

DETONABILITY OF FUEL–AIR MIXTURES
IN TERMS OF DEFLAGRATION-TO-DETONATION
TRANSITION

**S. M. Frolov^{1,2}, V. I. Zvegintsev³, I. O. Shamshin^{1,2},
M. V. Kazachenko^{1,4}, V. S. Aksenov¹, and I. V. Bilera⁵**

¹N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics
of the Russian Academy of Sciences
4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russia

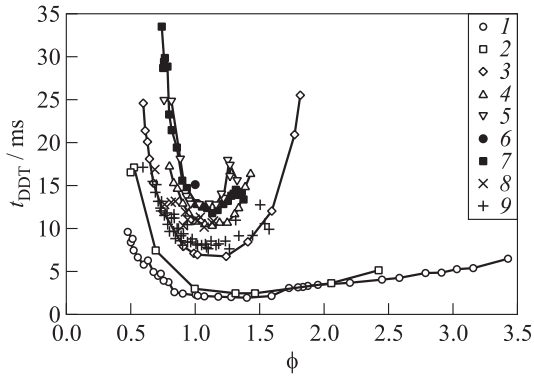
²Scientific Research Institute for System Analysis
of the Russian Academy of Sciences
36-1 Nakhimovskii Prosp., Moscow 117218, Russia

³S. A. Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
4/1 Institutskaya Str., Novosibirsk 630090, Russia

⁴N. E. Bauman Moscow State Technical University
5-1 Baumanskaya 2nd Str., Moscow 105005, Russia

⁵A. V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis
of the Russian Academy of Sciences
29 Leninsky Prosp., Moscow 119991, Russia

A new experimental method for evaluating the detonability of fuel–air mixtures (FAMs) based on measuring the deflagration-to-detonation (DDT) run-up distance and/or time in a standard pulse detonation tube is used to rank gaseous premixed and nonpremixed FAMs by their detonability under substantially identical thermodynamic and gasdynamic conditions. In the experiments, FAMs based on hydrogen, acetylene, ethylene, propylene, propane-butane, *n*-pentane, and natural gas of various compositions, as well as FAMs based on the gaseous pyrolysis products of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) are used: from extremely fuel-lean to extremely fuel-rich at normal temperatures and pressures. The concept of “equivalent” FAMs exhibiting the same or similar detonability under the same conditions



Dependences of the measured DDT run-up time on the fuel-to-air equivalence ratio φ in FAMs of various combustible gases: 1 — H₂; 2 — C₂H₂; 3 — C₂H₄; 4 — C₃H₆; 5 — C₃H₈ + C₄H₁₀; 6 — CH₄; 7 — C₅H₁₂; 8 — PP; and 9 — PE

is proposed. “Equivalent” FAMs can be used for predictive physical modeling of detonation processes involving FAMs of other fuels.

The data obtained are used for a comparative assessment of the detonability of different FAMs, using the DDT run-up time t_{DDT} as a detonability measure (see figure). All the FAMs considered are ranked in the descending order of detonability: H₂ > C₂H₂ > C₂H₄ > PE > PP > C₃H₆ > *n*-C₅H₁₂ > C₃H₈ + C₄H₁₀ > CH₄. The resulting ranking differs from that for direct detonation initiation, which is explained by the manifestation of two new factors: the difference in the burning rates of fuels (e. g., H₂ and C₂H₂) and the influence of the low-temperature oxidation kinetics (e. g., *n*-C₅H₁₂ and propane-butane).

The ranking of FAMs in terms of their relative detonability allows choosing an ethylene FAM and a propylene FAM for physical modeling of the operation process in the PE- and PP-fueled solid-fuel ramjets operating on detonative combustion.

Acknowledgments

This work was supported by the subsidy given to the N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian

Academy of Sciences to implement the state assignment on the topic No. 0082-2016-0011 (Registration No. AAAA-A17-117040610346-5) and partly funded by RFBR, project No. 18-08-00076a.

ДЕТОНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ

**С. М. Фролов^{1,2}, В. И. Звезгинцев³, И. О. Шамшин^{1,2},
М. В. Казаченко⁴, В. С. Аксёнов¹, И. В. Билера⁵**

¹Федеральный исследовательский центр химической физики
им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук
Россия, Москва 119991, ул. Косыгина, д. 4
e-mail: smfrol@chph.ras.ru

²Научно-исследовательский институт системных исследований
Российской академии наук
Россия, Москва 117218, Нахимовский просп., д. 36-1

³Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, Новосибирск 630090, Институтская ул., д. 4/1

⁴Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)
Россия, Москва 105005, 2-я Бауманская ул., д. 5-1

⁵Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева
Российской академии наук
Россия, Москва 119991, Ленинский просп., д. 29

Предложен новый экспериментальный метод оценки детонационной способности топливно-воздушных смесей (ТВС), основанный на измерении преддетонационного расстояния и времени при переходе горения в детонацию (ПГД) в стандартной импульсно-детонационной трубе. Метод использован для ранжирования газообразных предварительно подготовленных и неподготовлен-

ных ТВС по их детонационной способности при ПГД в одинаковых термодинамических и газодинамических условиях. В экспериментах использовались ТВС на основе водорода, ацетилена, этилена, пропилена, пропан-бутана, *n*-пентана и природного газа различных составов, а также ТВС на основе газообразных продуктов пиролиза полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП): от составов, максимально обедненных горючим, до составов, максимально обогащенных горючим при нормальных температурах и давлениях. Предложена концепция «эквивалентных» ТВС, проявляющих одинаковую или близкую детонационную способность при одинаковых условиях. «Эквивалентные» ТВС могут применяться для физического моделирования процессов детонации с участием ТВС других топлив.

Полученные данные используются для сравнительной оценки детонационной способности различных ТВС по времени ДДТ t_{DDT} , измеренному в одинаковых условиях. Все изученные в работе ТВС ранжированы в порядке убывания детонационной способности следующим образом: $H_2 > C_2H_2 > C_2H_4 > ПЭ > > ПП > C_3H_6 > n-C_5H_{12} > C_3H_8 + C_4H_{10} > CH_4$. Полученное ранжирование отличается от такового при прямом инициировании детонации, что объясняется проявлением двух новых факторов: различием скоростей горения топлив (например, H_2 и C_2H_2) и влиянием кинетики низкотемпературного окисления (например, $n-C_5H_{12}$ и пропан-бутан).

Ранжирование ТВС по относительной детонационной способности позволяет выбрать этиленовые и пропиленовые ТВС для физического моделирования рабочего процесса в детонационных ракетно-прямоточных двигателях на твердом топливе с полиэтиленовым и полипропиленовым топливом соответственно.

Работа выполнена за счет субсидии, выделенной ФИЦ ХФ РАН на выполнение государственного задания по теме 0082-2016-0011 (номер государственной регистрации АААА-А17-117040610346-5) и частично при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-00076а.