

Распространение ударных и детонационных волн в U-образных поворотах труб.

Фролов С.М., Аксенов В.С., Шамшин И.О.
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва
smfrol@chph.ras.ru

Одна из проблем на пути создания импульсных детонационных двигателей (ИДД) заключается, с одной стороны, в необходимости использования длинных труб для обеспечения перехода горения в детонацию в топливно-воздушных смесях (ТВС), а с другой стороны, – в необходимости обеспечения приемлемых габаритов двигателя. Для решения этой проблемы рассматривают возможность использования труб с U-образными поворотами. Систематические данные по распространению ударных и детонационных волн в ТВС в таких трубах в литературе отсутствуют. Известно, что в поворотах труб возникают сложные течения с вторичными ударными волнами и волнами разрежения, взаимодействие которых друг с другом и с криволинейными поверхностями может способствовать инициированию детонации в ТВС. Кроме того, локальное расширение газа может приводить к распаду сформированной детонационной волны. Поведение ударных и детонационных волн в поворотах труб определяется разными факторами, среди которых выделим диаметр трубы, кривизну U-образного поворота, длину участков трубы до и после поворота, чувствительность ТВС и т. д. Цель данной работы – экспериментальное и расчетное исследование закономерностей распространения ударных и детонационных волн в трубах с U-образными поворотами.

Эксперименты проводили в круглой трубе диаметром 51 мм с U-образным поворотом длиной 240 мм (вдоль оси) и радиусом кривизны 51 мм. Участки трубы до и после поворота имели длину 1200 мм. Ударную или детонационную волну инициировали с помощью оригинального порохового генератора ударных волн, который устанавливали на одном из концов трубы. В качестве ТВС использовали стехиометрическую пропановоздушную смесь. Начальные температура и давление смеси – нормальные. Система измерений включала 8 пьезоэлектрических датчиков давления, аналого-цифровой преобразователь и персональный компьютер. В результате экспериментов показано, что существует минимальная интенсивность ударной волны (в условиях опытов – приблизительно 1000 м/с), при которой на выходе из U-образного поворота трубы образуется детонационная волна. При входе сформированной детонационной волны в U-образный поворот скорость ее распространения (вдоль оси трубы) может снижаться на 200-300 м/с, однако на выходе из поворота детонация восстанавливается.

Для понимания сопутствующих процессов проведены параметрические расчетные исследования для плоских каналов с U-образными поворотами разной кривизны и присоединенными прямыми участками разной длины. В основу математической модели положены двумерные уравнения Эйлера с многостадийным кинетическим механизмом окисления пропана. В расчетах получены режимы течений аналогичные тем, которые зарегистрированы экспериментально. Кроме того, получены течения с распадом сформированной детонационной волны. Показано, что распад волны наступает в условиях, близких к пределу распространения детонации. В условиях вдали от пределов детонационная волна восстанавливается на расстояниях около 8-10 калибров трубы после выхода из U-образного поворота.

Результаты проведенных исследований позволяют разработать рекомендации для оптимальной компоновки детонационных труб, обеспечивающей минимальные преддетонационные расстояния и минимальные габариты ИДД.

Работа выполнена при частичной поддержке Американским фондом гражданских исследований и развития в рамках программы «Фундаментальные исследования и высшее образование».