

ТУРБУЛЕНТНОЕ ГОРЕНИЕ СПИРТОВ

В. П. Карпов, Г. Г. Политенкова, Е. С. Северин

(Москва)

В настоящее время в качестве перспективных жидких топлив рассматриваются спирты, как воспроизводимые виды топлива, и в первую очередь метанол. Реализация крупномасштабного производства метанола намечается из угля, газа, биомассы и т. п. Метанол в двигателях внутреннего сгорания может использоваться как основное топливо и как добавка к бензину (обычно до 15%). Метанол характерен высокими антидетонационными свойствами: октановое число 106 по исследовательскому методу и 92 по моторному. Это позволяет поднять степень сжатия до 14—15 с соответствующим повышением экономичности. Теплота испарения метанола почти в 3,5 раза выше, чем у бензинов. В двигателях с искровым зажиганием это приводит к увеличению наполнения и к росту мощностных показателей (но и к необходимости усиления подогрева всасывающих трубопроводов).

Несмотря на повышенный интерес к метанолу как топливу, достоверных данных по характеристикам горения метанола крайне мало. В последнее время появились работы, посвященные ламинарному горению метанола и этанола [1, 2]. Несомненный интерес представляют турбулентные скорости выгорания спиртов в условиях, близких к реальным двигателям. Использование камеры сгорания постоянного объема с известным полем турбулентности [3] позволяет исследовать особенности процесса горения и получить значения нормальной скорости горения u_n и турбулентной скорости выгорания w спиртов.

Методика исследования турбулентного горения в камере сгорания постоянного объема с известным полем турбулентности описана (см., например, [4]). В данной серии опытов с целью сопоставления результатов, полученных в камерах сгорания постоянного объема и реального двигателя при температурах и давлениях конца хода сжатия, в качестве окислителя взята смесь $O_2 + 1,6N_2$, т. е. воздух заменен смесью с меньшей концентрацией азота. Это позволяет в условиях опытов в модельной камере сгорания при начальном атмосферном давлении и температуре 385 К получить такие же значения нормальных скоростей горения и температур продуктов, как и при горении топливно-воздушных смесей в реальных двигателях при температурах конца хода сжатия (600—640 К). Учитывать различие в давлении нет необходимости, так как у моделирующих смесей $u_n \leq 1,5 \div 1,7$ м/с, а этому диапазону соответствует барический показатель, близкий к нулю (от 0 до 0,05) [5]. Такой метод моделирования опробован в работе [6]: величины u_n топливно-окислительной смеси с уменьшенным по сравнению с воздухом количеством азота сопоставлялись с полученными в установке адиабатического сжатия при определенной степени сжатия. Получено вполне удовлетворительное совпадение.

Способ дозировки жидкого горючего в камере сгорания постоянного объема состоял в заполнении стеклянной колбочки объемом ~ 1 см³ определенным количеством топлива (колбочка взвешивалась, заполнялась горючим, запаивалась и вновь взвешивалась). Затем она помещалась в камеру сгорания, которая вакуумировалась. Колба раздавливалась специальным приспособлением, после чего камера сгорания заполнялась смесью $O_2 + 1,6N_2$, пары горючего и окислителя перемешивались вентилятором и одновременно нагревались от стенок до требуемой температуры.

На рис. 1, а представлено изменение нормальных скоростей горения смесей $CH_3OH + 1,5\alpha(O_2 + 1,6N_2)$ и $CH_4 + 2\alpha(O_2 + 1,6N_2)$ в зависимости от коэффициента избытка кислорода α при $p_0 = 100$ кПа и $T_0 = 385$ К. Максимум нормальной скорости для метана соответствует примерно стехиометрическому составу. Зависимость $u_n(\alpha)$ смесей метанола смещена в более богатые составы, и максимум находится при $\alpha \approx 0,9$.

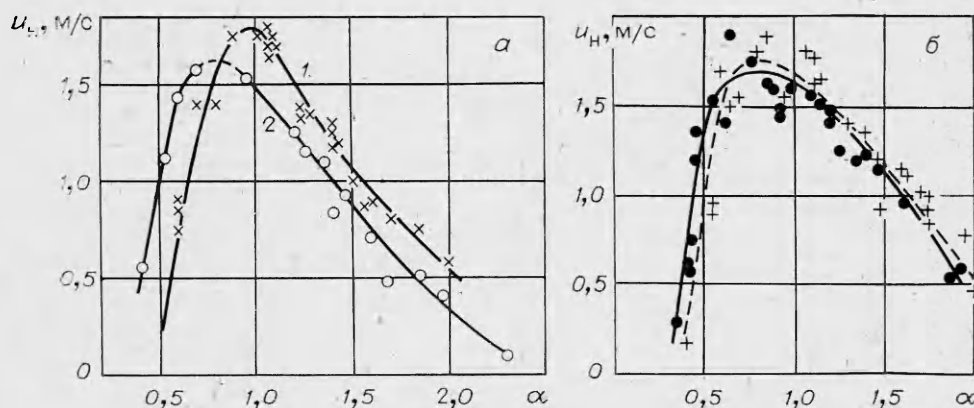


Рис. 1. Изменение нормальной скорости горения метана (X), метанола (O), этана (+) и этанола (●) в зависимости от состава смеси.

Аналогичные зависимости для этана и этанола представлены на рис. 1, б. Как видно из графика, во всем диапазоне составов в пределах экспериментального разброса точек значения нормальных скоростей горения этана и этанола совпадают.

Изменение турбулентных скоростей выгорания w в зависимости от пульсационной скорости u'_Σ смесей метанола изображено на рис. 2. Условия опытов полностью соответствуют условиям рис. 1. Линиями изображено изменение турбулентной скорости выгорания по эмпирической зависимости [7]

$$w = u_n + \frac{u'_\Sigma}{11(1 + \sqrt{\varepsilon_\tau})} \sqrt{\frac{\bar{u}_n l}{\kappa} - \frac{0,17}{\sqrt{\varepsilon_\tau}} \left(\frac{l}{\kappa} \cdot 10^{-3} \right) (u'_\Sigma)^2}$$

Здесь $\varepsilon_\tau = T_r/T_0 \cdot \eta_m$ — степень расширения; T_r — температура продуктов горения; T_0 — начальная температура свежей смеси; η_m — коэффициент изменения числа молей; l — интегральный масштаб турбулентности; κ — коэффициент температуропроводности.

Коэффициент избытка кислорода указан справа у каждой кривой рис. 2. Точки — экспериментальные значения w выгорания метанола,

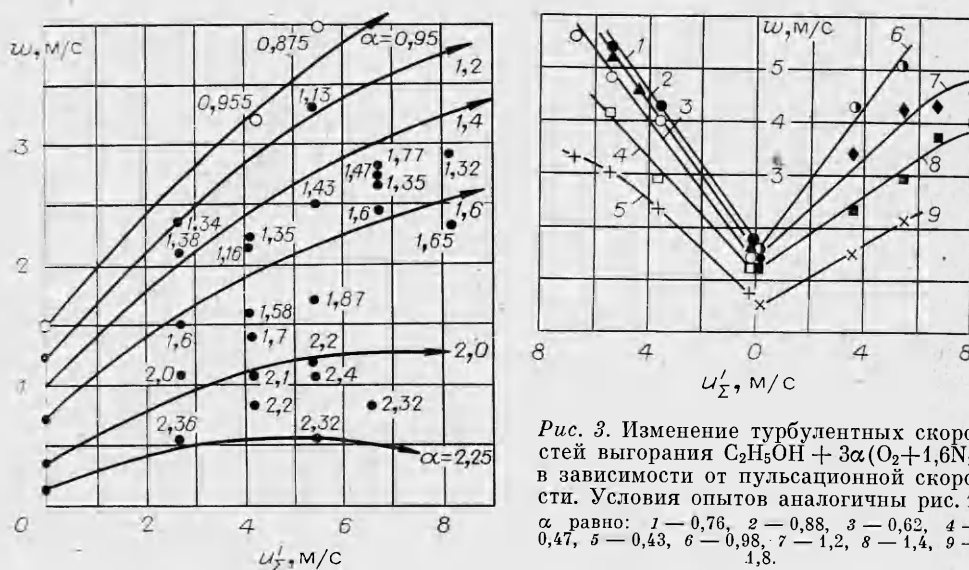


Рис. 2. Изменение турбулентных скоростей выгорания $\text{CH}_3\text{OH} + 1,5\alpha(\text{O}_2 + 1,6\text{N}_2)$ в зависимости от пульсационной скорости u'_Σ .

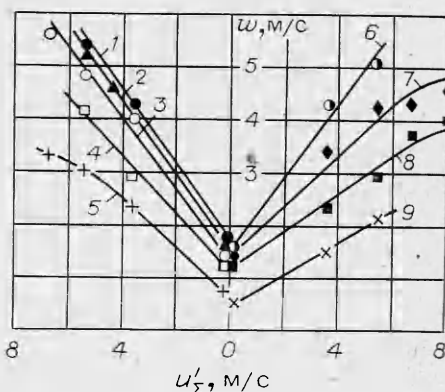


Рис. 3. Изменение турбулентных скоростей выгорания $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\alpha(\text{O}_2 + 1,6\text{N}_2)$ в зависимости от пульсационной скорости. Условия опытов аналогичны рис. 1. α равно: 1 — 0,76, 2 — 0,88, 3 — 0,62, 4 — 0,47, 5 — 0,43, 6 — 0,98, 7 — 1,2, 8 — 1,4, 9 — 1,8.

цифры — коэффициент избытка кислорода для соответствующей экспериментальной точки. Такой характер графика связан с тем, что при выбранном способе дозировки метанола трудно подобрать неизменность требуемого количества метанола. Как видно, расчетные зависимости могут удовлетворительно описывать изменение w от α и u_{Σ} .

Влияние α и u_{Σ} на турбулентную скорость выгорания смесей $C_2H_5OH + 3\alpha(O_2 + 1,6N_2)$ представлено на рис. 3. В этом случае разброс был значительно меньше, и кривые проведены через экспериментальные точки примерно неизменного состава. Правая часть рис. 3 соответствует горению бедных смесей, левая — богатых. Турбулентные скорости выгорания богатых смесей этанола выше, чем бедных, при том же значении u_{Σ} . Это явление связано с диффузионно-тепловой неустойчивостью [8].

При использовании спиртов как топлива с целью снижения концентрации окислов азота в отработанных газах можно добавлять воду. При этом объемная мощность должна возрасти. Применение спиртов в двигателях не требует каких-либо серьезных изменений в системах топливоподачи. По появившимся данным можно сделать вывод, что концентрация окислов азота в выхлопе несколько снижается, а концентрация окиси углерода и углеводородов остается примерно на том же уровне, что и при работе на бензине.

Известно, что метанол при сравнительно невысоких температурах на катализаторах, не содержащих дорогостоящих металлов, может распадаться на водород и окись углерода. Закономерности горения смесей такого рода исследованы в [9]. Очевидно, что даже при частичном распаде метанола использование смесей бедных составов может быть осуществлено вплоть до режимов холостого хода двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ö. L. Gülder. Comb. Sci. Technol., 1983, 33, 1—4, 179.
2. Ö. L. Gülder. Comb. Flame, 1984, 56, 3, 261.
3. А. С. Соколик, В. П. Карпов, Е. С. Семенов. ФГВ, 1967, 3, 1, 61.
4. В. П. Карпов, Е. С. Северин. ФГВ, 1978, 14, 2, 33.
5. В. Lewis. Selected Combustion Problems (AGARD) Butterworth Sc. Publ., 1954.
6. С. Вуйтицкий, Т. Лежански и др. Archivum Combustionis, 1982, 2, 3/4, 149.
7. В. П. Карпов. ФГВ, 1982, 18, 1, 130.
8. В. П. Карпов, Е. С. Северин. ФГВ, 1980, 16, 1, 45.
9. В. П. Карпов, Е. С. Северин. ФГВ, 1982, 18, 6, 38.

Поступила в редакцию 13/XI 1984,
после доработки — 19/XI 1985

РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕИЗОБАРИЧЕСКОЙ СТРУИ ВОДОРОДА В СПУТНОМ СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА

С. И. Барановский, А. С. Надворский, В. А. Перминов
(Москва)

Большой интерес для практики представляет изучение сверхзвукового горения газовых струй. Один из подходов к решению этой задачи состоит в применении упрощенных уравнений Навье — Стокса. Эта система позволяет рассчитывать течения типа пограничного слоя, а также волны сжатия и разрежения. Поскольку в сверхзвуковых потоках задача Коши для данной системы корректна, возможно применение маршевого метода, который широко используется для расчета сверхзвуковых инертных неизобарических струй, а также горения сверхзвуковых струй (см., например, [1, 2]). Экспериментальное исследование реагирующих струй проведено в работе [3].

Необходимо изучить влияние тепловыделения на статическое давление и процессы в слое смешения. Важно также установить, как влия-