

ПЕРЕХОД ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ В БЕНЗИНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ

Н. Н. Смирнов, А. П. Бойченко
(Москва)

В работе исследуется переход горения в детонацию в трубах, заполненных бензино-воздушной смесью, при зажигании электрической искрой. Интерес к детонационному сжиганию таких составов вызван их применением в термогазодетонационных установках импульсного действия для разработки горных пород [1, 2] и при создании детонационных камер сгорания [3].

Как правило, детонации горючих газовых смесей в трубах при зажигании их электрической искрой предшествует период ускоренного распространения пламени [4]. Исследования процессов бурения с помощью термогазодетонационных установок показали, что эффективность бурения возрастает при уменьшении преддетонационного участка, что, в частности, достигалось введением дополнительной камеры-турбулизатора.

Цель данной работы состоит в определении времени и места возникновения детонации и исследовании зависимости этих параметров от начальной температуры смеси.

Эксперименты проводили на стендовой установке, оборудованной датчиками и регистрирующими устройствами для определения расхода, температуры, давления и состава смеси, подаваемой в генератор детонационных волн, частоты вращения коленчатого вала, скорости распространения возмущения в трубе, величины и формы импульса давления, возникающего при ударе о преграду вышедшей из трубы детонационной волны. Стенд состоит из V-образного карбюраторного двигателя, шланга подачи смеси, генератора детонационных волн с камерой воспламенения и камерой-турбулизатором. Для получения смеси бензина с воздухом у одного блока цилиндра отключаются провода высокого напряжения от свечей зажигания, и эти цилиндры при вращении коленчатого вала работают в режиме компрессора. Состав воспламеняли свечой типа А11У с двумя электродами. Длина разгонной трубы генератора детонационных волн составляла 3,42 м, диаметр — 0,022 м. Труба оборудована пьезоэлектрическими датчиками типа ЛХ-608 с принудительным охлаждением. Скорость распространения возмущения по трубе определяли базовым методом с длиной базы 0,35 м одновременно на пяти датчиках с помощью катодного осциллографа типа С1-33. Достоверность результатов оценивали в соответствии с методикой, изложенной в работе [5]. Она составила 0,9 при допустимом отклонении 8%. При частоте работы прибора воспламенения 6—8 Гц реализовался устойчивый периодический режим работы генератора детонационных волн: к моменту

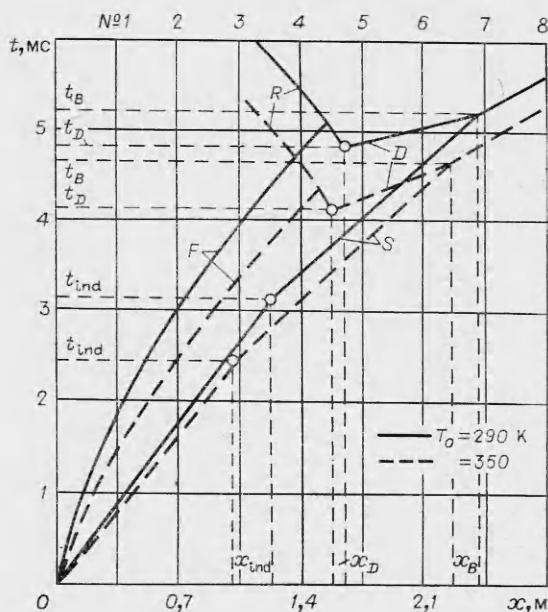


Рис. 1. Волновая картина течения в трубе при переходе нормально-го горения в детонацию.

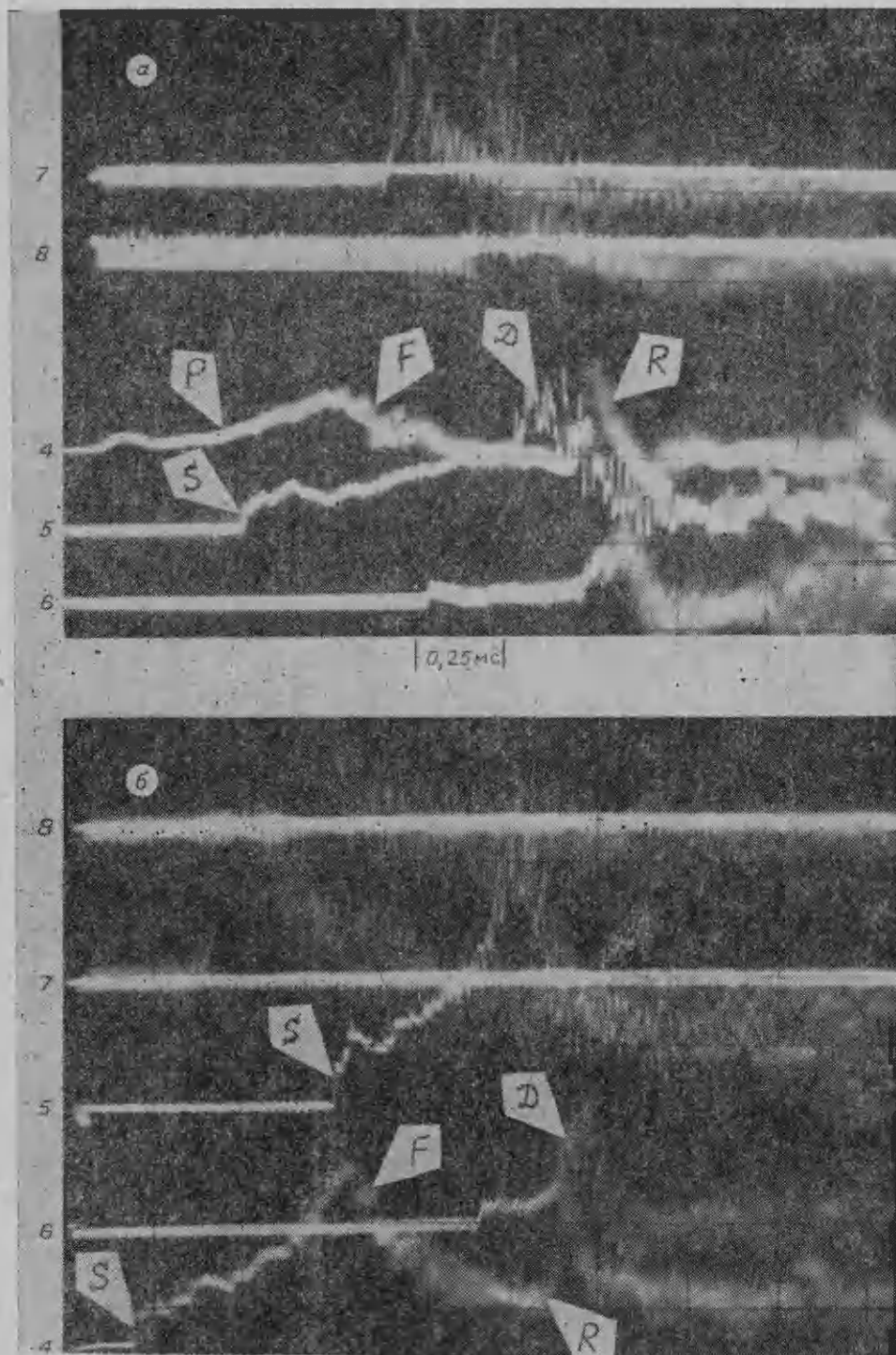


Рис. 2. Осциллограммы сигналов с датчиков давления, расположенных по длине трубы, при переходе горения в детонацию.

Т, К: а) 288—293, б) 348—353.

последующего инициирования камера и разгонная труба успевали заполниться свежей смесью. Коэффициент избытка воздуха составлял 1,05 при частоте вращения коленчатого вала 1750 об/мин.

На рис. 1 представлена волновая картина течения при переходе горения в детонацию бензино-воздушной смеси при давлении атмосферного

воздуха 0,1 МПа и относительной влажности 70%. Картина течения получена на основании обработки осциллограммы с датчиков 4—8 (рис. 2). Синхронизацию проводили отдельно для двух групп датчиков (4—6 и 7, 8) без масштаба амплитуды сигнала.

Обработка осциллограмм показывает, что после поджигания составов пламя в разгонной трубе начинает двигаться от камеры-турбулизатора с возрастающей скоростью. Несгоревшая смесь отесняется в результате расширения сгоревшего газа. При этом температура и давление в несгоревшем газе увеличиваются, вследствие чего скорость фронта пламени возрастает, что, в свою очередь, приводит к дальнейшему росту давления и температуры несгоревшего газа перед фронтом пламени. Таким образом, фронту пламени, который на осциллограммах проявляется как скачок разрежения, предшествует непрерывная волна сжатия. Спустя некоторое время t_{ind} после начала движения пламени (это время определяется его ускорением и характеризует начало градиентной катастрофы) перед фронтом пламени F возникает поджигающая ударная волна S , которая ускоряется в результате взаимодействия с непрерывной волной сжатия (см. рис. 1). Когда поджигающая УВ достигает достаточной интенсивности ($t = t_D$), в сжатой и несгоревшей смеси на интервале между фронтом пламени и поджигающей УВ возникает детонация. При этом скорость последней составляет ~ 800 м/с. Детонационная волна D , распространяясь по потоку, догоняет поджигающую УВ и взаимодействует с ней ($t = t_B$), после чего, замедляясь, выходит на самоподдерживающийся режим со скоростью ~ 1700 м/с. Распространяясь в противоположную от места возникновения детонации сторону, ДВ образует волну ретонации R , которая при взаимодействии с фронтом пламени F гасит его и в области сгоревшего газа вырождается в УВ.

Из рис. 2 видно, что четвертый датчик регистрирует фронт горения, которому предшествует в случае холодной смеси непрерывная волна сжатия P , а в случае горячей смеси — поджигающая УВ, которая усиливается следующими за ней волнами сжатия. Детонация возникает на интервале между датчиками 4 и 5, при этом датчик 5 регистрирует прохождение поджигающей УВ, за которой проходит волна детонации. Возникновение ДВ сопровождается появлением ретонационной волны, отмеченной характерным всплеском на четвертом датчике. Датчиком 5 зарегистрировано прохождение фронта поджигающей УВ и догоняющей ее волны детонации. Взаимодействие лидирующей УВ с ДВ происходит на интервале между датчиками 6 и 7. При этом образуется сильная ДВ, прохождение которой отмечено датчиками 7, 8, а образовавшаяся в результате этого взаимодействия центрированная волна разрежения обуславливает появление более сильного падения давления за детонационной волной, регистрируемой датчиком 6.

Эксперименты показали, что при подогреве бензино-воздушной смеси поджигающая УВ в трубе возникает раньше (x_{ind} и t_{ind} уменьшаются). Времена возникновения детонации t_D и взаимодействия ДВ с поджигающей t_B также уменьшаются. При этом происходит незначительное снижение преддетонационных расстояний x_D и x_B . Таким образом, для рассмотренных смесей, в отличие от легких углеводородов (метан и др., по данным [4]), преддетонационное расстояние с ростом их начальной температуры не увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Бойченко, Н. И. Смирнов. Сб. докл. по проблемам динамики взаимодействия деформируемых сред. Ереван, 1984.
2. Д. П. Лобанов и др. ФГВ, 1976, 12, 3, 446.
3. Д. И. Бакланов, Д. Г. Жимерии и др. ФГВ, 1976, 12, 1, 47.
4. Я. Б. Зельдович, А. С. Компанец. Теория детонации. М.: Гостехиздат, 1955.
5. Х. Шенк. Теория инженерного эксперимента. М.: Мир, 1972.

Поступила в редакцию 19/ХІІ 1984,
после доработки — 13/ІІІ 1985