



МАТЕРИАЛЫ IX МЕЖДУНАРОДНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ ПО НЕРАВНОВЕСНЫМ ПРОЦЕССАМ
В СОПЛАХ И СТРУЯХ



25–31 мая 2012 г.



ние, детонация

$$F_i^l(t) = \frac{x F_i(t)}{1 + \sqrt{x} + x}, \quad F_i^r(t) = \frac{x F_i(t)}{1 + \sqrt{x} + x}, \quad (4)$$

$$DRe^{1.5} (n_i^n - n_i^r) + F_i^r(t), \quad (5)$$

$$- n_i^r) + F_i^r(t),$$

$$- 2n_i^n + n_i^r) + F_i^r(t),$$

$$- n_i^n) + F_i^r(t),$$

$$\frac{n_i^n (f(n_i^n, \rho_i, T_i + T_{ad}/2)^2)}{n_i^n, \rho_i, T_i + T_{ad}/2},$$

$$DRe^{1.5} (T^n - T^r) + q^r(t), \quad (6)$$

$$DRe^{1.5} (T^n - T^r) + q^r(t),$$

$$DRe^{1.5} (T^n - 2T^r + T^s) + q^s(t),$$

$$DRe^{1.5} (T^n - T^r) + q^r(t),$$

$$- \alpha S_w (T^r - T_w) - L_i F_i^r(t),$$

$$+ P(\varphi) S_p r(\varphi) = 0, \quad (7)$$

$$+ P(\varphi) S_p r(\varphi) = 0, \quad (8)$$

дает динамику впрыска (жидкого масса жидкого топлива в КС; ξ — тройство; ρ и ρ_l — соответственно совая скорость впрыска (топлива); жидкого топлива; μ_i и μ_l — молекулярного топлива соответственно; характеризующий интенсивность переноса и D_i — коэффициенты молекулярного топлива; $D_{turb} = DRe^{1.5}$ — коэффициент Рейнольдса; $\mathbf{n} = \{n_i\}$, $n_i = c_i/\rho$ — в уравнениях (5), (6) отвечает геометрической и бедной ТВС; L_i — соответственно мгновенное значение площади камеры сгорания (КС); q —

тепловой поток в ТВС; γ и ε — отношение радиуса кривошипа к длине шатуна и геометрическая степень сжатия; α , T_w — коэффициент теплоотдачи и температура поверхности КС; R — универсальная газовая постоянная; I — приведенный момент инерции нагруженного ДВС; $P(\varphi)$, S_p и $r(\varphi)$ — соответственно мгновенное давление ТВС, площадь поршня и функция передачи поступательного усилия — во вращение (это слагаемое в уравнениях (6) соответствует одноцилиндровому ДВС); φ — угол поворота и $\Omega = d\varphi/dt$ — частота вращения коленвала; k_1 и k_2 — коэффициенты сопротивления вращению; k_B — постоянная Больцмана; $V(\varphi)$ — мгновенный объем КС.

В сочетании с кинетической схемой горения моторных топлив [2] модель (1)–(8) позволяет достаточно надежно определять энергетические характеристики рабочего цикла различных типов ДВС и содержание в отработавших газах CO, C_xH_y, NO, RCON при различных режимах работы. Однако вследствие сложной структуры ее использование в экспресс-анализе токсичности ОГ не эффективно. Проблема решается выявлением так называемых «скелетных» механизмов реагирования — минимального числа реагентов и элементарных реакций, аппроксимирующих совокупный сложный процесс надлежаше подробно [2]. В данной работе выделение «скелетного» механизма осуществлялось на фоне транспортных и газообменных процессов в условиях поршневого ДВС.

Результаты выполненной авторами работы сводятся к следующему. На основе детальной динамической модели внутрицилиндровых процессов поршневого ДВС разработана упрощенная модель реагирования (около 30 компонентов и 70 обратимых реакций), позволяющая рассчитывать интегральные и мгновенные энергетические показатели, а также токсичность ОГ по CO, C_xH_y, и NO с погрешностью 30% относительно детальной модели (около 100 компонентов и свыше 1000 реакций). Упрощенная модель приспособлена к агрегации в состав аппаратуры для экспресс-анализа ОГ.

Фактически разработка позволяет повысить эффективность определения химического состава ОГ, что позволит совершенствовать систему нормализации производственного микроклимата.

1. Беднарский В. В. Экологическая безопасность при эксплуатации и ремонте автомобилей. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2003.

2. Бакулин В. Н., Ладоса Е. Н., Потопахин В. А., Яценко О. В. Моделирование кинетики неравновесных физических процессов и реакций в многокомпонентном турбулентном заряде поршневых двигателей внутреннего сгорания // Мат. моделирование. — 2007. — Т. 19, № 12. — С. 81–97.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ КАПЕЛЬ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ В ВОЗДУХЕ*

В. Я. Басевич, С. Н. Медведев, С. М. Фролов, Ф. С. Фролов

ИХФ РАН, Москва, Россия

Водород обладает уникальными физико-химическими свойствами — низкой плотностью (0,08 кг/м³ при 300 К и 1 атм), широкими пределами горения (от 4 до 75% в воздухе), высокой скоростью ламинарного пламени (2,3 м/с при нормальных условиях) и очень низкой энергией зажигания (0,02 мДж). Эти свойства

* Работа выполнена при поддержке РФФИ.

проблемы стабилизации горения в
ных веществ. В литературе часто
мещения углеводородных мотор-
г факт, что реакционная способ-
ной способности углеводородов,

вание влияния добавок водорода
смесей тяжелых углеводородных
горючих рассматривали н-гептан
проверенный детальный кинети-
разработанный в ИХФ РАН.

задержек самовоспламенения от
смесей н-гептан-водород-воздух
рочем от 0 до 100% при давлении
вски водорода в смесь н-гептан-
увеличивают задержку само-
вспаления, а при $T_0 > 1050$ К —
уменьшают.

рис. 2 представлены расчетные
зависимости максимальной температу-
ры газовой фазы $T_{g,max}$ от времени t
в стехиометрических гибридных сме-
сях н-гептан (капли) — водород — воз-
дух с различным содержанием водорода:
1 — 0%, 2 — 7,5% и 3 — 14,75% в
газовой фазе. Рассмотрены для кап-
ли диаметром $d_0 = 60$ мкм при началь-
ной температуре $T_0 = 1000$ К и давле-
нии $P_0 = 2$ МПа. Видно, что с увели-
чением концентрации водорода в смеси
время задержки самовоспламенения увеличи-
вается. Кинетический анализ показал,
что водород, участвуя в реакциях с ал-
кильными радикалами, тормозит разви-
тие цепного механизма воспламенения.
Время задержки самовоспламенения
содержащего водород (ступенчатое измене-
ние температуры).

Для моделирования гибридных смесей с
различными зависимостями максимальной
температуры газовой фазы $T_{g,max}$ от
времени t в стехиометрической смеси
н-декан — водород — воздух с добавкой
водорода 7,5% (об.) при $T_0 = 800$ К,
видно, что добавки водорода влияют
на продолжительность промежу-
точного воспламенения капли. При относи-
тельно низком давлении (при $T_0 = 800$ К)
наблюдается переход от холодного и голубого
пламени к горячему и красному пламени.
Воспламенение происходит за счет
радикалов, участвующих в разрыве
цепей. Тем не менее, как и в случае
самовоспламенения гибридной
смеси при $T_0 > 1050$ К — уменьшается.

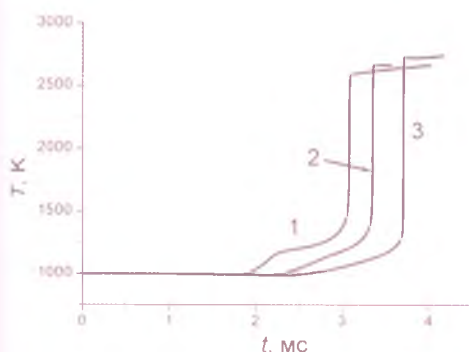


Рис. 2. Расчетные зависимости максимальной температуры газа от времени в стехиометрических смесях н-гептан (капли) — водород — воздух при разном содержании водорода: 1 — 0%, 2 — 7,5% и 3 — 14,75%; $d_0 = 60$ мкм, $P_0 = 2$ МПа, $T_{g0} = 1000$ К

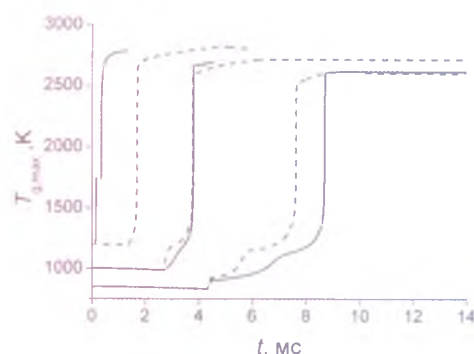


Рис. 3. Расчетные зависимости максимальной температуры газа от времени в стехиометрической смеси н-декан (капли) — водород — воздух при разных начальных температурах газа и разном содержании водорода: 7,5% H_2 (сплошные кривые) и 0% H_2 (штриховые кривые); $d_0 = 60$ мкм, $P_0 = 2$ МПа, $T_{g0} = 1000$ К

Таким образом, в работе впервые проведено численное моделирование самовоспламенения и горения гомогенных и гибридных смесей тяжелых углеводородных горючих (н-гептана и н-декана) с воздухом без добавок и с добавками водорода с применением детального кинетического механизма окисления горючего. Показано, что реакционная способность у водородсодержащих смесей не всегда выше, чем у воздушных смесей чистых углеводородных горючих. Этот факт следует иметь в виду при обсуждении перспектив использования смесевых составов с добавлением водорода.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА РАВНОВЕСНОГО СОСТАВА РЕАГИРУЮЩИХ СИСТЕМ*

Г. В. Белов

МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Для моделирования физико-химических процессов в геохимии, химической технологии, аэродинамике, теплофизике, для решения задач горения и взрыва зачастую приходится иметь дело со сложными термодинамическими объектами, в которых возможны фазовые превращения и протекание химических реакций. Если исследуемые процессы протекают при высоких давлениях, то для описания их свойств необходимо располагать уравнением состояния реального газа, которое адекватно описывает термодинамические свойства газовой фазы в широком диапазоне температур и давлений. Уравнение состояния — соотношение, связывающее любой термодинамический параметр системы с параметрами, принятыми в качестве независимых переменных. В термодинамике наиболее распространенным является так называемое термическое уравнение состояния, которое связывает давление, объем и температуру газовой фазы. Основные требования к уравнению

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-03-00499-а).