

## Исследование длительности и энергии искрового разряда транзисторной системы зажигания на нагрузочном режиме работы двигателя

*С.М. Францев, А.Ю. Кавторев*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

**Аннотация:** Проведены экспериментальные исследования системы зажигания с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания на нагрузочном режиме работы бензинового двигателя. При помощи датчиков тока и напряжения произведена визуализация, трансформация и анализ информации о характеристике выделения энергии искрового разряда в цилиндре двигателя на различных режимах его работы. Произведена обработка осциллограмм и показано, что с увеличением нагрузки на двигатель происходит сокращение длительности искрового разряда при увеличении энергии, выделяемой в межэлектродном зазоре свечи зажигания. С увеличением частоты вращения выделение энергии, накопленной в магнитном поле катушки зажигания, происходит за меньший промежуток времени вследствие увеличения плотности топливовоздушной смеси в цилиндре; величина энергии растет за счет снижения величины пробивного напряжения. Однако, данные зависимости носят нелинейный характер. На режиме максимального крутящего момента энергия и длительность разряда увеличены.

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

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС), являясь сложной технической системой, включает в себя ряд систем, одной из которых является система зажигания. Эффективность и качество системы зажигания подразумевает соответствие параметров искрового разряда требуемым для данного момента параметрам для успешного воспламенения топливовоздушных смесей в цилиндре.

Искровой разряд, формируемый системой зажигания, начинается с пробоя межэлектродного зазора свечи зажигания, который происходит тогда, когда напряжение на свече зажигания возрастает до значения, называемого пробивным ( $U_{\text{пр}}$ ). Согласно закону Пашена

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

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

После пробоя межэлектродного зазора следует короткая емкостная фаза искрового разряда. Величина энергии емкостной фазы разряда зависит от величин пробивного напряжения и емкости свечи зажигания [1].

После емкостной фазы следует индуктивная фаза искрового разряда. В течение ее длительности в межэлектродном зазоре свечи зажигания формируется плазменный столб, в котором выделяется тепловая энергия, накопленная заранее в магнитном поле катушки зажигания [2].

В системе зажигания с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания (далее ТрСЗ) наблюдается тлеющий разряд, длящийся до нескольких миллисекунд [3].

Длительность индуктивной фазы разряда определяется конструктивными параметрами системы зажигания [3].

Для классической ТрСЗ в настоящее время известно, что с повышением нагрузки на ДВС длительность искрового разряда сокращается, и при определенных условиях может исчезнуть совсем [2, 4].

В работах [5 – 9] проведены исследования влияния индуктивной фазы искрового разряда на показатели ДВС.

Однако, кинетика горения в цилиндре ДВС осложнена тем обстоятельством, что параметры топливно-воздушной смеси претерпевают очень сильные изменения [10] в зависимости от режима работы. Вариации длительности и характеристики выделения энергии искрового разряда на различных режимах работы ДВС в настоящее время исследованы недостаточно.

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 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, закрепленного на высоковольтном проводе. Определение значений длительности индуктивных фаз искрового разряда, формируемого между электродами свечи зажигания, осуществлялось посредством измерительного трансформатора тока с нагрузочным резистором. Трансформатор тока был закреплен на высоковольтном проводе.

Визуализация, трансформация и анализ информации о параметрах индуктивной фазы искровых разрядов производилась на основе компьютерных методов обработки получаемой с датчиков информации.

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

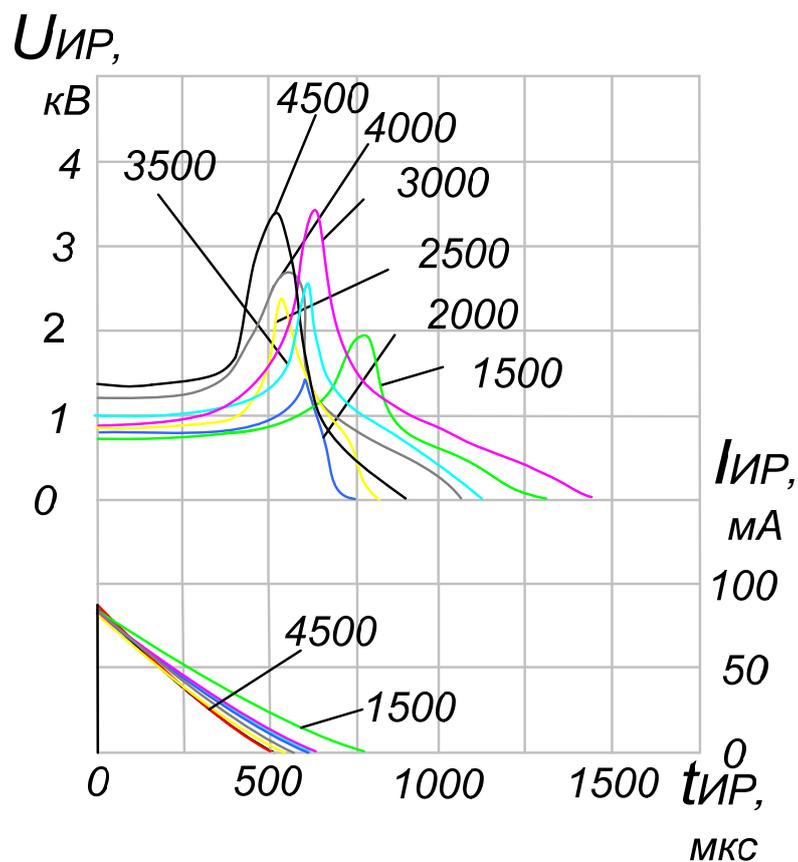


Рис. 1 – Амплитудно-временные параметры индуктивных фаз искрового разряда, полученные при снятии внешней скоростной характеристики ДВС

На основе данных, приведенных на рис. 1, построены графики длительности индуктивных фаз искрового разряда (рис. 2) и характеристики выделения энергии индуктивной фазы искрового разряда  $W_{\text{инд}}$  при различных частотах вращения коленчатого вала ДВС (рис. 3).

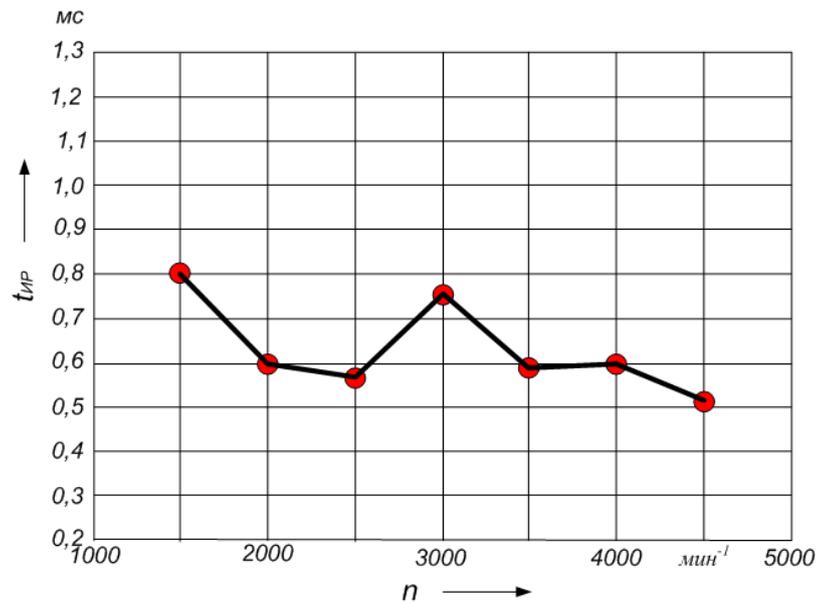


Рис. 2 – Длительности индуктивных фаз искрового разряда, формируемого ТрСЗ при снятии внешней скоростной характеристики на различных частотах вращения  $n$  коленчатого вала двигателя

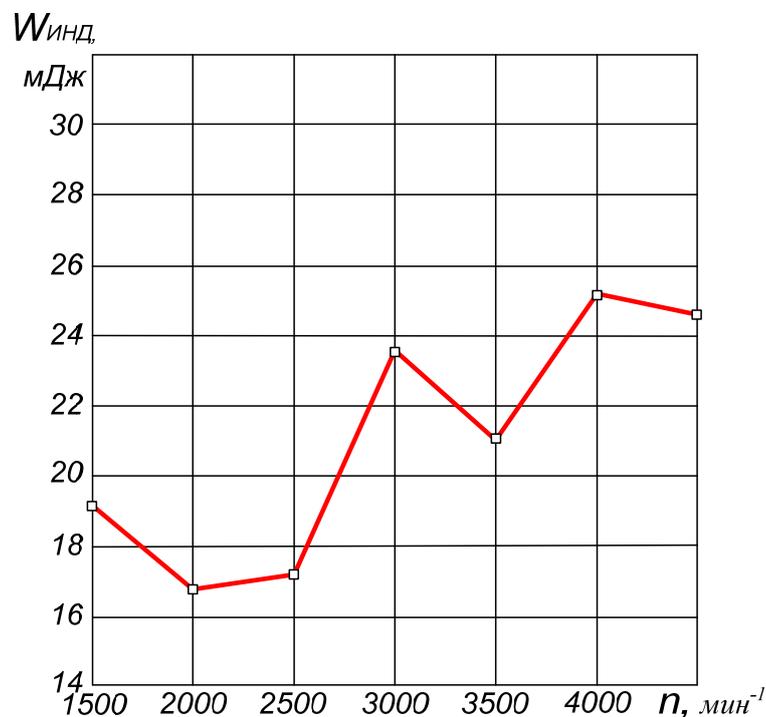


Рис. 3 – Энергия индуктивной фазы искрового разряда  $W_{\text{ИР}}$ , выделяемая в межэлектродном зазоре свечи зажигания ТрСЗ при различных частотах вращения  $n$  коленчатого вала двигателя

Из рис. 2 видно, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала ДВС с 1500 до 4500 мин<sup>-1</sup> происходит, в общем случае, сокращение с 0,8 до 0,5 мс длительности индуктивной фазы искрового разряда, и составляет 24 %.

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:

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

Т.е. увеличение напряжения индуктивной фазы разряда (характерная “полка” на рис. 1), при малом изменении амплитуды тока, вызывает сокращение длительности разряда. Другими словами, происходит выделение энергии, накопленной в магнитном поле катушки зажигания, за меньший промежуток времени.

Характеристика длительности искрового разряда согласуется с величиной напряжением, а оно, в свою очередь, с режимом работы ДВС, т.е. в данном случае, с плотностью топливоздушнoй смеси в цилиндре. С повышением напряжения длительность искрового разряда снижается.

В ТрСЗ величина энергии  $W_{Инд}$ , выделяемой в межэлектродном промежутке свечи зажигания, в общем случае, растет на 30 % с 19 до 25 мДж при повышении частоты вращения коленчатого вала от 1500 до 4500 мин<sup>-1</sup> (рис. 3).

Увеличение выделяемой энергии (при неизменной величине энергии  $W_{ИР}$ , накопленной в магнитном поле катушки зажигания) связано с ее перераспределением между емкостной и индуктивной фазами разряда.

Известно, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала ДВС

---

величина пробивного напряжения уменьшается [3, 11]. Уменьшение величины пробивного напряжения приводит к уменьшению величины энергии  $W_{\text{EMK}}$ , выделяемой в емкостной фазе разряда и увеличению выделяемой в индуктивной фазе  $W_{\text{ИНД}}$ , так как суммарная энергия искрового разряда  $W_{\text{ИР}}$  определяется суммой  $W_{\text{ИНД}}$  и  $W_{\text{EMK}}$ .

Из рис. 2 и 3 видно, что зависимости величин длительности и энергии индуктивной фазы искрового разряда от частоты вращения коленчатого вала ДВС на нагрузочном режиме работы носят нелинейный характер.

Так, для нагрузочного режима работы ДВС ВАЗ-1111 на  $3000 \text{ мин}^{-1}$  характерна увеличенная длительность и энергия разряда. При данной частоте вращения коленчатого вала происходит увеличение длительности индуктивной фазы искрового разряда до  $0,75 \text{ мс}$  и энергии до  $23 \text{ мДж}$ . Так, повышенную энергию можно объяснить снижением величины пробивного напряжения. Изучение внешней скоростной характеристики ДВС ВАЗ-1111 показало, что данный режим работы соответствует максимальному крутящему моменту, для которого характерен максимальный коэффициент наполнения цилиндра, а остаточных газов, вызывающих увеличенное сопротивление промежутка, минимальное количество, что вызывает снижение величины пробивного напряжения [12].

При дальнейшем увеличении частоты вращения, длительность индуктивной фазы искрового разряда сокращается, т.к. увеличивается напряжение и интенсивность турбулентности, о чем свидетельствует увеличение амплитуды напряжения.

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, амплитудной величины напряжения индуктивной фазы искрового разряда.

---

В момент близкий к окончанию искрового разряда амплитудная величина напряжения максимальна, что характеризуется наибольшей длиной канала [1]. Интенсивность вихревого движения в момент искрового разряда пропорциональна частоте вращения коленчатого вала, углу опережения зажигания и нагрузке на ДВС [2].

На минимальной частоте вращения коленчатого вала напряжение горения низкое и длительность выделения энергии, соответственно, высокая (0,8 мс). Затем с увеличением напряжения горения происходит снижение длительности до 0,55-0,6 мс.

Таким образом, особенностью ТрСЗ является существенная зависимость длительности индуктивной фазы искрового разряда и характеристики выделяемой в межэлектродном зазоре свечи энергии (при одинаковом количестве энергии, накопленной в магнитном поле катушки зажигания) от режима работы ДВС.

Данные 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.

### Литература

1. 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.
2. 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.

3. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей / В.Е. Ютт. – 2-е изд. – М.: Транспорт, 1995. – 304 с.

4. Злотин, Г.Н. Оптимизация характеристик разряда системы зажигания / Г.Н. Злотин, В.В. Малов // Автомобильная промышленность. – 1987. – №7. – С. 21–24.

5. 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.

6. Шаронов, Г.И. Интенсификация токовременных параметров искрового инициирующего разряда газового двигателя / Г.И. Шаронов, С.М. Францев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – №2. – С. 128–135.

7. 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: [naukovedenie.ru/PDF/36TVN314.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN314.pdf).

8. Lorne E, Kenneth C. The effect of enhanced ignition on the burning characteristics of methane-air mixtures // Combustion and flame. – 2002. – № 54. – PP. 183–193.

9. Malov V.V. Optimization of spark discharge characteristics and its effect on the ignition of a near-limit fuel-air mixtures // 8-th International conference “Gas-discharge and its application”. – Oxford, 1985. – PP. 507–510.

10. Е.Н. Ладоса. Имитация рабочего процесса поршневых двигателей на основе моделей химических реакций, турбулентности и теплообмена // «Инженерный вестник Дона», 2008, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/78](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/78).

---

11. В.В. Мациборко, А.Ю. Будко, А.Л. Береснев, М.А. Мациборко. Исследование устройств регистрации ионного тока в камере сгорания // «Инженерный вестник Дона», 2014, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2611.

12. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинир. Двигателей / Д.Н. Вырубков, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин; под ред. А.С Орлина, М.Г. Круглова; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 375 с.

### References

1. Frantsev, S.M. Teoretiko-eksperimental'nye issledovaniya parametrov sistem zazhiganiya vysokoy energii dlya gazovykh dvigateley: monografiya [Theoretical and experimental investigation of the parameters of high-energy ignition systems for gas engines. Monograph]. S.M. Frantsev, G.I. Sharonov. Penza, PGUAS, 2012. 120 p.

2. Frantsev, S.M. Uluchshenie pokazateley gazovykh DVS za schet ratsional'nogo vybora parametrov iskrovogo razryada sistemy zazhiganiya: dis... kand. tekhn. nauk [Improvements in gas engine by choosing the parameters of the spark discharge ignition system. Dissertation for the degree of doctor of philosophy]: 05.04.02. Volgograd, 2009. 128 p.

3. Yutt, V.E. Elektrooborudovanie avtomobiley [Electrical equipment of automobiles]. M.: Transport, 1995. 304 p.

4. G.N. Zlotin, V.V. Malov. Avtomobil'naya promyshlennost'. 1987. №7. PP. 21–24.

5. G.I. Sharonov, S.M. Frantsev, V.I. Vikulov, E.R. Domke. Vestnik MADI (GTU). 2009. №4. PP. 30–34.

6. G.I. Sharonov, S.M. Frantsev. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki. 2008. №2. PP. 128–135.

7. S.M. Frantsev, A.Yu. Kavtorev. Internet-zhurnal “Naukovedenie”. 2014. № 3 (22). URL: [naukovedenie.ru/PDF/36TVN314.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN314.pdf).

---



8. Lorne E, Kenneth C. Combustion and flame. 2002. № 54. PP. 183–193.
9. Malov V.V. 8-th International conference “Gas-discharge and its application”. Oxford, 1985. PP. 507–510.
10. E.N. Ladosha. «Inženernyj vestnik Dona», 2008, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/78](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/78).
11. V.V. Matsiborko, A.Yu. Budko, A.L. Beresnev, M.A. Matsiborko. «Inženernyj vestnik Dona», 2014, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2611](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2611).
12. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Teoriya porshnevykh i kombinir. Dvigateley [Internal Combustion Engines: Theory]. D.N. Vyrubov, N.A. Ivashchenko, V.I. Ivin; pod red. A.S Orlina, M.G. Kruglova; 4-e izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1983. 375 p.