

УДК 621.43.044

**Дзюбенко А.А., аспирант
ХНАДУ, г. Харьков**

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ ДВС

Обоснован способ управления искровым разрядом системы зажигания, направленный на оптимизацию процесса сгорания, с целью повышения экологических показателей ДВС.

Введение

Одним из важнейших направлений в развитии автомобильного транспорта является повышение его экологической безопасности и топливной экономичности. Современные системы снижения массовой доли токсичных веществ в составе отработавших газов (каталитические нейтрализаторы, камеры дожигания) позволяют поддерживать выбросы автомобиля в рамках существующих норм токсичности. Однако при эксплуатации этих систем необходимо поддержание определенного температурного режима отработавших газов, работа двигателя на обогащенных смесях, использование топлива высокого качества, а также применение многоступенчатых систем, что в свою очередь приводит к снижению мощностных и экономических показателей автомобиля.

К методам, которые позволяют уменьшить образование токсичных веществ в процессе сгорания, относятся: обеднение топливовоздушной смеси (ТВС) при повышении степени сжатия и переход на альтернативные виды топлива, имеющие более высокие экологические показатели, однородность ТВС, низкие эксплуатационные затраты. Оба метода имеют пониженную динамику воспламенения и сгорания и нуждаются в интенсификации процесса. К параметрам, определяющим интенсивность процесса сгорания, и которые не зависят от режимов двигателя, относятся параметры искрового разряда системы зажигания (СЗ).

Анализ публикаций

Вопросы, связанные с выбором и обоснованием параметров искрового разряда СЗ рассмотрены в ряде публикаций. В [1] показано, что для обеспечения надёжного воспламенения и сгорания бедной топливовоздушной смеси при $\alpha = 1,4 \dots 1,5$ общая энергия разряда должна составлять не менее 300 мДж, продолжительность разряда порядка 10 мс, количество искр в пачке около 15. В [2] подробно рассмотрены факторы, влияющие на образование токсичных веществ, способы их уменьшения, а также представлены результаты по исследованию влияния угла опережения зажигания (УОЗ) на конкретные компоненты продуктов сгорания. В [3] предложена многоискровая система зажигания высокой энергии с регулируемой длительностью разряда. Рассматриваемая система построена по усовершенствованной тиристорной схеме с подкачкой энергии в первичный контур.

Постановка задачи

Провести анализ влияния параметров искрового разряда СЗ на процесс сгорания, выявить способы оперативного управления параметрами искрового разряда, определить их время-амплитудные характеристики и диапазон изменений. Сформировать основные требования для использования при построении систем автоматического управления зажиганием.

Анализ параметров искрового разряда СЗ и способы управления ими

К параметрам искрового разряда относятся угол опережения зажигания, энергия разряда, длительность разряда. В современных системах зажигания в качестве управляемого параметра используется УОЗ. Как при раннем, так и при позднем моменте зажигания процесс сгорания протекает не оптимально, поэтому мощность и экономичность двигателя не достигают возможных значений. Оптимальный УОЗ определяется периодом задержки воспламенения смеси и скоростью нарастания давления в цилиндре. Уменьшение УОЗ является эффективным средством снижения выделений NO_x и HC . Но, поскольку сгорание происходит с запаздыванием, то термический КПД двигателя и топливная экономичность автомобиля ухудшаются [2].

При исследовании ДВС процесс сгорания принято оценивать по индикаторной диаграмме. На рис.1 точка a — момент начала искрообразования; точка b характеризует начало видимого сгорания; участок ab — период индукции или период задержки воспламенения топлива (φ_i); точка c — верхняя мертвая точка; участок bc — участок сгорания политропического характера (φ_c); точка z — момент максимального давления в цилиндре; участок cz — участок сгорания линейного характера (φ_z).

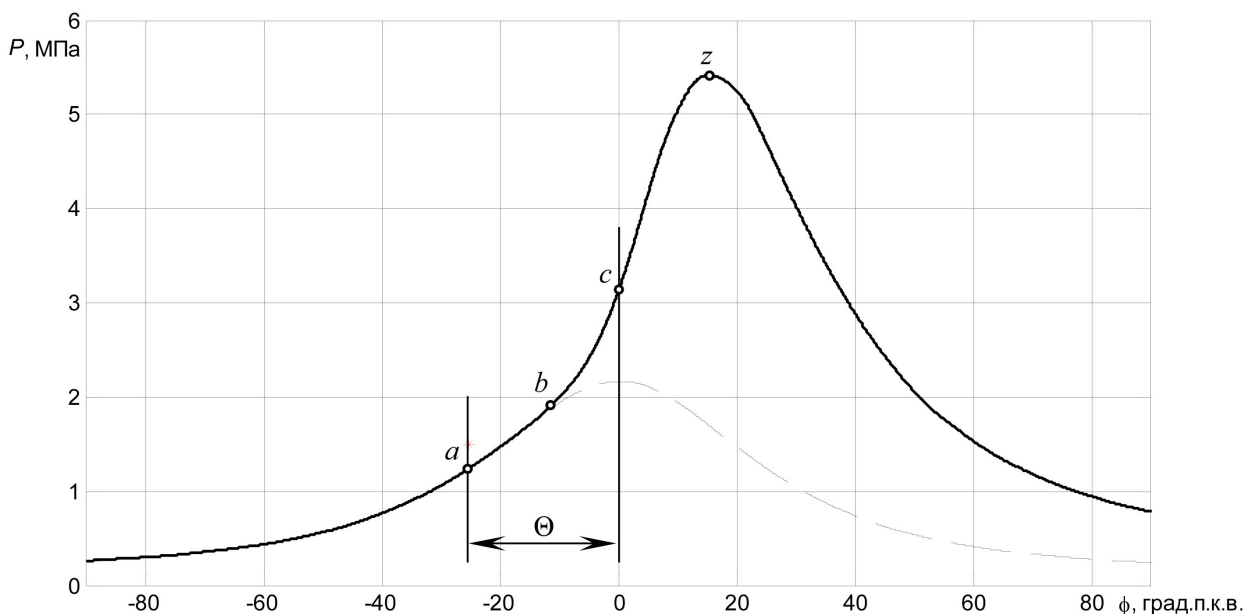


Рис.1. Процесс сгорания ДВС на индикаторной диаграмме

В таблице 1 приведены результаты исследования периодов сгорания для бензинового двигателя при $\alpha = 0,85$ и различном времени разряда. Из таблицы видно, что длительность индуктивной фазы практически не зависит от частоты вращения. Незначительное увеличение t_i при повышении частоты вращения связано с увеличением УОЗ. Вследствие чего искрообразование происходит при меньшем давлении, что, во-первых, ухудшает процесс воспламенения, и во-вторых, снижает интенсивность выделения энергии при пробое. Уменьшение t_b и t_z , при увеличении частоты вращения, связано с повышением турбулентности, что в свою очередь увеличивает скорость распространения пламени. Увеличение времени искрового разряда не оказало заметного влияния на длительности фаз сгорания, так как время видимого сгорания фактически не превышает 2 мс.

Результаты исследования периодов сгорания для газового двигателя при $\alpha = 0,85$ и прочих равных условиях, приведены в таблице 2. Здесь можно отметить незначительное уменьшение t_z при увеличении $T_{раз}$ на частотах 2500 и 3000 $мин^{-1}$.

Большинство известных способов повышения энергии искрового разряда, как для систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности, так и для систем с накоплением в емкости, основаны на увеличении времени искрового разряда. Воспламеняющей же способностью искрового разряда является его мощность, т.е. плотность выделения энергии. К способам повышения мощности разряда можно отнести повышение энергоемкости накопителя при увеличении искрового промежутка свечи зажигания, а также установка двух свечей зажигания в одном цилиндре, но первый способ не позволяет производить оперативное управление мощностью, а второй — требует изменения конструкции камеры сгорания. Решением задачи является применение частотного регулирования мощности искрового разряда. Что не позволит изменять мгновенную мощность, но даст возможность управлять количеством разрядов за определенный короткий промежуток времени — интенсивностью искрового разряда.

Формирование искрового разряда

Исследования искрового зажигания [4] показали, что процесс искрового разряда можно разбить на три фазы: первая фаза — пробой (единицы наносекунд); вторая — дуговой разряд (≈ 1 мкс) и третья фаза — тлеющий разряд (несколько миллисекунд). Указанные типы разряда вполне однозначно характеризуются величинами высвобождаемых мощности и энергии (рис. 2). Во время пробоя уровень мощности максимален (до нескольких мегаватт) при достаточно малых уровнях энергии (0,3...1 мДж). Дуговой разряд характеризуется промежуточными значениями мощности и энергии, а тлеющий разряд происходит при минимальном уровне мощности (десятки ватт) и уровнях энергии 30...100 мДж. Это, в первую очередь, объясняется длительностью тлеющего разряда.

Таблица 1

Зависимость длительности периодов процесса сгорания бензинового ДВС от частоты вращения

$n, \text{мин}^{-1}$	φ_i	φ_b	φ_z	$t_i, \text{мс}$	$t_b, \text{мс}$	$t_z, \text{мс}$
при $T_{\text{раз}} = 2 \text{ мс}$						
2500	10	14	18,5	0,67	0,93	1,233
3000	12,2	12,5	18,2	0,68	0,69	1,011
3500	14,5	11	17,9	0,688	0,53	0,85
4000	16,7	12	17,7	0,694	0,5	0,74
4500	18,9	11,6	17,5	0,7	0,43	0,65
5000	21	10,5	17,5	0,702	0,35	0,58
при $T_{\text{раз}} = 5 \text{ мс}$						
2500	10,1	13,8	18,3	0,675	0,92	1,22
3000	12,2	12,6	18	0,68	0,7	1
3500	14,5	11,1	17,6	0,69	0,53	0,84
4000	16,6	12,2	17,5	0,693	0,51	0,73
4500	18,9	12,1	17,3	0,7	0,45	0,64
5000	21,1	9,9	17,2	0,705	0,33	0,573

Зависимость длительности периодов процесса сгорания газового ДВС от частоты вращения

$n, \text{мин}^{-1}$	φ_i	φ_b	φ_z	$t_i, \text{мс}$	$t_b, \text{мс}$	$t_z, \text{мс}$
при $T_{\text{раз}} = 2 \text{ мс}$						
2500	14	16	20,2	0,93	1,066	1,35
3000	16,4	14,5	19,8	0,91	0,805	1,1
3500	17,8	13,5	19,2	0,847	0,64	0,914
4000	20,7	14,2	18,7	0,86	0,59	0,78
4500	22	14,6	18,3	0,814	0,54	0,68
5000	24,5	13,8	18	0,816	0,46	0,6
при $T_{\text{раз}} = 5 \text{ мс}$						
2500	14,2	15,8	19,9	0,95	1,053	1,32
3000	16,3	14,6	19,4	0,9	0,81	1,077
3500	17,5	13,8	19	0,833	0,65	0,9
4000	19,6	15,3	18,8	0,816	0,637	0,78
4500	21,5	15	18,3	0,8	0,55	0,68
5000	23,7	14,6	18,1	0,79	0,48	0,6

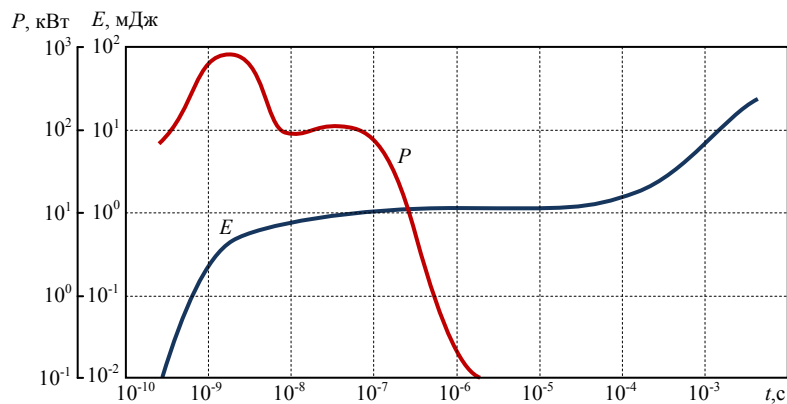


Рис. 2. Диаграммы мощности и энергии искрового разряда во времени для системы зажигания с накоплением энергии в индуктивности (при величине искрового промежутка 1 мм)

Работа [5], посвященная исследованию искрового разряда и формирования плазмы пробоя, показывает, что фазы разряда имеют также различные температурные характеристики. Энергетический баланс, приведенный в таблице 3, позволяет непосредственно сравнить фазу пробоя с фазами дугового и тлеющего разрядов.

Для реализации частотного управления искровым разрядом наиболее подходящей является схема СЗ с накоплением энергии в емкости, так как повышенное напряжение заряда накопительной емкости позволяет достигать высоких частот искрового разряда. Так при напряжении емкости 250 В максимальная частота разряда составляет около 50 кГц. Управление частотой производится изменением времени между разрядами. Для большей эффективности способа необходимо применять статическое распределение энергии по цилиндрам.

Таблица 3

Энергетический баланс плазмы пробоя, дугового и тлеющего разрядов
в идеальных условиях

	Пробой	Дуговой разряд	Тлеющий разряд
Потери излучения	<1%	около 5%	<1%
Потери вследствие теплопроводности электродов	около 5%	около 45%	70%
Полные потери	около 6%	около 50%	около 70%
Энергия плазмы	около 94%	около 50%	около 30%

Результаты

Анализ результатов исследования параметров искрового разряда и степени их влияния на процесс сгорания позволяет сделать однозначный вывод об эффективности использования частотного управления интенсивностью искрообразования. А также дает возможность сформулировать ряд положений, которыми следует руководствоваться при разработке систем автоматического управления зажиганием, направленных на оптимизацию процесса сгорания:

- уменьшение УОЗ, в определенных пределах, положительно сказывается на составе отработавших газов, но без повышения интенсивности сгорания приводит к ухудшению топливно-экономических показателей двигателя;

- увеличение требуемой начальной скорости распространения пламени достигается повышением плотности подаваемой энергии искрового разряда;

- наибольшие плотности энергии и градиенты температуры в зоне воспламенения достигаются при подаче энергии системы зажигания в искровой промежуток за минимальный период времени;

- подвод энергии после завершения процесса воспламенения не ускоряет распространение пламени, а лишь снижает эффективность работы системы зажигания;

- повышение напряжения, питающего первичный контур СЗ, позволяет увеличить скорость нарастания вторичного напряжения и тем самым повысить возможную частоту искрообразования;

- использование коротких разрядов, не переходящих в фазу тлеющего разряда, позволяет повысить эффективность передачи энергии для воспламенения топливовоздушной смеси.

Список литературы

1. Anderson R.W. The effect of ignition System Power on Fast Burn Engine Combustion / SAE preprint № 870549, 1997. — 12 p.
2. Holl W. Air Fuel Control to Reduce Emissions. SAE paper 800051, February 1980.
3. Богомолов В.А. Экспериментальная стендовая электронная система управления газовым двигателем 6Ч13/14 с искровым зажиганием / В.А. Богомолов, А.В. Бажинов и др. // Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов.— Харьков, 2007. — Вып. 20. — С. 81-87.
4. Harrington J.A., Shishu R.C., Asik J.R. A Study of Ignition System Effects on Power, Emissions, Lean Misfire Limit, and EGR Tolerance of a Single-Cylinder Engine — Multiple Spark versus Conventional Single-Spark Ignition. SAE paper 740188, 1974.
5. Johnston R.W., Neuman J.G., Agarwal P.D. Programmable Energy Ignition System for Engine Optimization. SAE paper 750348, 1975.

Стаття надійшла до редакції 07.04.09

© Дзюбенко О.А., 2009