

УДК 539.3

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ГОРЕНИЯ ВОДОРОДА

© 2011 г.

А.В. Красильников, Г.А. Макаревич, А.В. Михайлов

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, г. Королев

krartur@mail.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты экспериментального исследования сверхзвукового горения водорода. Проведены расчетно-теоретические исследования по созданию малогабаритного стенда для экспериментального исследования сверхзвукового горения углеводородных топлив. Приведены результаты экспериментов на этом стенде по отладке технологических процессов: подачи подогретого воздуха, горючего и их синхронизации, измерений импульсных давлений в форкамере и камере сгорания с использованием высокочастотных пьезодатчиков.

**Ключевые слова:** стенд для экспериментальных исследований горения углеводородных топлив, сверхзвуковое горение водорода, подогрев воздуха, высокочастотные датчики давления, самовоспламенение, камера сгорания, мембрана, электролизер, разрядное устройство.

Схема стенда для экспериментального исследования сверхзвукового горения углеводородных топлив приведена на рис. 1.

заполняется смесью воздуха и кислородо-водородной смеси (КВС), служащей для подогрева воздуха в результате сгорания. Узел выхлопа за-

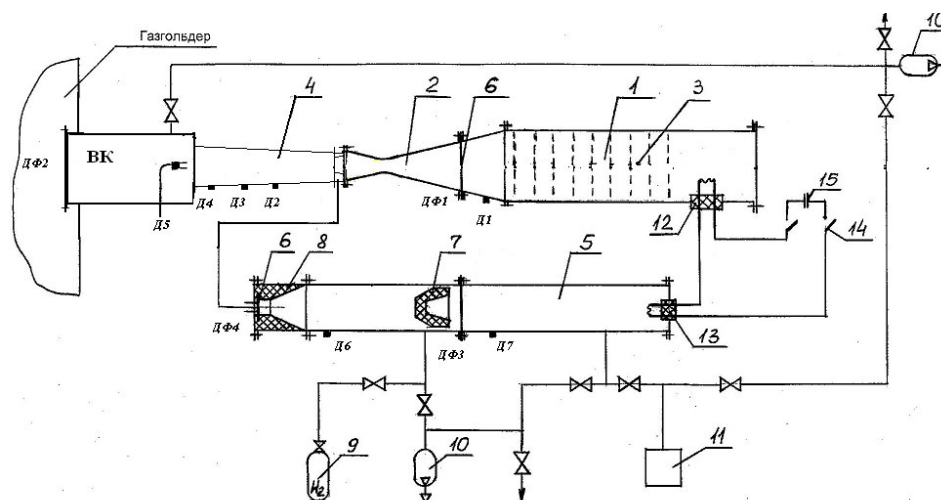


Рис. 1

Установка состоит из цилиндрической форкамеры 1 длиной 1.5 м и калибра 100 мм, соплового узла 2 на число Маха  $M = 2.75$ , хонейкомба (выравнивателя) 3, цилиндрической камеры сгорания 4 длиной 0.6 м и калибром 32 мм, вакуумной камеры, в качестве которой использовался двухметровый отсек калибра 80 мм или метровый отсек с квадратным поперечным сечением 0.25×25 м, генератора впрыска топлива 5. Форкамера отделена диафрагмой 6 от соплового узла и

рыт также диафрагмой, что позволяет вакуумировать камеру сгорания до начала проведения эксперимента. Для импульсного ввода водорода в камеру сгорания используется поршневая система, в которой водород сжимался поршнем 7, ускоренным продуктами взрыва кислородо-водородной смеси. На схеме также обозначено: 8 – уловитель, 9 – баллон с водородом, 10 – емкость с КВС, 11 – электролизер, 12, 13 – разрядное устройство, 14 – ключ, 15 – конденсатор, ВК – ваку-

умная камера. Такая схема обеспечивает возможность регулирования расхода водорода в широком диапазоне и необходимую синхронизацию впрыска водорода с заданной фазой работы стенда.

На рис. 2 приведены результаты эксперимента при впрыске водорода от поршневого генератора при  $p_0 = 1$  атм и  $0.5$  КВС +  $0.5$  воздуха в форкамере. На рисунке видно, что через  $\sim 8$  мс после поджига смеси рабочего газа в форкамере (см. показания датчика Д1) в камере сгорания устанавливается сверхзвуковое течение (датчики Д2, Д3 и Д4 показывают «полки» давления в тече-

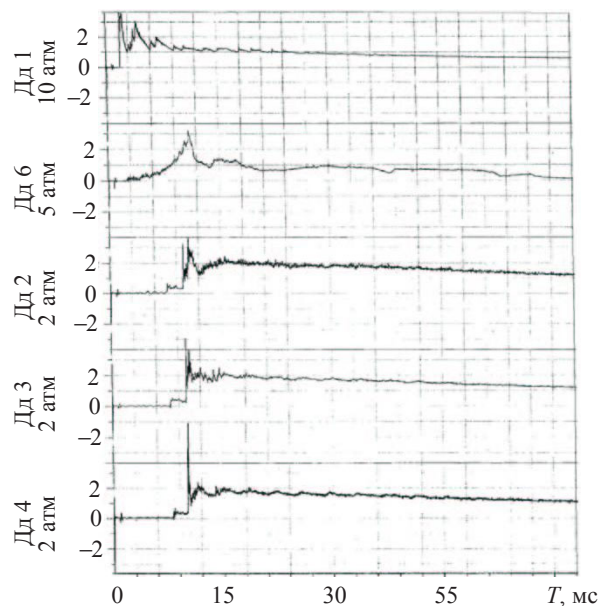


Рис. 2

нии  $\sim 3$  мс), затем после подачи водорода в камеру сгорания (фиксируется датчиком Д6) в камере сгорания начинается продолжительное горение водорода, что сопровождается резким повышением давления (см. показания датчиков Д2, Д3, Д4).

Впрыск водорода здесь осуществлялся в начальную фазу поступления потока воздуха в камеру сгорания, отличающуюся более высокими тепловыми параметрами. Это обеспечивает надежное и регулярное самовоспламенение и длительное горение водорода. Давление в зоне горения в несколько раз превышает давление в потоке. Плавность сигналов с датчиков указывает на превышение концентрации водорода над стехиометрическим значением.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №09-08-13629).*

#### Список литературы

1. Фролов С.М. Реактивный двигатель на детонационном сжигании топлива // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: X Междунар. научно-практич. конф. Владимир, 27–29 июня 2005 г.
2. Красильников А.В., Макаревич Г.А., Михайлов А.В. Стенд для экспериментального исследования сверхзвукового горения углеводородных топлив // Космонавтика и ракетостроение. 2008. 1(50).
3. Krasilnikov A.V., Makarevich G.A., Mihailov A.V. Experimental research of hydrogen combustion in a supersonic heated air flow // Int. Conf. on the Method of Aerophysical Research. Novosibirsk, June 30–July 6, 2008.

## THE EXPERIMENTAL STUDY OF SUPERSONIC COMBUSTION OF HYDROGEN

*A.V. Krasilnikov, G.A. Makarevich, A.V. Mihailov*

The results on experimental investigation of supersonic hydrogen combustion are presented. The calculation - theoretical studies for developing a small-sized facility for experimental investigation of hydrocarbon fuels supersonic combustion. The results of experiments using this facility on debugging process: submission of heated air, fuel and timing measurements of pulse pressure in the prechamber and combustion chambers by using high-frequency piezoelectric transducers.

*Keywords:* facility for experimental studies of hydrocarbon fuels combustion, supersonic hydrogen combustion, heated air, high pressure sensors, self-ignition, combustion chamber, membrane, electrolyser, discharge device.