

ПРОМОТИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО  
САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ  
ВОДОРОДА И МЕТАНА НОРМАЛЬНЫМИ АЛКАНАМИВ. Я. Басевич<sup>1</sup>, С. Н. Медведев<sup>1</sup>, Ф. С. Фролов<sup>1</sup>, С. М. Фролов<sup>1,2</sup><sup>1</sup>ИХФ РАН

г. Москва, Россия

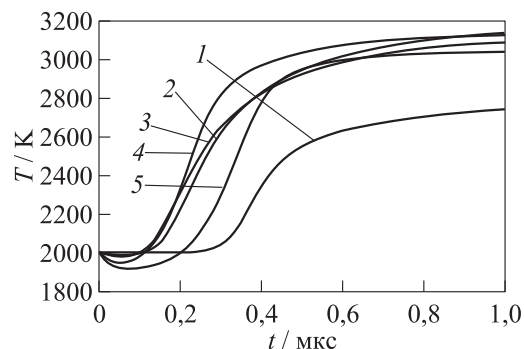
<sup>2</sup>НИЯУ МИФИ

г. Москва, Россия

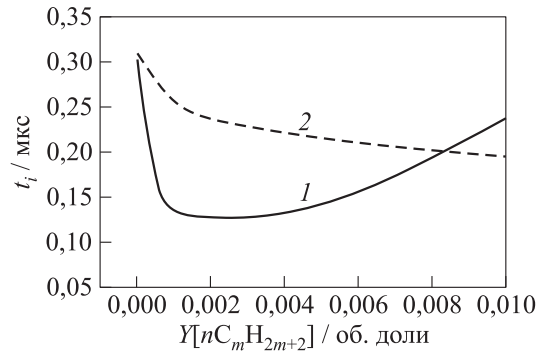
Целью работы является теоретическое исследование влияния добавок тяжелых углеводородов на самовоспламенение и горение гомогенных смесей водорода и метана в воздухе при высоких температурах. Этот вопрос недостаточно исследован. Ранее такого рода работа была проведена применительно только к водороду [1] в области средних и низких температур для гомогенных и гибридных смесей.

В работе использовали детальный кинетический механизм окисления и горения нормальных алканов [2]. Расчеты делали по 0-мерной кинетической программе, разработанной М. Г. Нейгауз в Институте химической физики им. Н. Н. Семенова РАН.

На рис. 1 представлена расчетная зависимость температуры от времени при самовоспламенении стехиометрической водородно-воздушной смеси при разных объемных долях добавляемого *n*-гептана. Как видно, малые добавки



**Рис. 1** Расчетная зависимость температуры от времени при самовоспламенении стехиометрической водородно-воздушной смеси при разных объемных долях ( $Y$ ) добавляемого *n*-гептана: 1 — 0; 2 — 0,0005; 3 — 0,001; 4 — 0,005; 5 — 0,01. Начальная температура  $T_0 = 2000$  К, давление  $P_0 = 15$  ата



**Рис. 2** Расчетные зависимости задержек самовоспламенения стехиометрической водородно-воздушной смеси от объемной доли добавляемого н-гептана (1) и н-гексадекана (2). Начальная температура  $T_0 = 2000$  К, давление  $P_0 = 15$  ата

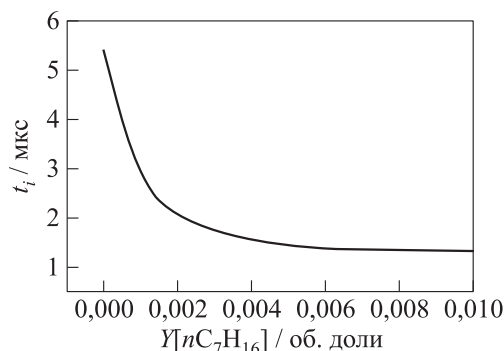
сокращают задержку самовоспламенения и в самом начале процесса снижают температуру смеси. Это происходит вследствие более легкого распада добавляемого углеводорода, в результате чего появляются атомарный водород и другие радикалы, инициирующие цепной процесс самовоспламенения.

На рис. 2 представлены расчетные зависимости задержек самовоспламенения стехиометрической водородно-воздушной смеси от объемной доли добавляемого н-гептана и н-гексадекана. При данных температуре и давлении задержки стехиометрических воздушных смесей самого н-гептана заметно больше, чем у водорода, и поэтому после  $Y > 0,003$  задержки начинают возрастать из-за обрыва реакционных цепей углеводородными радикалами и молекулами.

В случае н-гексадекана при данных температуре и давлении задержки стехиометрических воздушных смесей углеводорода лишь ненамного больше, чем у водорода. Поэтому минимум и дальнейшее увеличение задержек наблюдаются при значительно больших долях добавляемого углеводорода (вне диапазона графика).

В связи с разработками импульсно-детонационных горелочных устройств на природном газе [3] представляло интерес выяснить, как добавки тяжелых углеводородов влияют на самовоспламенение метановоздушных смесей в высокотемпературной области. Это влияние представлено на рис. 3. Видно сильное сокращение задержек самовоспламенения при весьма малых добавках н-гептана, причем в отличие от водородно-воздушной смеси здесь задержки самовоспламенения уже находятся в микросекундном диапазоне.

В заключение отметим, что исследованный диапазон микросекундных и субмикросекундных задержек самовоспламенения может иметь отношение к детонационным явлениям, особенно в местах столкновений поперечных



**Рис. 3** Расчетная зависимость задержек самовоспламенения стехиометрической метановоздушной смеси от объемной доли добавляемого н-гептана. Начальная температура  $T_0 = 2000$  К, давление  $P_0 = 15$  ата

волн в структуре многофронтной детонации. Поскольку данная работа — расчетная, разумеется, полученные результаты нуждаются в экспериментальной проверке.

Заметим, однако, что ее результаты находятся в хорошем соответствии с выводами общего аналитического исследования промотирования самовоспламенения модельных систем с неразветвленным и разветвленным механизмами процессов, изложенного в ряде работ А. А. Борисова с сотрудниками (см., например, [4]) и К. Я. Трошина [5].

Работа выполнена при частичной поддержке Российской академии наук (Программа Президиума РАН №26 «Горение и взрыв»).

## Литература

1. Frolov, S. M., S. N. Medvedev, V. Ya. Basevich, and F. S. Frolov. 2013. Self-ignition of hydrocarbon–hydrogen air mixtures. *Int. J. Hydrogen Energ.* 38:4177–4184.
2. Басевич В. Я., Беляев А. А., Посвянский В. С., Фролов С. М. Механизмы окисления и горения нормальных парафиновых углеводородов: переход от  $C_1$ – $C_2$  к  $C_{11}$ – $C_{16}$  // Хим. физика, 2013. Т. 32. № 4. С. 87.
3. Фролов С. М., Аксенов В. С., Авдеев К. А., Борисов А. А., Иванов В. С., Коваль А. С., Медведев С. Н., Сметанюк В. А., Фролов Ф. С., Шамшин И. О. Циклический переход горения в детонацию в проточной камере сгорания импульсно-детонационного горелочного устройства // Хим. физика, 2013. Т. 32. № 3. С. 39–43.
4. Borisov, A. A. G. I. Skachkov, and K. Ya. Troshin. 1997. Analytical studies of simple kinetic mechanisms for promoted self-ignition of model fuels. *Colloquium (International) on the Advanced Computation and Analysis of Combustion*. Moscow: ENAS. 79–89.
5. Трошин К. Я. Самовоспламенение и альтернативное сжигание традиционных топлив. Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М. : ИХФ РАН, 2008. 357 с.