

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 величины межэлектродного зазора свечи зажигания на показатели газового двигателя

Аннотация. Использование широко применяемой системы зажигания с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания не позволяет увеличивать зазор свечей зажигания свыше 0,5 мм из-за несоответствия параметров искрового разряда условиям в камере сгорания газовых двигателей, что заставляет искать возможности улучшения топливной экономичности и экологических показателей за счет оптимизации характеристик искрового разряда и увеличения межэлектродного зазора свечей зажигания.

Одним из путей решения проблемы является применение конденсаторных систем зажигания, особенностью которых являются высокая скорость нарастания вторичного напряжения и большая величина развиваемого вторичного напряжения, что позволяет использовать увеличенный межэлектродный зазор свечей зажигания.

Применение конденсаторных систем зажигания позволило увеличить до 1,0 мм межэлектродный зазор свечей зажигания газового двигателя, что позволило на режиме ХХ уменьшить выбросы СН и СО, соответственно, на 33 % и 10 %, GT уменьшается на 5,8 %. Увеличение зазора дает существенно больший эффект по форсированию процесса воспламенения и сгорания на режиме ХХ и на частичных нагрузках, чем с 80-100 % нагрузками ДВС.

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

Идентификационный номер статьи в журнале 35TVN314

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

В последнее время в качестве моторного топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) все шире используют природный газ (метан). Применение природного газа позволяет существенно снизить выбросы оксида углерода CO и диоксида углерода CO₂.

Однако, одной из проблем применения природного газа является низкая скорость сгорания метановоздушных смесей, являющаяся причиной повышенной длительности формирования начального очага горения и общей длительности процесса сгорания в цилиндре ДВС.

Известно, что существенную роль в протекании всего процесса сгорания играет длительность формирования начального очага горения, охватывающего период от начала искрового разряда до момента, когда сформируется развитый фронт турбулентного пламени [1, 2, 3, 4].

Повышенная длительность процесса сгорания в цилиндре ДВС влечет увеличение расхода топлива и повышение уровня выбросов несгоревших углеводородов СН с отработавшими газами. Данный недостаток проявляется при использовании широко применяемой системы зажигания с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания из-за несоответствия параметров искрового разряда условиям в камере сгорания газовых ДВС и нецелесообразности увеличивать зазор свечей зажигания свыше 0,5 мм [17].

Обостряющаяся проблема топливных ресурсов, удорожание топлива и постоянно ужесточающиеся экологические требования заставляют искать возможности улучшения топливной экономичности и экологических показателей газовых ДВС, в т. ч. за счет оптимизации характеристик искрового разряда и увеличения межэлектродного зазора свечей зажигания.

В Автомобильно-дорожном институте Пензенского государственного университета архитектуры и строительства разработаны схемотехнические решения и изготовлены макетные образцы экспериментальных конденсаторных систем зажигания высокой энергии, которые использовались в качестве окончного каскада микропроцессорной системы управления газового ДВС, система зажигания которого выполнена с низковольтным распределением. Подробное описание экспериментальных систем зажигания высокой энергии приведено в [5].

Особенности конденсаторных систем зажигания описаны в работах [6-9]. В этих системах зажигания катушка зажигания не накапливает энергию, а 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 и большая величина развиваемого вторичного напряжения, что позволяет использовать увеличенный до 1,0 мм межэлектродный зазор свечей зажигания.

Исследования одного из вариантов 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.

Экспериментальная система зажигания (КСЗ) формирует искровой разряд, состоящий из двух разнополярных искровых разрядов, следующих друг за другом. Первый искровой разряд включает в себя пробой межэлектродного зазора свечи зажигания, емкостную и индуктивную фазы. Второй искровой разряд противоположной полярности включает повторный пробой, емкостную и индуктивную фазы. Временные диаграммы тока искрового разряда, формируемого КСЗ приведены на рис. 1.

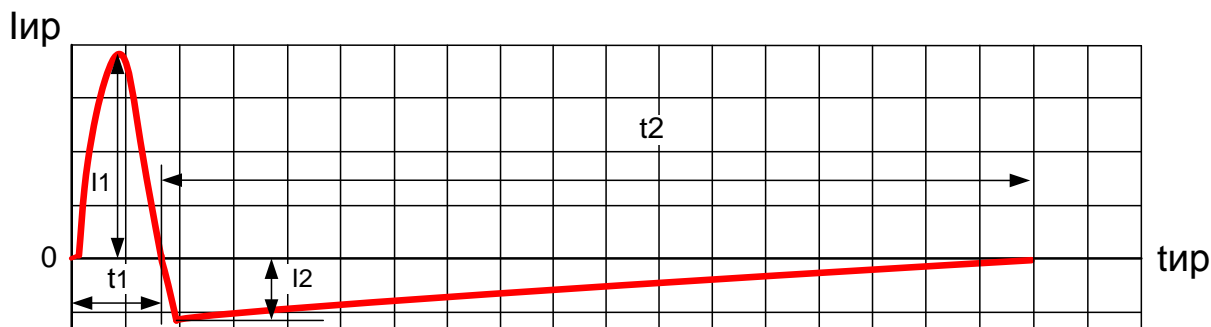


Рис. 1. Временные диаграммы тока искрового разряда, формируемого КСЗ

Параметры искровых разрядов КСЗ следующие:

- сильнооточная кратковременная индуктивная фаза первого искрового разряда с параметрами амплитуды тока $I_1 = 380$ мА, длительности $t_1 = 0,18$ мс;
- индуктивная фаза второго искрового разряда экспоненциальной формы с амплитудой тока $I_2 = 110$ мА, длительностью $t_2 = 1,82$ мс.

Проведены исследования КСЗ со свечами зажигания с межэлектродными зазорами $\delta_{СВ} = 0,7$ и $1,0$ мм на режимах холостого хода (ХХ) при минимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя ($n = 800$ мин⁻¹) и нагрузочных режимах работы ДВС.

В таблице приведены значения выбросов несгоревших углеводородов (СН), оксидов углерода (СО), оксидов азота (NO_x), часового расхода топлива (G_T) на режиме ХХ. Угол опережения зажигания (Θ_{O3}) при испытаниях равнялся 0^0 , коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,4$.

Таблица

Показатели ДВС при испытаниях КСЗ с зазорами свечей зажигания $\delta_{СВ} = 0,7$ мм и $\delta_{СВ} = 1,0$ мм на режиме ХХ

Показатели ДВС		$\delta_{СВ} = 0,7$ мм	$\delta_{СВ} = 1,0$ мм
Выбросы	СН, млн ⁻¹	1931	1289
	СО, млн ⁻¹	974	879
	NO _x , млн ⁻¹	28	38
G_T , кг/ч		3,4	3,2

На рис. 2 приведены значения выбросов СН, СО, NO_x, G_T , удельного расхода топлива (g_e), температуры выхлопных газов ($T_{ВГ}$) при испытании ДВС по нагрузочной характеристике ($n = 1500$ и 2200 мин⁻¹). Выравнивание опытных точек кривыми произведено методом наименьших квадратов. Угол опережения зажигания $\Theta_{O3} = 18^0$ (при $n = 1500$ мин⁻¹) и 22^0 при $n = 2200$ мин⁻¹.

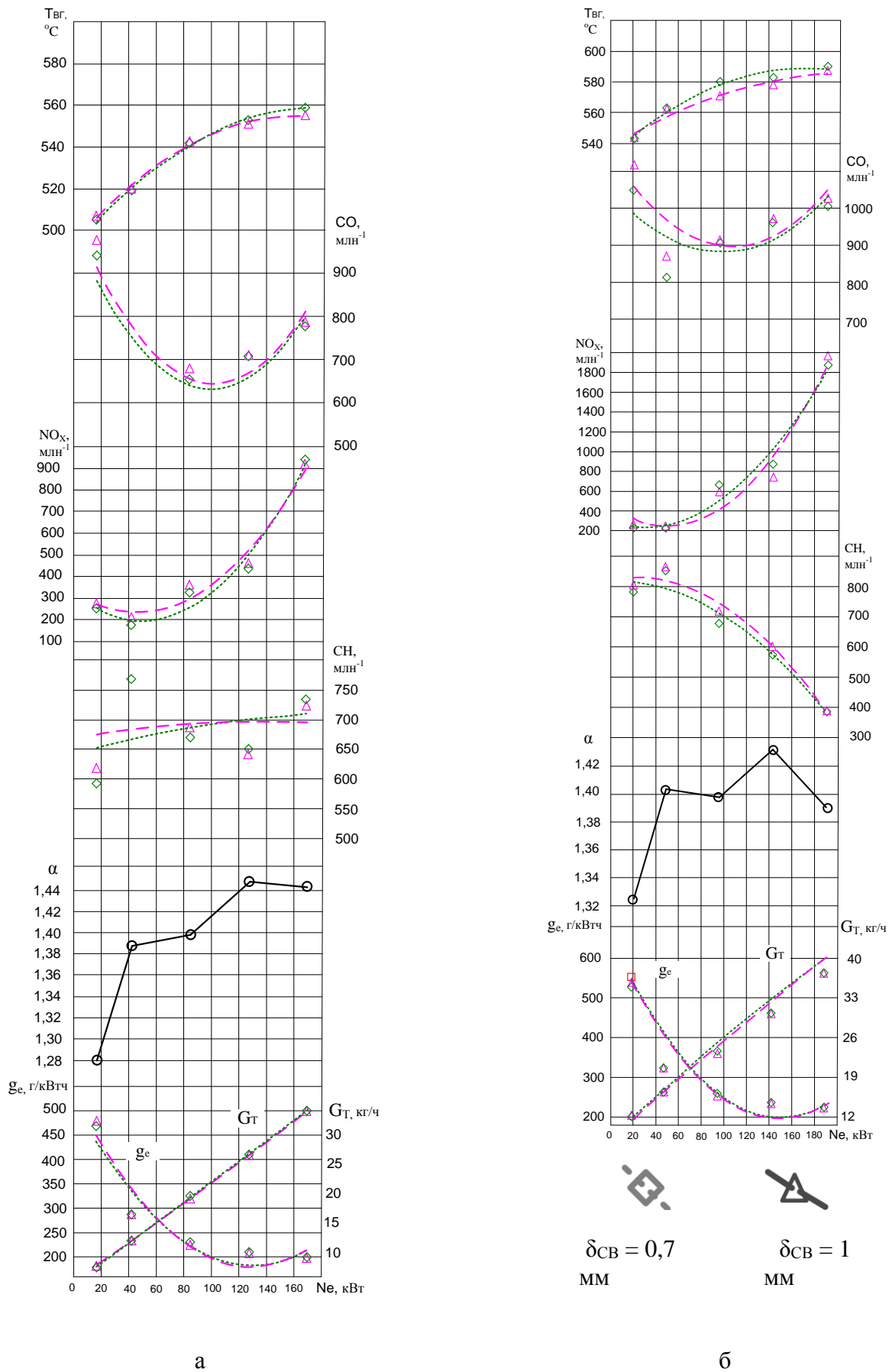


Рис. 2. Нагрузочная характеристика ДВС, оснащенного КСЗ при $n = 1500$ (а) и $n = 2200$ мин⁻¹ (б)

Полученные результаты (см. таблицу и рис. 2) свидетельствуют о том, что увеличение межэлектродного зазора свечей зажигания существенно влияет на показатели двигателя. На режиме XX ($n = 800 \text{ мин}^{-1}$) (таблица) выбросы СН уменьшаются на 33 % (с 1931 до 1289 млн^{-1}), выбросы СО уменьшаются на 10 % (с 974 до 879 млн^{-1}), выбросы NO_x увеличиваются на 26 % (с 28 до 38 млн^{-1}), G_T уменьшается на 5,8 % (с 3,4 до 3,2 кг/ч).

Увеличение межэлектродного зазора свечей зажигания приводит к форсированию процесса сгорания. Очаг горения начинает развиваться от больших начальных размеров, что способствует ускоренному развитию пламени [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. К моменту завершения емкостной фазы разряда образуется ядро воспламенения начального очага горения соответствующего объема и соответственно радиуса [1]. Чем больше пробивное напряжение, тем больше радиус образующегося ядра воспламенения начального очага горения и энергия индуктивных фаз первого и второго искровых разрядов обеспечивает развитие начального очага от ядра с большим радиусом, что сокращает время его формирования.

Увеличение зазора дает существенно больший эффект по форсированию процесса воспламенения и сгорания на режиме XX ($n = 800 \text{ мин}^{-1}$) и на частичных нагрузках, чем с 80-100 % нагрузками ДВС. На режимах полных нагрузок ДВС ослабляется влияние величины межэлектродного зазора свечей зажигания на исследуемые показатели двигателя. Это можно объяснить тем, что с увеличением нагрузки ДВС увеличивается плотность газовой смеси, растет ее пробивное напряжение, радиус ядра воспламенения после завершения емкостной фазы разряда даже при меньшей величине межэлектродного зазора свечи оказывается достаточно большим и величина энергии индуктивной фазы разряда не оказывает существенного влияния, т. к. даже малой энергии индуктивной фазы разряда достаточно для успешного развития процесса сгорания метановоздушной смеси в цилиндре.

В диапазоне нагрузок 25-90 % ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$) испытания при $\delta_{\text{св}} = 1 \text{ мм}$ показали увеличение выбросов СН до 10 % и уменьшение выбросов NO_x до 25 % по отношению с зазором свечи $\delta_{\text{св}} = 0,7 \text{ мм}$, что объясняется, возможно, негативным влиянием повышенной турбулентности газовой смеси на начальный очаг горения в увеличенном с 0,7 до 1,0 мм межэлектродном зазоре свечей зажигания предположительно в связи с резким сокращением длительности (преждевременным гашением) слаботочной индуктивной фазы второго искрового разряда.

На основании анализа результатов стендовых испытаний газового двигателя можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение межэлектродного зазора свечей зажигания существенно влияет на показатели двигателя. На режиме XX выбросы СН и СО уменьшаются, соответственно, на 33 % и 10 %, выбросы NO_x увеличиваются на 26 %, G_T уменьшается на 5,8 %. Снижение выбросов СН, СО и снижение G_T объясняется сокращением времени сгорания топливоздушной смеси.

2. Увеличение зазора дает существенно больший эффект по форсированию процесса воспламенения и сгорания на режиме XX и на частичных нагрузках, чем с 80-100 % нагрузками ДВС, т. к. с увеличением нагрузки ДВС даже малой энергии индуктивной фазы разряда достаточно для успешного развития процесса сгорания метановоздушной смеси в цилиндре. Полученные экспериментальные данные показывают, что влияние зазора аналогично бензиновым ДВС, что показывали данные исследований, приведенные в [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

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. Bates Stephen. Flame imaging studies in a spark-ignition four-stroke internal combustion optical engine // SAE Techn. Pap. Ser. – 1989. – № 890154. – 16 pp.
3. Douaud A., de Soete G., Henault C. Experimental Analysis of the Initiation and Development of Part-Load Combustion in Spark Ignition Engines // SAE Techn. Pap. Ser. – 1983. – № 830338. – 16 pp.
4. Kalghatgi G.T. Spark Ignition, Early flame development and cyclic variations in I.C. engine // SAE. Techn. Pap. Ser. – 1987. – № 870163. – 13 pp.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Флиегел, В.К. Исследование процессов воспламенения топливовоздушных смесей электрической искрой [Текст]: дис... канд. техн. наук. / В.К. Флиегел. – Волгоград, 1982. – 198 с.

13. 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.
14. Bertling H., Schwarz H. Anforderungen an zündanlagen zur entflammung magerer gemische (teil 1) // ATZ. – 1978. Vol. 80. – No. 4. – P. 155–158.
15. 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.
16. Kalghatgi G.T. Spark Ignition, Early flame development and cyclic variations in I.C. engine // SAE. Techn. Pap. Ser. – 1987. – № 870163. – 13 pp.
17. Францев, С.М. Улучшение показателей газовых ДВС за счет рационального выбора параметров искрового разряда системы зажигания [Текст] / дис... канд. техн. наук. / С.М. Францев. – Волгоград, 2009. – 128 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

The effect of the electrode gap sparkplugs performance gas engine

Abstract. Using the ignition system with stored energy in the magnetic field of the ignition coil can not zoom spark plug gap of more than 0,5 mm due to mismatch of the spark discharge conditions in the combustion chamber gas engine that makes us look for opportunities to improve fuel efficiency and environmental performance by optimizing performance spark gap and increase the electrode spark plugs.

One way of solving this problem is the use of capacitor ignition systems, which feature is the high rate of rise of the secondary voltage developed by the large value of the secondary voltage, which allows an increased electrode gap spark plugs. Application of the ignition system of capacitor allowed to increase to 1,0 mm electrode gap of the spark plugs of the gas engine, thus reducing emissions of CH and CO, respectively, 33% and 10 %, the fuel consumption is decreased by 5,8 %. Increased clearance gives significantly greater effect on speeding up the process of ignition and combustion mode XX and partial loads than with 80-100 % load engine.

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

Identification number of article 35TVN314

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. Bates Stephen. Flame imaging studies in a spark-ignition four-stroke internal combustion optical engine // SAE Techn. Pap. Ser. – 1989. – № 890154. – 16 pp.
3. Douaud A., de Soete G., Henault C. Experimental Analysis of the Initiation and Development of Part-Load Combustion in Spark Ignition Engines // SAE Techn. Pap. Ser. – 1983. – № 830338. – 16 pp.
4. Kalghatgi G.T. Spark Ignition, Early flame development and cyclic variations in I.C. engine // SAE. Techn. Pap. Ser. – 1987. – № 870163. – 13 pp.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Fliegel, V.K. Issledovanie processov vosplamenenija toplivovozdushnyh smesej jelektricheskoy iskroj [Tekst]: dis... kand. tehn. nauk. / V.K. Fliegel. – Volgograd, 1982. – 198 s.
13. Shumskij, S.N. Forsirovanie nachal'noj fazy sgoraniya v DVS za schet vozdeystvija na process iskrovogo vosplamenenija toplivovovozdushnyh smesej [Tekst]: diss... kand. tehn. nauk. / S.N. Shumskij. – VolgPI. – Volgograd, 1987. – 254 s.

14. Bertling H., Schwarz H. Anforderungen an zündanlagen zur entflammung magerer gemische (teil 1) // ATZ. – 1978. Vol. 80. – No. 4. – P. 155–158.
15. 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.
16. Kalghatgi G.T. Spark Ignition, Early flame development and cyclic variations in I.C. engine // SAE. Techn. Pap. Ser. – 1987. – № 870163. – 13 pp.
17. Francev, S.M. Uluchshenie pokazatelej gazovyh DVS za schet racional'nogo vybora parametrov iskrovogo razrjada sistemy zzhiganiya [Tekst] / dis... kand. tehn. nauk. / S.M. Francev. – Volgograd, 2009. – 128 s.