

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИНИЦИАТОРА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ ВОДОРОДА В ДВС

М.С. Ассад, к.т.н.; Барановичский государственный университет

Одним из альтернативных видов топлива для ДВС является водород. Важнейшая характеристика горения топливно-воздушной смеси — скорость распространения фронта пламени (скорость горения).

Экспериментальные исследования проводились в модельной камере сгорания с изучением продолжительности и скорости сгорания, расстояния фронта пламени от источника зажигания, развиваемого в камере давления и скорости его нарастания.

Воспламенение смеси производилось с помощью свечи зажигания с боковым (боковой поджиг) и центральным (центральный поджиг) ее расположением в корпусе камеры сгорания.

В настоящее время энергетические и экологические проблемы в двигателестроении приобретают первостепенное значение. Поскольку на ближайшие десятилетия тепловой двигатель останется основным типом привода в силовой установке, необходим поиск путей их совершенствования.

Традиционный подход к решению указанной проблемы заключается в совершенствовании существующей конструкции двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и создании более эффективных силовых установок при использовании традиционных углеводородных топлив.

Принципиально новое и весьма перспективное решение энергетических проблем в двигателестроении — переход на новые, более эффективные виды топлива в рамках потенциальных энергосырьевых ресурсов. Одним из альтернативных видов топлива для ДВС является водород, перспективность использования которого определяется высокими энергетическими показателями, уникальными кинетическими характеристиками, хорошими моторными свойствами, экологической чистотой, неограниченностью сырьевых запасов, возможностью его получения в больших объемах [1, 2]. Благодаря хорошей совместимости с традиционными углеводородными топливами водород может быть использован как основное топливо, полностью их заменяющее, и в качестве добавки к ним. Низшая теплота сгорания молекулярного водорода составляет

241,9 МДж/моль, что соответствует 120 МДж/кг [3, 4].

Однако водород обладает рядом особенностей, отличающих его от других видов топлива, которые приведут в случае его применения как моторного топлива к некоторым изменениям рабочего процесса двигателя.

Возможность применения любого вида топлива для двигателей внутреннего сгорания оценивается прежде всего рабочими характеристиками процесса горения топливно-воздушной смеси в цилиндре — основы рабочего процесса ДВС.

Важнейшей характеристикой горения топливно-воздушной смеси является скорость распространения фронта пламени (скорость горения).

Высокая скорость горения водорода, на порядок превышающая скорость горения углеводородных топлив [5, 6], при определенных условиях создает проблему детонационноподобного горения в случае конверсии ДВС на водород и способствует интенсивному нарастанию давления в цилиндре, что является основной причиной жесткой работы двигателя.

Для предотвращения появления указанных явлений и их отрицательного воздействия на основные показатели двигателя возникает необходимость правильной организации рабочего процесса и оптимизации, в первую очередь, процесса горения водорода в цилиндре двигателя.

Основным условием воспламенения топливно-воздушной смеси и дальнейшего распространения пламени является ее подогрев до необходимой температуры. Подогрев можно выполнить двумя способами: довести температуру всей смеси до заданного значения; повысить температуру небольшой части горючей смеси, что приведет к локальному воспламенению с образованием очага горения. В первом случае имеет место воспламенение от сжатия, а во втором — воспламенение посторонним источником.

Экспериментальные исследования проводились в прозрачной модельной камере сгорания диаметром 80 мм и высотой 32 мм, в которой исследовался процесс горения водородно-воздушной смеси стехиометрического состава с 1% метана при начальном давлении в камере 0,5 МПа. Инициирование воспламенения смеси производилось с помощью свечи зажигания с двумя ва-

риантами установки в корпусе камеры сгорания: боковое (боковой поджиг) и центральное (центральный поджиг) расположение. При боковом поджиге свеча устанавливалась в середине образующей цилиндрической стенки напротив датчика давления, при центральном — в центре торцевой стенки камеры сгорания. Визуализация распространения фронта пламени в камере сгорания и регистрация ее продолжительности осуществлялась методом скоростного фотографирования.

Исследованию подвергались следующие параметры: продолжительность сгорания, скорость сгорания, расстояние фронта пламени от источника зажигания, давление, развиваемое в камере, и скорость нарастания последнего. Совокупность экспериментальных данных аппроксимирована полиномиальной зависимостью

$$f(x) = \sum_{i=0}^n b_i x_i^n.$$

Обработка полученных результатов привела к следующему.

На рис. 1 показаны изменения во времени скорости горения исследованной водородно-воздушной смеси в модельной камере сгорания с боковым и центральным расположением свечи зажигания. В обоих случаях изменение скорости горения смеси имеет экстремальный характер с разными значениями максимума скорости горения. В начальный период скорость горения резко возрастает, достигая максимума через 0,63 мс при боковом и 0,78 мс при центральном поджиге, что связано, по-видимому, с быстрым развитием реакций в зоне искрового разряда. Затем скорость горения одинаково стремительно падает и лишь позднее, начиная с $t = 2$ мс, появляются отличия в ходе кривых. В случае бокового поджига (см. рис. 1, 1) в точке перегиба на кривой (при $t = 2$ мс) существенно замедляется падение ско-

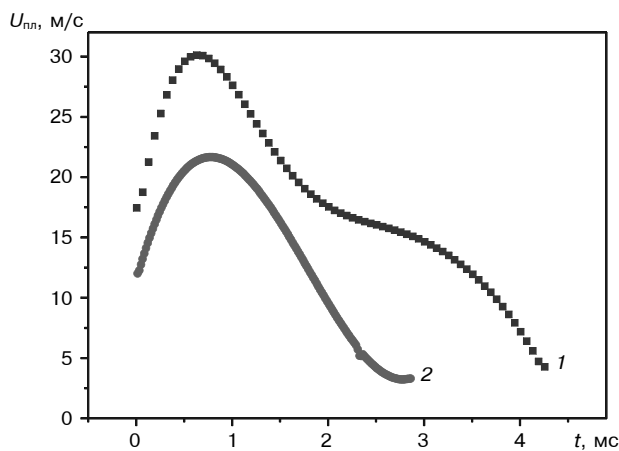


Рис. 1. Зависимости скорости горения водородно-воздушной смеси (с 1% метана) стехиометрического состава от времени горения при боковом 1 и центральном 2 поджиге

рости горения и на отрезке 2–3 мс фронт пламени распространяется примерно с постоянной линейной скоростью, после чего продолжается резкое снижение скорости по криволинейной траектории. При центральном поджиге (см. рис. 1, 2) наблюдается некоторое замедление падения скорости горения в точке перегиба на кривой, соответствующей $t = 2$ мс, которое продолжается до конца процесса.

Исследование изменения по времени расстояния, пройденного фронтом пламени, при горении водородно-воздушной смеси в камере сгорания с боковым и центральным поджигом показало (рис. 2), что в обоих случаях путь пламени (приведенный радиус пламени) от свечи зажигания возрастает быстро примерно с постоянной линейной скоростью и лишь при центральном поджиге, начиная с $t = 2$ мс (см. рис. 2, 2), наблюдается замедление роста очага горения, которое продолжается до конца процесса.

На рис. 3 показаны изменения скорости горения исследованной смеси как функция расстояния, проходимого фронтом пламени, в камере сгорания с боковым и центральным расположением свечи зажигания. Кривые в обоих случаях имеют экстремальный характер с максимальными значениями скорости 30,14 и 21,67 м/с, зафиксированными на расстоянии 17 и 14,67 мм от свечи зажигания соответственно. При боковом поджиге в интервале пути более 40 мм характер изменения кривой скорости распространения пламени почти такой же, как при центральном поджиге (за экстремальными точками на кривых наблюдается сначала медленное, затем быстрое падение скорости), а на отрезке пути 50–65 мм скорость распространения пламени снижается очень медленно почти прямолинейно, затем снова резко падает до достижения противоположной стенки камеры сгорания.

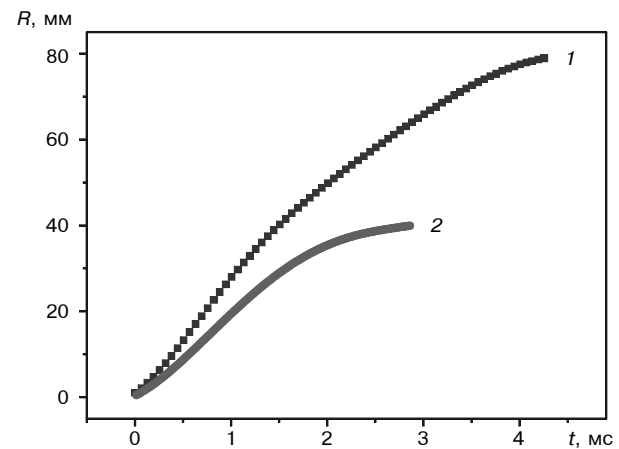


Рис. 2. Зависимости расстояния, пройденного фронтом пламени, от времени горения водородно-воздушной смеси (с 1% метана) стехиометрического состава при боковом 1 и центральном 2 поджиге

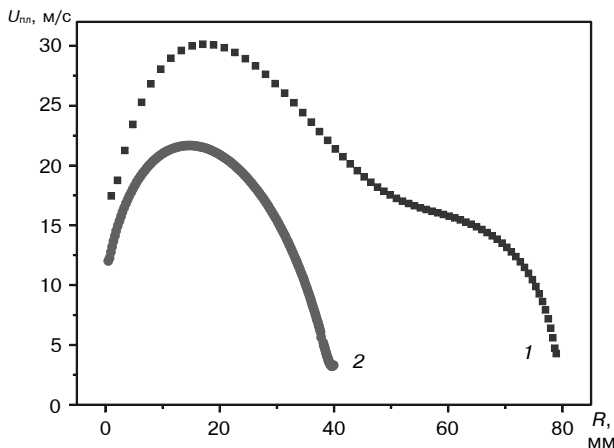


Рис. 3. Зависимости скорости горения водородно-воздушной смеси (с 1% метана) стехиометрического состава от расстояния, пройденного фронтом пламени, при боковом 1 и центральном 2 поджиге

Анализ построенных графиков в совокупности показывает, что при боковом расположении свечи зажигания скорость горения достигает максимума, равного 30,14 м/с (см. рис. 1, 1), примерно через 1/8 части (0,63 мс) продолжительности всего процесса горения (4,9 мс). В этот момент фронт пламени проходит примерно 1/5 части всего пути пламени, равного диаметру камеры сгорания 80 мм, находясь на расстоянии 17 мм от свечи зажигания (см. рис. 2, 1 и 3, 1). При центральном поджиге экстремальная кривая скорости горения смеси имеет максимальное значение, равное 21,67 м/с, в точке (0,78 мс), соответствующей примерно 1/5 части продолжительности процесса горения (см. рис. 1, 2). При этом фронт пламени проходит расстояние 14,67 мм от свечи зажигания, что составляет примерно 1/3 части (около 36 %) всего пути пламени, равного радиусу камеры сгорания 40 мм (см. рис. 2, 2 и 3, 2).

Таким образом, при центральном поджиге максимальная скорость достигается раньше по абсолютной величине расстояния, но значительно позже по времени, чем при боковом поджиге.

Изучение изменения по времени скорости нарастания давления при горении исследованной смеси в камере сгорания с боковым и центральным поджигом показало (рис. 4), что в обоих случаях кривые скорости нарастания давления имеют одинаковый характер. В камере развивается одинаковое максимальное давление, равное примерно 3,55–3,65 МПа, достигаемое через 4,9 мс при боковом и 3,7 мс при центральном поджиге. Следовательно, скорость нарастания давления в камере сгорания, составляющая при центральном поджиге 850–870 МПа·с⁻¹, выше в 1,32–1,35 раза по сравнению с боковым поджигом (640–660 МПа·с⁻¹). При этом в момент достижения максимальной скорости рост давления ($\Delta p = p - p_0$) в камере сгорания с центральным поджигом,

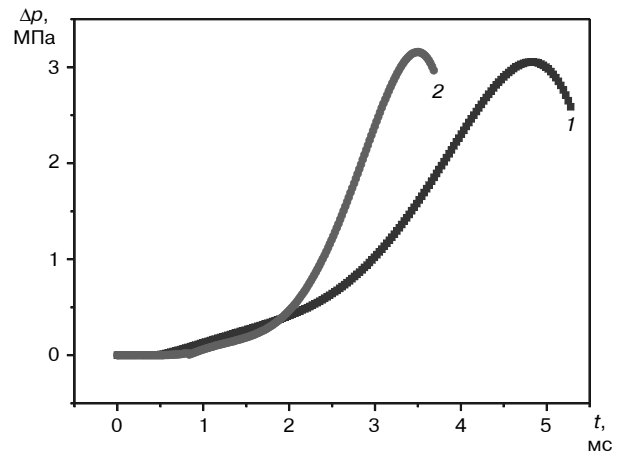


Рис. 4. Зависимости скорости горения водородно-воздушной смеси (с 1% метана) стехиометрического состава от расстояния, пройденного фронтом пламени, при боковом 1 и центральном 2 поджиге

равный 0,018 МПа, почти в 2 раза ниже, чем с боковым (см. рис. 4).

Анализируя кривые скорости и пути пламени на рис. 1–3, можно сделать вывод, что сокращение пути пламени в два раза (с 80 до 40 мм) не только не ускоряет горение, но и приводит, вопреки общепринятому, к противоположному эффекту — существенному снижению скорости. Связь между скоростями горения при центральном $v_{ц.п}$ и боковом $v_{б.п}$ поджиге можно выразить соотношением

$$v_{б.п} \approx 1,5v_{ц.п}.$$

Это объясняется тем, что скорость распространения фронта пламени снижается с повышением давления среды, в которой распространяется пламя. При распространении фронта пламени в замкнутом объеме давление непрерывно повышается, причем фронт пламени может быть представлен в виде поршня по отношению к свежей части смеси. При центральном поджиге фронт пламени распространяется в виде круга, радиус которого увеличивается по радиусу камеры (во все направления) до достижения цилиндрической стенки камеры, а при боковом — в виде дуги, ограниченной цилиндрической стенкой камеры сгорания, развивающейся в полуплоскости по диаметру камеры (в одно направление) до достижения противоположной стенки камеры сгорания. Расширяясь, продукты сгорания сжимают расположенную перед фронтом пламени свежую часть смеси, которая перемещается к цилиндрической стенке камеры со скоростью $v_{св.с}$, обусловливаемой степенью расширения сгоревшей части смеси (продуктов сгорания). Поскольку, как отмечалось выше, скорость нарастания давления в камере сгорания с центральным расположением свечи зажигания значительно выше, чем с боковым, то свежая часть смеси подвергается

ется большему поджатию в первом случае, чем во втором. Следовательно, в один и тот же момент времени давление смеси при горении в камере с центральным поджигом оказывается значительно выше, чем с боковым, значение которого обратно пропорционально скорости распространения пламени.

Таким образом, в целях уменьшения скорости горения без изменения максимального давления целесообразно установить свечу зажигания в центре торцевой стенки камеры сгорания, что способствует, по-видимому, уменьшению вероятности появления детонации и менее жесткой работе двигателя, работающего на водороде.

Выводы

1. Использование для инициирования искры центрального расположения свечи зажигания в камере сгорания приводит к положительному эффекту, связанному с сокращением пути пламени (от свечи зажигания до наиболее отдаленной точки камеры сгорания) в два раза.

2. Продолжительность процесса горения водородно-воздушной смеси в камере с центральным поджигом примерно на треть меньше, а скорость горения в 1,5 раза ниже по сравнению с боковым поджигом.

3. Фронт пламени достигает максимальной скорости горения при центральном поджиге на меньшем расстоянии от инициатора воспламенения, при этом затрачивает в 1,24 раза больше времени, чем при боковом.

4. Максимальное давление в обоих вариантах расположения свечи зажигания одинаковое и

составляет примерно 3,55–3,65 МПа, а скорость нарастания давления в камере с центральным поджигом значительно выше по сравнению с боковым.

Литература

1. Agbossou K., Chahine R., Hamelin J., Laurencelle F., Anouar A., St-Arnaud J.-M., Bose T.K. Renewable energy systems based on hydrogen for remote applications // J. of Power Sources. — 2001. — Vol. 96. — P. 168–172.
2. Berry G. D., Pasternak A. D., Rambach G. D., Smith J. R., and Schock R. N. Hydrogen as a future transportation fuel // Energy. — 1996. — Vol. 21. — № 4. — P. 289–303.
3. Andrea T. D., P. F. Henshaw P. F., Ting D. S.-K. The addition of hydrogen to a gasoline-fuelled SI engine // Int. J. of Hydrogen Energy. — 2004. — Vol. 29. — P. 1541–1552.
4. Емельянов В.Е., Крылов И.Ф. Автомобильный бензин и другие виды топлива: свойства ассортимента, применение. — М.: Астрель, АСТ: Профиздат, 2005. — 207 с.
5. Ассад М.С., Лещевич В.В., Миронов В.Н., Пенязков О.Г., Севрук К.Л. Горение модифицированных топлив в модели камеры сгорания ДВС / Сборник научных трудов «Тепло- и массоперенос» Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН РБ. — Минск, 2005. — С. 100–105.
6. Assad M. S., Leshchevich V. V., Mironov V. N., Penyazkov O. G., Sevruk R. L., Srilond A. V. Combustion of hydrogen-contained fuels in the model of ice chamber / International workshop «Nonequilibrium processes in combustion and plasma based technologies». — Minsk, 2006. — P. 124–129.

ПРЕДЛАГАЕМ РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ
Ориентировочные тарифы на 1 полугодие 2008 г.
Постоянным клиентам скидки до 10 %

Первая страница обложки	Полноцветная	22000 руб.
Вторая и третья страницы обложки	Полноцветная	18000 руб.
Четвертая страница обложки	Полноцветная	20000 руб.
Внутри журнала из расчета одна страница формата А4	Полноцветная	18000 руб.
	Черно-белая	16000 руб.