

Исследование влияния полярности высокого напряжения на величину напряжения пробоя межэлектродного зазора свечи зажигания

С.М. Францев, А.Ю. Кавторев

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация: Проведены лабораторные исследования зависимости пробивного напряжения межэлектродного зазора свечи зажигания от полярности высокого напряжения, формируемого системой зажигания, плотности воздуха и величины зазора свечи. Исследования выполнены с использованием прибора для проверки свечей под давлением. При помощи резистивного датчика напряжения произведена визуализация, трансформация и анализ информации о величине пробивного напряжения. Произведена обработка осциллограмм и показано, что поверхностный пробой происходит независимо от величины зазора и определяется скоростью нарастания вторичного напряжения, формами электродов и внешнего изолятора свечи. Для снижения пробивного напряжения следует выбирать прямую полярность, когда катодом при пробое является центральный электрод свечи зажигания. Смена полярности может позволить отодвинуть поверхностный пробой в зону более высоких давлений в камере прибора, хотя и при увеличении пробивного напряжения в зазоре свечи.

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

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС), являясь сложной технической системой, включает в себя ряд систем, одной из которых является система зажигания, служащая для формирования в межэлектродном зазоре свечи зажигания искрового разряда и воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндре. Искровой разряд включает в себя рост вторичного напряжения, пробой зазора, емкостную и индуктивную фазы разряда [1, 2]. Величина пробивного напряжения зависит от режима работы ДВС [3, 4].

Увеличенное напряжение пробоя создает повышенные электрические нагрузки на элементы вторичной цепи системы зажигания, и при эксплуатации автомобиля может наступить такой момент, что коэффициента запаса вторичного напряжения не будет и величина развиваемого напряжения может быть недостаточной для пробоя межэлектродного зазора свечи зажигания.

Известно, что пробивное напряжение $U_{\text{пр}}$ зависит от величины межэлектродного зазора свечи зажигания, плотности смеси в цилиндре двигателя, скорости нарастания dU_2/dt и полярности вторичного напряжения [5, 6].

Сохранение коэффициента запаса вторичного напряжения на должном уровне требует подбора установочной величины межэлектродного зазора свечи зажигания. Исследования, приведенные в [7], показали, что в газовых ДВС с увеличенным давлением в цилиндре происходит поверхностный пробой свечи зажигания – пробой, происходящий по внешнему изолятору свечи зажигания, при отсутствии пробоя в межэлектродном зазоре свечи в цилиндре.

Выявление зависимости величины пробивного напряжения зазора от давления в цилиндре ДВС и перемены полярности является актуальной задачей и позволит подобрать свечи зажигания и обеспечить бесперебойность искрообразования.

Для определения влияния полярности вторичного напряжения и межэлектродного зазора свечи на величину его пробивного напряжения, были проведены исследования с конденсаторной системой зажигания [8, 9], формирующей вторичное напряжение с $dU_2/dt = 0,7$ кВ/мкс. Полярность вторичного напряжения, прикладываемого к межэлектродному зазору свечи зажигания изменялась путем подключения к первичной обмотке катушек зажигания подводящих проводов с различной полярностью.

Зависимость пробивного напряжения от полярности и зазора между электродами свечей зажигания оценена с использованием прибора Э203П.

Из уравнения состояния идеального газа через давление находится плотность воздуха в камере прибора Э203П по формуле:
$$\rho = \frac{P_{\text{АБС}} \cdot \mu}{R \cdot T_{\text{АБС}}},$$

где $P_{\text{АБС}}$ – абсолютное давление, Па; μ – молярная масса газа, 28,95 г/моль; R – универсальная газовая постоянная, 8,31 Дж/(моль·К); $T_{\text{АБС}}$ – абсолютная температура, К.

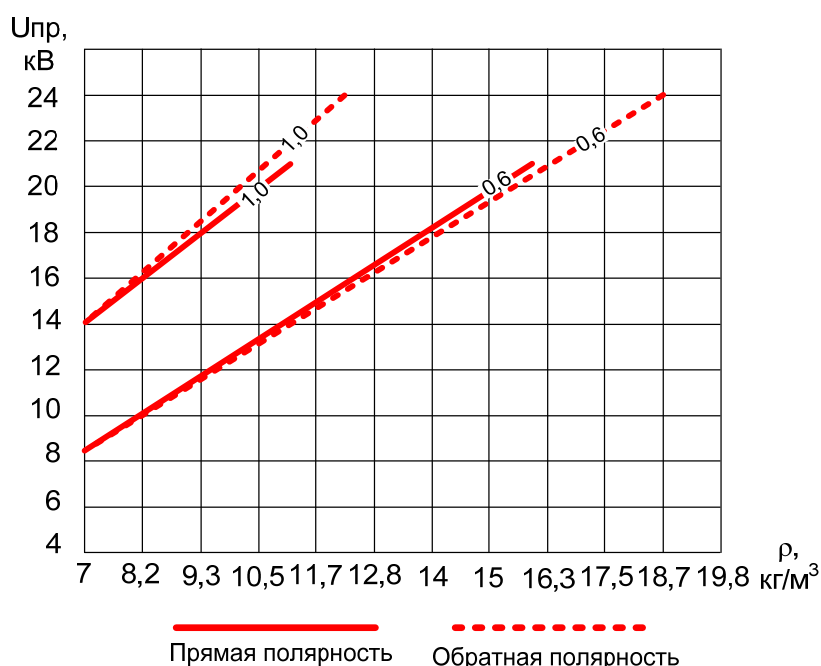
$$P_{\text{АБС}} = P_{\text{ИЗБ}} \cdot 9,81 \cdot 10000 + P_{\text{АТМ}} \cdot 133,32,$$

где $P_{\text{АТМ}}$ – атмосферное давление, мм.рт.ст.; $P_{\text{ИЗБ}}$ – избыточное давление, показания манометра прибора Э203П, кгс/см². Давление в камере прибора при испытаниях задавалось с помощью ручного насоса.

Величина пробивного напряжения индуктивной фазы фиксировалась посредством резистивного делителя напряжения, закрепленного параллельно свече. Визуализация, трансформация и анализ информации о параметрах пробивного напряжения производилась на основе компьютерных методов обработки получаемой с датчика информации.

На рисунке приведены результаты исследований пробивного напряжения $U_{\text{ПР}}$ межэлектродного зазора свечи зажигания с прямой и обратной полярностью напряжения.

Бесперебойная работа ограничивается поверхностным пробоем свечи. Из рисунка видно, что предел бесперебойной работы не зависит от величины зазора (при $\delta_{\text{СВ}} = 0,6$ и 1,0 мм и прямой полярности предел – 24 кВ). При смене полярности предел снижается до 21 кВ, но и здесь одинаков при $\delta_{\text{СВ}} = 0,6$ и 1,0 мм. Различия в величинах пробивного напряжения при смене полярности объясняются 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.



Пробивное напряжение $U_{\text{пр}}$ межэлектродного зазора свечи зажигания BRISK SILVER LR15YS от плотности воздуха ρ в камере прибора Э203П, величины зазора свечи $\delta_{\text{СВ}}$ (0,6 и 1 мм) с прямой и обратной его полярностью ($P_{\text{АТМ}} = 745$ мм.рт.ст., $T_{\text{АБС}} = 293$ К): прямая полярность вторичного напряжения – катодом при пробое является центральный электрод свечи зажигания; обратная полярность – анодом при пробое является центральный электрод свечи зажигания

Согласно [10], пробивное напряжение для отрицательного стержня примерно вдвое больше, чем для положительного. Здесь сказывается различие условий для развития лавин и стримеров около электрода. У стержня-анода лавина направлены извне к нему и попадают по мере приближения в область все более и более сильного поля. Это облегчает размножение электронов и стимулирует переход лавины в стример. В случае стержня-катода лавины по мере размножения удаляются от электрода и попадают в область все более слабого поля. Это тормозит процесс размножения и затрудняет лавинно-стримерный переход. Возникновение

стримера и замыкание им зазора – достаточное условие для осуществления пробоя межэлектродного зазора свечи зажигания.

Отметим тот факт, что с ростом плотности воздуха в камере прибора Э203П величины пробивного напряжения в зависимости от полярности расходятся, что особенно проявляется при увеличенных зазорах. Так, при плотности 11 кг/м^3 с $\delta_{\text{СВ}} = 1,0 \text{ мм}$ различие составляет 1 кВ, а при $\delta_{\text{СВ}} = 0,6 \text{ мм}$ – 0,2 кВ. Объяснить данный факт можно тем, что стример формируется дольше из-за увеличенного зазора и плотности воздуха в камере прибора.

Таким образом, по результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Поверхностный пробой происходит независимо от величины зазора и определяется скоростью нарастания вторичного напряжения, формой электродов свечи и формой внешнего изолятора свечи.

2. На увеличенных зазорах свечи выявлена бóльшая разница в величинах пробивного напряжения в зависимости от полярности, что может оказывать влияние на бесперебойность искрообразования. Для снижения пробивного напряжения следует выбирать прямую полярность, когда катодом при пробое является центральный электрод свечи зажигания.

4. Смена полярности может позволить отодвинуть поверхностный пробой в зону более высоких давлений в камере прибора, хотя и при увеличении пробивного напряжения в зазоре свечи.

5. Данные зависимости следует учитывать при выборе величины зазора свечи, что позволит повысить надежность и качество ДВС.

Литература

1. Maly R., Vogel M. Initiation and propagation of flame fronts in lean CH_4 - air mixtures by the three modes of the ignition spark // 17th Symp. (Int.) on Combust. – 1979. – PP. 821–831.



2. New aspects on spark ignition / Albrecht H. et al. – SAE Techn. Pap. Ser. – 1977. – №. 770853. – 11 p.
 3. Францев С.М., Кавторев А.Ю. Исследование длительности и энергии искрового разряда транзисторной системы зажигания на нагрузочном режиме работы двигателя // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1. Ч.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842.
 4. Францев С.М., Кавторев А.Ю. Исследование характеристики выделения энергии в межэлектродном зазоре свечи зажигания на холостом ходу двигателя // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2863.
 5. Шаронов, Г.И. Интенсификация токовременных параметров искрового инициирующего разряда газового двигателя // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2008. – №2. – С. 128–135.
 6. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для студентов вузов– 2-е изд. – М.: Транспорт, 1995. – 304 с.
 7. Францев, С.М., Кавторев А.Ю. Обеспечение бесперебойности искрообразования в межэлектродном зазоре свечи зажигания // Интернет-журнал “Науковедение”, 2014. – № 4 (23). URL: naukovedenie.ru/PDF/34TVN314.pdf.
 8. Францев, С.М., Шаронов Г.И. Теоретико-экспериментальные исследования параметров систем зажигания высокой энергии для газовых двигателей: монография. – Пенза, ПГУАС, 2012. – 120 с.
 9. Францев, С.М. Улучшение показателей газовых ДВС за счет рационального выбора параметров искрового разряда системы зажигания : дис... канд. техн. наук. : 05.04.02. – Волгоград, 2009. – 128 с.
 10. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 592 с.
-

References

1. Maly R., Vogel M. 17th Symp. (Int.) on Combust. 1979. PP. 821–831.
2. Albrecht H. et al. SAE Techn. Pap. Ser. 1977. №. 770853. 11 p.
3. S.M. Frantsev, A.Yu. Kavtorev. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. № 1. P.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842.
4. S.M. Frantsev, A.Yu. Kavtorev. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2863.
5. G.I. Sharonov, S.M. Frantsev. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki. 2008. №2. PP. 128–135.
6. Yutt, V.E. Elektrooborudovanie avtomobiley [Electrical equipment of automobiles]. M.: Transport, 1995. 304 p.
7. S.M. Frantsev, A.Yu. Kavtorev. Internet-zhurnal “Naukovedenie”. 2014. № 4 (23). URL: naukovedenie.ru/PDF/34TVN314.pdf.
8. 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]. Penza, PGUAS, 2012. 120 p.
9. 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.
10. Rajzer, Ju.P. Fizika gazovogo razryada [Physics of gas discharge]. M.: Nauka, 1987. 592 p.