

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА ТРАНЗИСТОРНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ НА НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ И ХОЛОСТОМ ХОДУ ДВИГАТЕЛЯ

Францев С.М.¹, Кавторев А.Ю.¹

¹ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28), e-mail: fsm8@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования системы зажигания с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания на нагрузочном режиме работы и холостом ходу бензинового двигателя внутреннего сгорания. При помощи датчиков тока и напряжения произведены визуализация, трансформация и анализ информации о длительности выделения энергии искрового разряда в цилиндре двигателя на различных режимах его работы. Произведена обработка осциллограмм и показано, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя происходит сокращение длительности индуктивной фазы искрового разряда из-за увеличения напряжения, т.е. происходит выделение энергии за меньший промежуток времени. Зависимость длительности индуктивной фазы искрового разряда с повышением частоты вращения коленчатого вала двигателя на нагрузочном режиме работы носит нелинейный характер. На минимальной частоте вращения коленчатого вала напряжение низкое, а длительность выделения энергии высокая. Затем происходит снижение длительности с повышением напряжения. При повышении частоты вращения коленчатого вала до частоты, соответствующей режиму максимального крутящего момента, происходит увеличение длительности индуктивной фазы искрового разряда. При дальнейшем увеличении частоты вращения длительность индуктивной фазы искрового разряда падает, поскольку напряжение увеличивается. Нагрузочные режимы характеризуются повышенной плотностью топливовоздушной смеси в цилиндре, что обуславливает повышенное напряжение при пониженной длительности индуктивной фазы искрового разряда по сравнению с холостым ходом.

Ключевые слова: система зажигания, искровой разряд, искровое зажигание, катушка зажигания, двигатель внутреннего сгорания, электрооборудование, свечи зажигания

THE STUDY DURATION OF THE SPARK DISCHARGE IGNITION SYSTEM UNDER LOAD AND IDLING OF THE MOTOR

Frantsev S.M.¹, Kavtorev A.Y.¹

¹Penza State University of the Architecture and Construction (440028, Penza, street Hermann Titov, 28), e-mail: fsm8@mail.ru

Experimental studies of the ignition system on the load operation of the motor and idling. With the help of current and voltage sensors made visualization, transformation and analysis of information about the duration of the spark discharge energy release in the engine cylinder at different operation modes. Produced by processing waveform is shown that with increasing rotation speed of motor is decreasing duration inductive phase of the spark discharge due to increased voltage, ie, energy is released in less time. The dependence of the inductive phase of the spark discharge with an increase rotation speed of motor on load operation is nonlinear. At a minimum rotation speed of motor low voltage and duration of energy is high. Then a decrease in duration with increasing voltage. With increasing rotation speed of motor to a frequency corresponding to the maximum torque is increased duration of the inductive phase of the spark discharge. In this mode, the breakdown voltage is reduced. Upon further increasing rotation speed of motor, the duration of the inductive phase of a spark discharge falls because increased voltage. Load operation of the motor are characterized by high density fuel mixture in the cylinder, resulting in a higher voltage at lower duration of the inductive phase of the spark discharge compared to idling.

Key words: ignition system, spark, spark ignition, ignition coil, motor, electrical equipment, ignition sparkplugs.

Искровой разряд, формируемый системой зажигания, начинается с пробоя межэлектродного зазора свечи зажигания, который происходит тогда, когда напряжение во вторичной цепи системы зажигания возрастает до определенного значения, называемого пробивным напряжением ($U_{пр}$).

Согласно закону Пашена:

$$U_{\text{пр}} = f(\rho \cdot \delta_{\text{св}}),$$

где ρ – плотность газовой среды в межэлектродном зазоре свечи зажигания; $\delta_{\text{св}}$ – величина межэлектродного зазора свечи зажигания.

После пробоя следует короткая емкостная фаза искрового разряда. Величина энергии емкостной фазы разряда определяется величинами пробивного напряжения и емкости свечи зажигания.

После емкостной фазы следует гораздо более длительная индуктивная фаза искрового разряда. В течение ее длительности в межэлектродном зазоре свечи зажигания формируется плазменный столб, в котором выделяется электрическая энергия, накопленная заранее в магнитном поле катушки зажигания [5]. В системе зажигания с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания (далее ТрСЗ) наблюдается тлеющий разряд, длящийся до нескольких миллисекунд.

Можно считать доказанным, что преобладающее влияние на динамику процесса воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндре ДВС оказывает энергия индуктивной фазы разряда [2, 3].

Длительность разряда будет зависеть от параметров как системы зажигания, так и конструктивных параметров двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [6].

В работах [5, 6] показано, что для конденсаторных систем зажигания с накоплением энергии в накопительном конденсаторе (КСЗ) характерна слабая зависимость длительности искрового разряда от частоты вращения коленчатого вала ДВС, что объясняется малой зависимостью величины тока в первичной цепи катушки зажигания от величин вносимого в первичную цепь из вторичной сопротивления межэлектродного промежутка свечи, распределенных и сосредоточенных сопротивлений соответственно высоковольтного провода и свечи зажигания. Следовательно, имеет место малая зависимость частоты колебательного контура КСЗ, состоящего из накопительного конденсатора и первичной обмотки катушки зажигания, от величины вносимого из вторичной цепи катушки зажигания сопротивления.

Для классической ТрСЗ в настоящее время недостаточно исследований о влиянии режимов работы ДВС на длительность индуктивной фазы искрового разряда.

Вариации длительности и, соответственно, связанной с ней характеристикой выделения энергии искрового разряда при работе ДВС оказывают существенное влияние на динамику процесса воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндре [5].

Влияя на параметры системы зажигания (изменяя величину энергии, накапливаемой в магнитном поле катушки зажигания за счет изменения величины тока разрыва) на различных режимах, можно существенно улучшить показатели токсичности и топливной экономично-

сти ДВС. Выявление данных зависимостей позволит также создавать и корректировать существующие математические модели искрового воспламенения топливовоздушных смесей в цилиндре ДВС.

Таким образом, нахождение зависимости изменения длительности индуктивной фазы искрового разряда от режима работы ДВС является актуальной задачей.

В Автомобильно-дорожном институте Пензенского государственного университета архитектуры и строительства проведены исследования параметров индуктивной фазы искрового разряда (величины напряжения, тока и длительности) при снятии внешней скоростной характеристики и характеристики холостого хода бензинового ДВС ВАЗ-1111.

Исследования проводились с транзисторным коммутатором модели 962.3734 с катушкой зажигания 406.3705.

Величина напряжения индуктивной фазы фиксировалась посредством емкостного делителя напряжения. Определение значений величин тока и длительности индуктивных фаз искрового разряда, формируемого между электродами свечи зажигания, осуществлялось посредством измерительного трансформатора тока с нагрузочным резистором. Трансформатор тока и емкостный делитель напряжения были закреплены на высоковольтном проводе одного из цилиндров ДВС.

Измеряемые параметры фиксировались при помощи запоминающего осциллографа.

На рисунке 1 приведены амплитудно-временные параметры индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ и полученные при снятии внешней скоростной характеристики ДВС ВАЗ-1111.

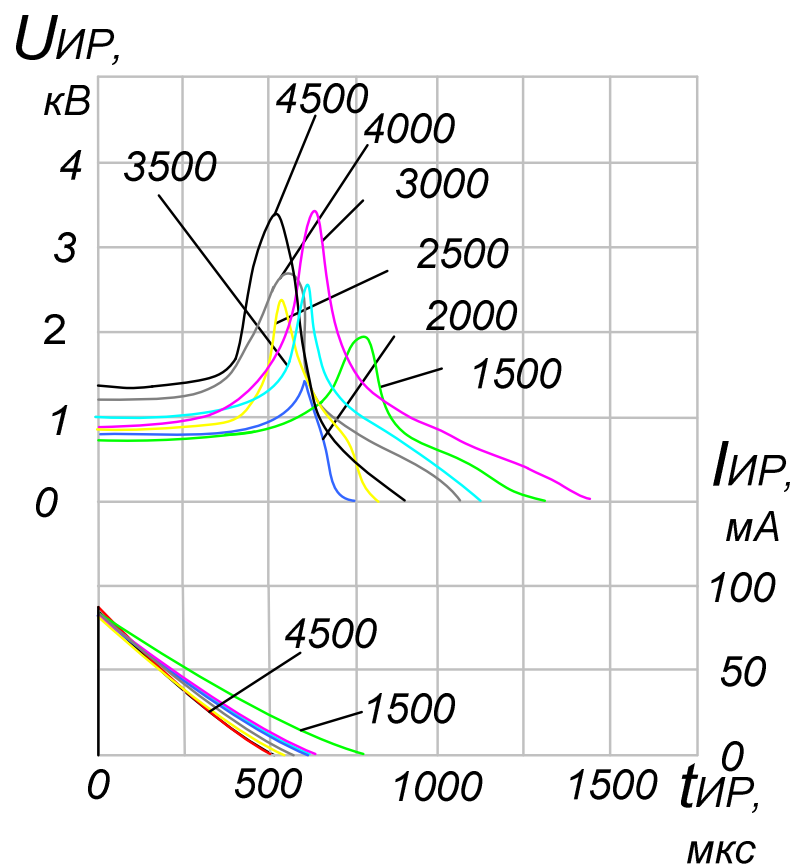


Рис. 1. Амплитудно-временные параметры индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ при снятии внешней скоростной характеристики на различных частотах вращения n коленчатого вала двигателя

Возникающее в цилиндре вихревое движение топливовоздушной смеси вытягивает (отклоняет) в сторону от оси межэлектродного промежутка свечи искровой канал, что вызывает увеличение его сопротивления и, соответственно, увеличение амплитудной величины напряжения индуктивной фазы искрового разряда.

В момент, близкий к окончанию искрового разряда, амплитудная величина напряжения максимальна, что характеризуется наибольшей длиной канала [1]. Амплитудная величина напряжения максимальна при $n = 4500 \text{ мин}^{-1}$ ($U_{\text{ИР}} = 3,4 \text{ кВ}$) и на 75 % выше, чем при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ($U_{\text{ИР}} = 2 \text{ кВ}$) (рис. 1). Интенсивность вихревого движения в момент искрового разряда пропорциональна частоте вращения коленчатого вала, углу опережения зажигания и нагрузке на ДВС.

По данным, приведенным на рисунке 1, построен график длительности индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ при различных частотах вращения n коленчатого вала двигателя (рис. 2) при снятии внешней скоростной характеристики.

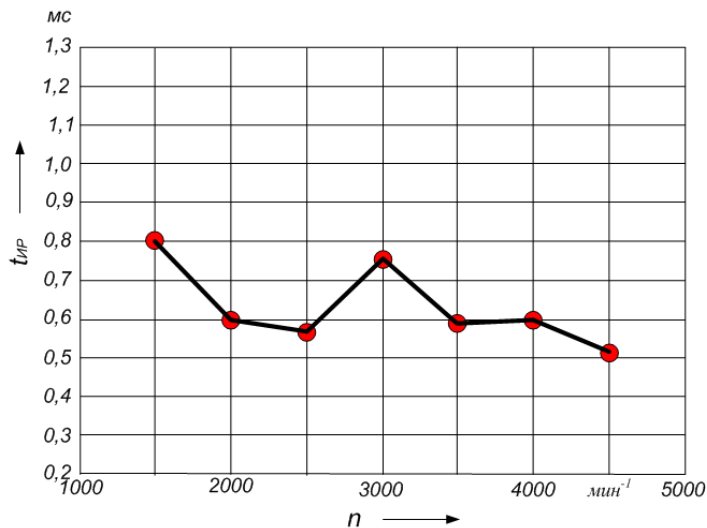


Рис. 2. Длительности индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ при снятии внешней скоростной характеристики на различных частотах вращения n коленчатого вала двигателя

На рисунке 3 приведены параметры индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ на холостом ходу при различных частотах вращения n коленчатого вала двигателя ВАЗ-1111.

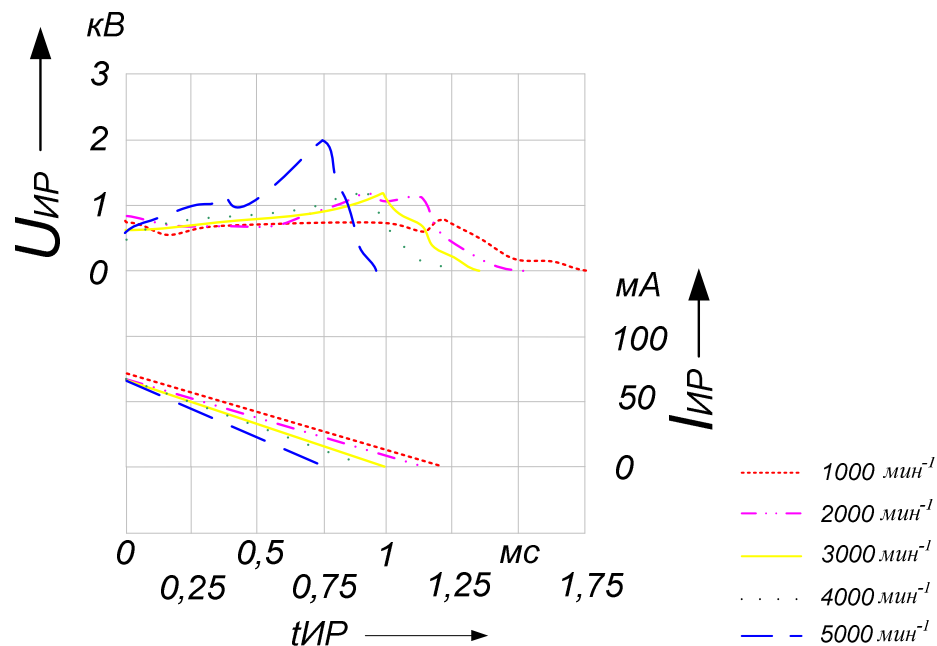


Рис. 3. Параметры индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ на холостом ходу в зависимости от частоты вращения n коленчатого вала двигателя

По данным, приведенным на рисунке 3, построен график длительности индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ, полученный при снятии характеристики холостого хода на различных частотах вращения n коленчатого вала двигателя (рис. 4).

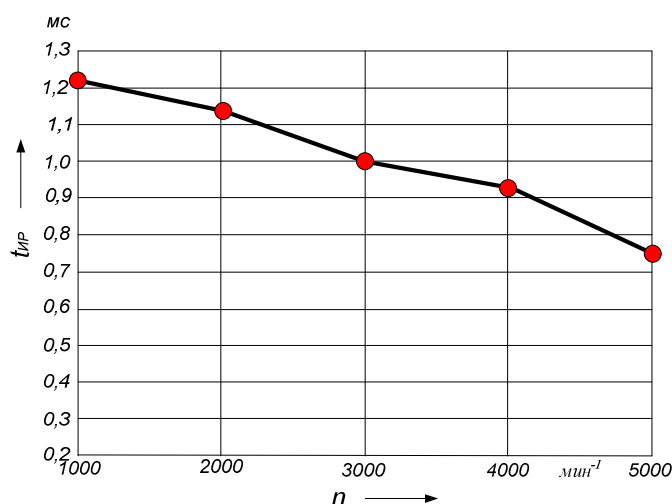


Рис. 4. Длительности индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ и полученные при снятии характеристики холостого хода на различных частотах вращения n коленчатого вала двигателя

Из рисунков 2 и 4 видно, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала ДВС происходит сокращение длительности индуктивной фазы искрового разряда. Сокращение длительности индуктивной фазы при снятии внешней скоростной характеристики при повышении частоты вращения коленчатого вала с 1500 мин^{-1} до 4500 мин^{-1} составляет 24 %. Сокращение длительности индуктивной фазы при снятии характеристики холостого хода при повышении частоты вращения коленчатого вала с 1500 мин^{-1} до 4500 мин^{-1} — 38 %.

Сокращение длительности индуктивной фазы ТрСЗ объясняется тем, что энергия индуктивной фазы разряда $W_{ИР}$, выделяемая в межэлектродном промежутке свечи зажигания, связана с напряжением индуктивной фазы $U_{ИР}$, ее длительностью $t_{ИР}$ и током $I_{ИР}$ известным соотношением:

$$w_{ИР} = \int_0^{t_{ИР}} U_{ИР} I_{ИР}(t) dt .$$

Следовательно, увеличение напряжения индуктивной фазы разряда (характерная «полка» на рис. 1 и 3) при небольшом изменении амплитудной величины тока вызывает сокращение длительности разряда. Другими словами, происходит выделение энергии, накопленной в магнитном поле катушки зажигания, за меньший промежуток времени.

Из рисунка 2 видно, что зависимость длительности индуктивной фазы искрового разряда с повышением частоты вращения коленчатого вала ДВС на нагрузочном режиме работы носит нелинейный характер.

На минимальной частоте вращения коленчатого вала напряжение низкое, и длительность выделения энергии, соответственно, высокая. Затем происходит снижение длительности до 0,55–0,6 мс, поскольку напряжение увеличивается (см. рис. 1). При повышении частоты

ты вращения коленчатого вала до 3000 мин^{-1} происходит увеличение длительности индуктивной фазы искрового разряда с $0,55\text{--}0,6 \text{ мс}$ до $0,75 \text{ мс}$ при росте же напряжения. Данный режим работы соответствует максимальному крутящему моменту ДВС ВА3-1111. На этом режиме, несмотря на увеличение напряжения, увеличение длительности можно объяснить увеличением энергии, выделяемой в индуктивной фазе. Режим максимального крутящего момента ДВС характеризуется максимальным коэффициентом наполнения цилиндра, при этом остаточных газов, вызывающих увеличенное сопротивление промежутка, минимальное количество, и при этом пробивное напряжение уменьшено. При дальнейшем увеличении частоты вращения напряжение растет, а длительность индуктивной фазы искрового разряда уменьшается.

На режиме холостого хода с увеличением частоты вращения коленчатого вала напряжение горения увеличивается (см. рис. 3), а длительность, соответственно, падает (рис. 4).

Нагрузочные режимы характеризуются повышенной плотностью топливовоздушной смеси в цилиндре, что обуславливает повышенное напряжение — $0,8\text{--}1,5 \text{ кВ}$ при длительности индуктивной фазы искрового разряда $0,5\text{--}0,8 \text{ мс}$, тогда как на холостом ходу при напряжении $0,5\text{--}0,8 \text{ кВ}$ длительность индуктивной фазы искрового разряда — $0,75\text{--}1,2 \text{ мс}$.

Таким образом, при неизменной величине энергии, накапливаемой в магнитном поле катушки зажигания, длительность индуктивной фазы искрового разряда сильно зависит от режима работы ДВС. Так, на величину длительности индуктивной фазы искрового разряда оказывает влияние целый ряд процессов в цилиндре ДВС. Полученные зависимости следует учитывать при создании математических моделей искрового воспламенения топливовоздушных смесей в цилиндре ДВС; при исследованиях влияния энергии искрового разряда на показатели токсичности и топливной экономичности ДВС; при выборе параметров искрового разряда, необходимых для успешного воспламенения смесей в цилиндре, что позволит повысить надежность и качество ДВС.

Список литературы

1. Влияние форсированных токовременных параметров искрового инициирующего разряда на показатели газового двигателя / Г.И. Шаронов, С.М. Францев, В.И. Викулов, Э.Р. Домке // Вестник МАДИ (ГТУ). – 2009. – № 4. — С. 30–34.
2. Францев С.М. Влияние характеристик искрового разряда конденсаторных систем зажигания на показатели газового двигателя на нагрузочных режимах / С.М. Францев, А.Ю. Кавторев // Интернет-журнал «Науковедение» – 2014. – № 3 (22). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN314.pdf>.

3. Францев С.М. Влияние характеристик искрового разряда конденсаторных систем зажигания на показатели газового двигателя на режиме холостого хода / С.М. Францев, А.Ю. Кавторев // Интернет-журнал «Науковедение» – 2014. – № 4 (23). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN414.pdf>.
4. 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.
5. Францев С.М. Улучшение показателей газовых ДВС за счет рационального выбора параметров искрового разряда системы зажигания : дис... канд. техн. наук.: 05.04.02 / С.М. Францев. – Волгоград, 2009. – 128 с.
6. Шаронов Г.И. Интенсификация токовременных параметров искрового иницирующего разряда газового двигателя / Г.И. Шаронов, С.М. Францев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – № 2. — С. 128–135.

Рецензенты:

Бажанов А.П., д.т.н., профессор кафедры «Геотехника и дорожное строительство» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза;
Родионов Ю.В., д.т.н., профессор декан Автомобильно-дорожного института ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза.