujushhego razrjada razlichnyh vidov sistem zazhiganiya [Tekst] / G.I. Sharonov, S.M. Francev, V.I. Vikulov // Problemy avtomobil'no-dorozhnogo kompleksa Rossii: materialy V mezhdunar. nauch.-tehn. konf. 21–23 maja 2008 g.; otv. red. Je.R. Domke. – Penza, 2008. – Ch.2. – S. 87–94.
6. Vibe, I.I. Hovoe o rabochem cikle dvigatelej. Skorost' sgoraniya i rabochij cikl dvigatelja [Tekst] / I.I. Vibe. – Moskva-Sverdlovsk: Mashgiz, 1962. – 271 s.
7. Bashev, V.V. Uluchshenie pokazatelej rotno-porshneвого dvigatelja za schet optimizacii iniciirujushhego iskrovogo razrjada [Tekst]: dis... kand. tehn. nauk. / V.V. Bashev. – Volgograd: 1986. – 196 s.
8. 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.
9. Fliegel, V.K. Issledovanie processov vosplamenenija toplivovozdushnyh smesej jelektricheskoy iskroj [Tekst]: dis... kand. tehn. nauk. / V.K. Fliegel. – Volgograd, 1982. – 198 s.
10. Shumskij, S.N. Forsirovanie nachal'noj fazy sgoraniya v DVS za schet vozdeystvija na process iskrovogo vosplamenenija toplivovovozdushnyh smesей [Tekst]: diss... kand. tehn. nauk. / S.N. Shumskij. – VolgPI. – Volgograd, 1987. – 254 s.
11. Bertling H., Schwarz H. Anforderungen an zündanlagen zur entflammung magerer gemische (teil 1) // ATZ. – 1978. Vol. 80. – No. 4. – P. 155–158.
12. Burgett R.R., Leptich J.M., Sangwan K.V.S. Measuring the effect of spark plug and ignition system design on engine performance // SAE Transactions. – Vol. 81. –1972. – paper 720007. – P. 48–66.
13. Kalghatgi G.T. Spark Ignition, Early flame development and cyclic variations in I.C. engine // SAE. Techn. Pap. Ser. – 1987. – № 870163. – 13 pp.

14. Gorbunov, V.V. Toksichnost' dvigatelej vnutrennego sgoranija [Tekst]: ucheb. posobie / V.V. Gorbunov, N.N. Patrahal'cev. – M.: Izd-vo RUDN, 1998. – 214 s.: il.
15. Kul'chickij, A.R. Toksichnost' avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej [Tekst] : ucheb. posobie dlja vuzov / A.R. Kul'chickij; Vladim. gos. un-t. – [2-e izd., ispr. i dop.]. – M.: Akad. Proekt, 2004. – 398 s.
16. 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.