

## **Инициирование газовой детонации в трубах с крутыми U-образными поворотами предельной кривизны**

Фролов С.М., Аксенов В.С., Шамшин И.О.

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

smfrol@chph.ras.ru

Экспериментальные и расчетные исследования инициирования и распространения газовой и гетерогенной детонации до сих пор проводились в прямых трубах или в трубах с малой кривизной поворотов. Однако недавно выяснилось [1, 2], что крутые повороты и витки труб – элементы, которые способствуют переходу горения в детонацию (ПГД). В связи с возрождением интереса к импульсным детонационным двигателям для летательных аппаратов высказываются идеи о возможности использования компактных компоновок детонационных труб с одним или несколькими U-образными поворотами. С одной стороны, использование таких компоновок позволяет увеличить длину трубы и обеспечить ПГД. С другой стороны, U-образные повороты увеличивают гидравлическое сопротивление и осложняют циклическое заполнение трубы свежей смесью. Следовательно, для применения таких компоновок необходимо искать компромиссное решение. В практических приложениях целесообразно обеспечить ПГД на кратчайших расстояниях. Известно, что длина ПГД сокращается с уменьшением диаметра детонационной трубы. Однако существует минимальный (предельный) диаметр, в котором еще возможно распространение детонации. Цель работы – экспериментальное и расчетное исследование распространения ударных и детонационных волн в трубах околопредельного диаметра с двумя U-образными поворотами.

Эксперименты проводили со стехиометрической пропано-воздушной смесью при нормальных начальных условиях. Использовали трубы диаметром 50 и 40 мм с двумя U-образными поворотами предельной кривизны, обеспечивающими наиболее компактную компоновку трубы. Длина каждого из трех прямых участков трубы была равна 1 м. В опытах использовали два типа генераторов первичной ударной волны (УВ): (1) пороховой газогенератор или (2) мощный электрический разряд. Использование двух генераторов позволяло варьировать длину фазы сжатия в первичной УВ. Эксперименты показали, что при скорости УВ выше 800 м/с в трубе за первым U-образным поворотом возникала детонационная волна, которая либо полностью разрушалась за вторым U-образным поворотом (в трубе диаметром 40 мм), либо проходила через второй U-образный поворот (в трубе диаметром 50 мм) после стадии ослабления и восстановления. В трубе диаметром 40 мм наблюдали затухание детонационных волн в первом U-образном повороте и восстановление детонации во втором повороте.

Для понимания изучаемых явлений провели двумерные газодинамические расчеты распространения ударных и детонационных волн в пропано-воздушной смеси при нормальных начальных условиях. В расчетах использовали одностадийные и многостадийные кинетические механизмы окисления пропана. Рассматривали течения в плоских каналах высотой 40 и 50 мм с двумя U-образными поворотами предельной кривизны. Расчеты подтвердили все основные закономерности наблюдаемых явлений и прояснили их механизмы. Кроме того, расчеты позволили выяснить влияние длительности фазы сжатия в первичной УВ на эволюцию волн разной интенсивности – эффект, который не был зарегистрирован экспериментально.

Работа выполнена при поддержке Международным научно-техническим центром (проект 2740).

### **Список литературы**

- [1] Фролов С. М., Аксенов В. С., Басевич В. Я. Сокращение предетонационного участка в капельной взрывчатой смеси комбинированными средствами. ДАН, 2005, т. 401, №2, с. 201-204.
- [2] Frolov S., Aksenov V., Shamshin I. Shock-to-detonation transition in tubes with U-bends. In: Pulsed and Continuous Detonations, G. Roy, S. Frolov, J. Sinibaldi, Eds., Moscow, Torus Press, 2006, pp. 146-158.