

## АНАЛИЗ СТЕНДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ

А. В. Сидоренко

Sidorenko-nastua4142@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** В статье представлен анализ существующих стендов по горению газа с указанием их достоинств и недостатков. На основе анализа разработан стенд, позволяющий исследовать горение газа, построить математическую модель данного процесса и дать оценку возможности трехмерных расчетов.

**Ключевые слова:** стенд; анализ; горение газа; экспериментальное исследование горения; изучение горения газа; газозвудушная смесь; экспериментальная установка.

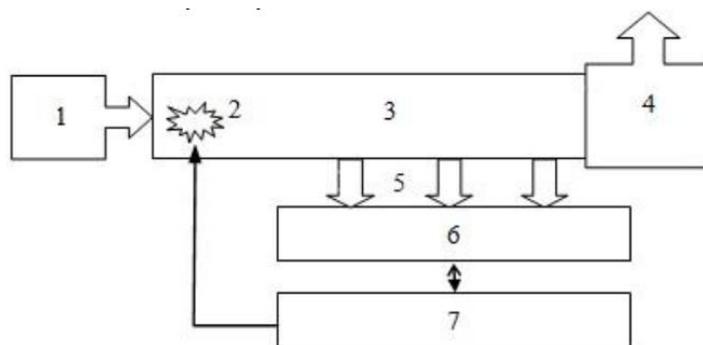
### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время среди тепловых двигателей набирают популярность двигатели на природном газе. Однако для дальнейшего их совершенствования необходимо не только изучить процессы горения, но и подготовить математическую модель этих процессов. Поэтому в данной работе поставлена следующая цель: спроектировать стенд для экспериментального исследования горения газа на основе анализа существующих стендов по горению.

### АНАЛИЗ СТЕНДОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ГАЗА

В процессе изучения различных научных работ, посвященных горению газа, были найдены следующие стенды:

1. Для проведения экспериментальных исследований процесса горения метано-воздушной смеси была предложена схема лабораторного стенда, изображенная на рис. 1 [1].



**Рис. 1.** Схема лабораторного стенда для исследования горения метано-воздушной смеси:

1 – баллон с газом; 2 – система воспламенения; 3 – труба с газо-воздушной смесью; 4 – вытяжная вентиляция; 5 – датчики; 6 – регистратор; 7 – система синхронизации

Достоинства:

1) Простота схемы обеспечивает надежность работы экспериментальной установки.

Недостатки:

1) При подаче воздуха из баллона не всегда возможно обеспечить стабильное давление;

2) Нет подогрева воздуха на камеру сгорания, что исключает отработку режимов работы камеры в составе ГТД (температура воздуха за компрессором и перед камерой сгорания (КС) не менее 250 °С);

3) Данная система подачи газа не исключает попадания в камеру сгорания конденсата из баллонов, что может исказить результаты экспериментов;

4) При данной схеме стенда сложно обеспечить точное соотношение газа и воздуха на входе в зону горения.

2. Стенд для экспериментального исследования сверхзвукового горения углеводородных топлив (рис. 2) [2].

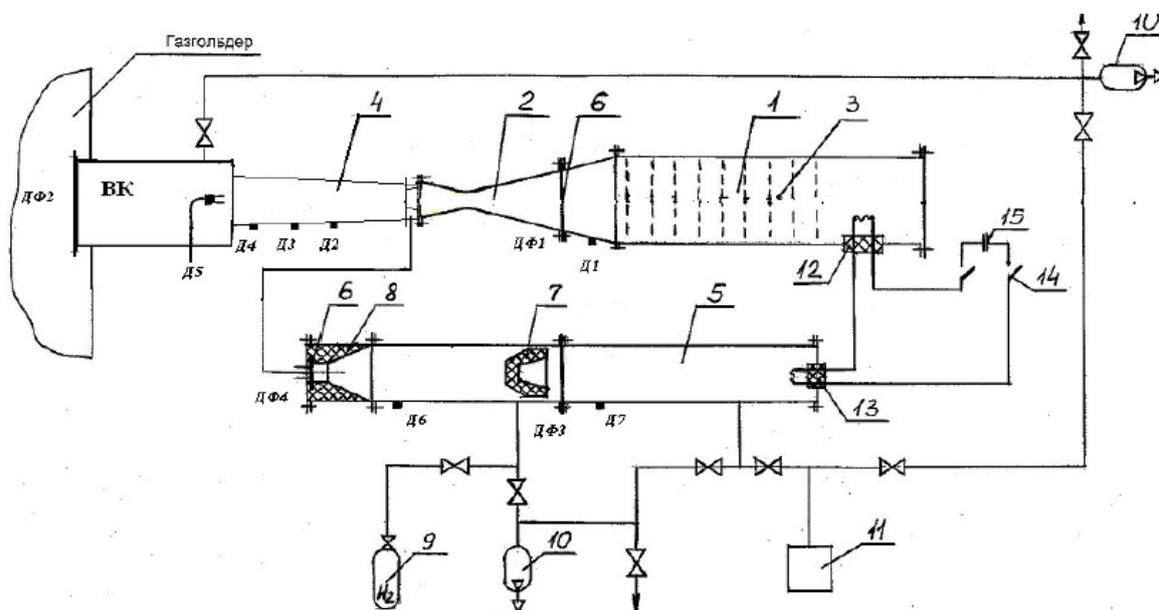


Рис. 2. Схема лабораторного:

1 – цилиндрическая форкамера; 2 – сопловой узел; 3 – хонейкомб (выравниватель); 4 – цилиндрическая камера сгорания; 5 – генератор впрыска топлива; 6 – диафрагма; 7 – поршень; 8 – уловитель; 9 – баллон с водородом; 10 – емкость с КВС; 11 – электролизер; 12, 13 – разрядное устройство; 14 – ключ; 15 – конденсатор; BK – вакуумная камера

#### Достоинства:

1) Обеспечивает возможность регулирования расхода водорода в широком диапазоне и необходимую синхронизацию впрыска водорода с заданной фазой работы стенда;

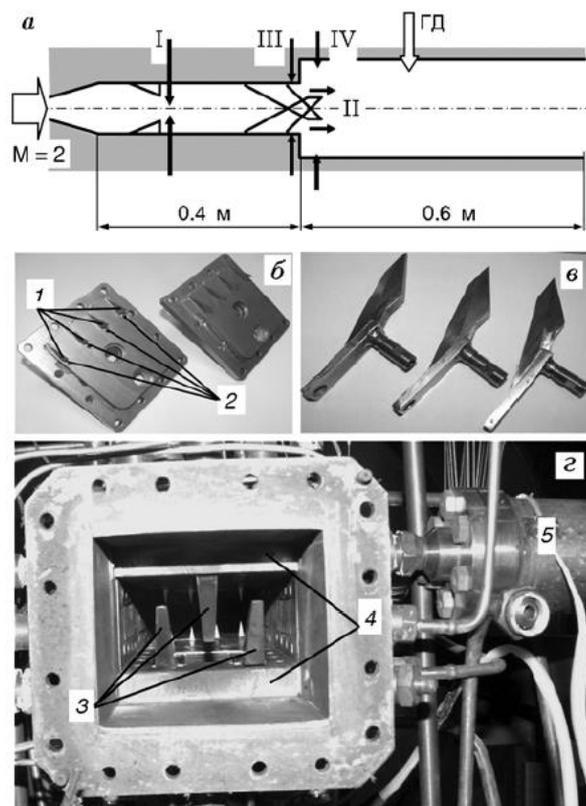
2) Использование поршневой системой подачи с помощью взрыва КВС упрощает и удешевляет схему стенда, а так же повышает ее надежность.

#### Недостатки:

1) Данный стенд может работать только в импульсном режиме, что исключает возможность изучения установившихся процессов;

2) Использование диафрагм требует постоянной их замены.

3. Стенд для экспериментального исследования рабочего процесса в модельной прямоугольной камере сгорания прямоугольного сечения (рис. 3) [3].



**Рис. 3.** Схема модельной камеры сгорания (а) и фотографии КС и топливоподающих пилонов (б–г):  
 а – ГД – воздушный газодинамический дроссель, темные стрелки и римские цифры – пояса подачи топлива;  
 б – узлы I пояса подачи; 1 – пилоны; 2 – форсунки; в – пилоны II пояса подачи; г – вид сзади на первый участок камеры: 3 – пилоны-стабилизаторы II пояса подачи; 4 – донные уступы-стабилизаторы;  
 5 – огневой воспламенитель

#### Достоинства:

- 1) Автоматизированное управление стендом обеспечивает длительность подачи топлива в камеру сгорания до  $\approx 20$  с и ступенчатое изменение расхода (до трех режимов в одном пуске);
- 2) Регулирование в широком диапазоне параметров газа и воздуха на входе в КС;
- 3) Возможность замены газовых форсунок;
- 4) Возможность размещения газовых форсунок на разном расстоянии от входа в КС.

#### Недостатки

- 1) Неоднородное горение;
- 2) В реальных авиационных двигателях камеры сгорания никогда не имеют прямоугольную форму сечения.

Так же в ходе исследования были обнаружены две научные работы, в которых представлены стенды для изучения горения газа, однако их задачи значительно отличаются от задач разрабатываемого стенда:

1. Стенд для экспериментального исследования сгорания водородно-синтез-газовой/метановой топливной смеси в пористой горелке (рис. 4) [4]. Данное устройство позволяет исследовать специфическое горение, происходящее в пористой среде, например, горение углеводородных полезных ископаемых в пласту.

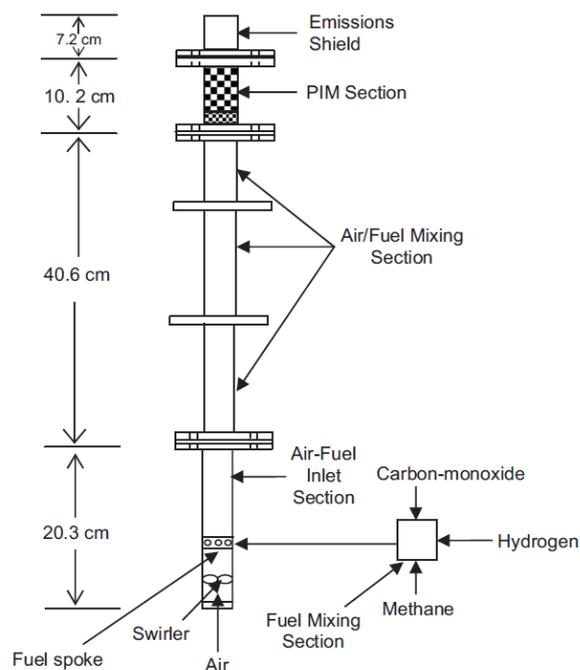


Рис. 4.

2. Для экспериментального исследования влияния дополнительного источника турбулентности в проточной камере сгорания на режим горения богатых метанокислородных смесей был разработан стенд, схема которого представлена на рис. 5 [5].

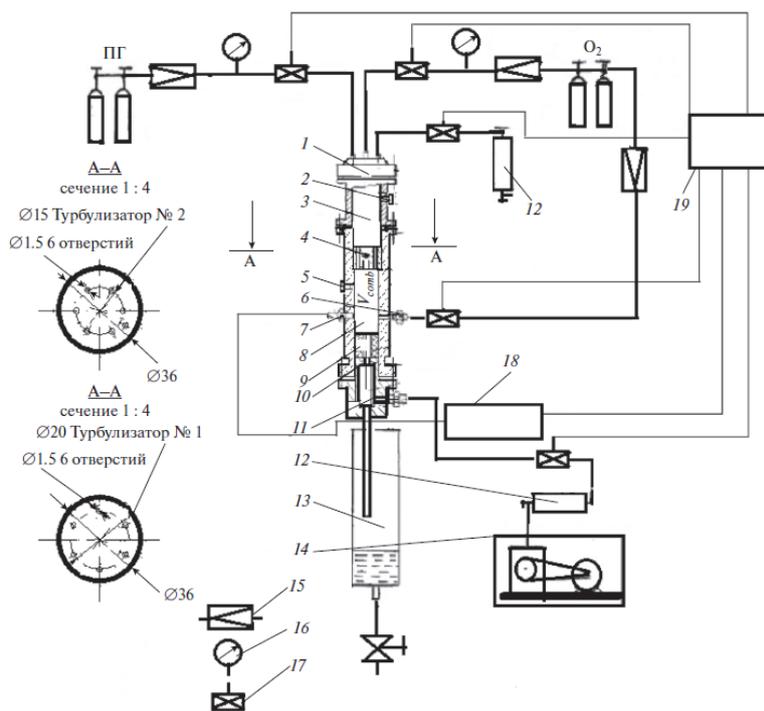


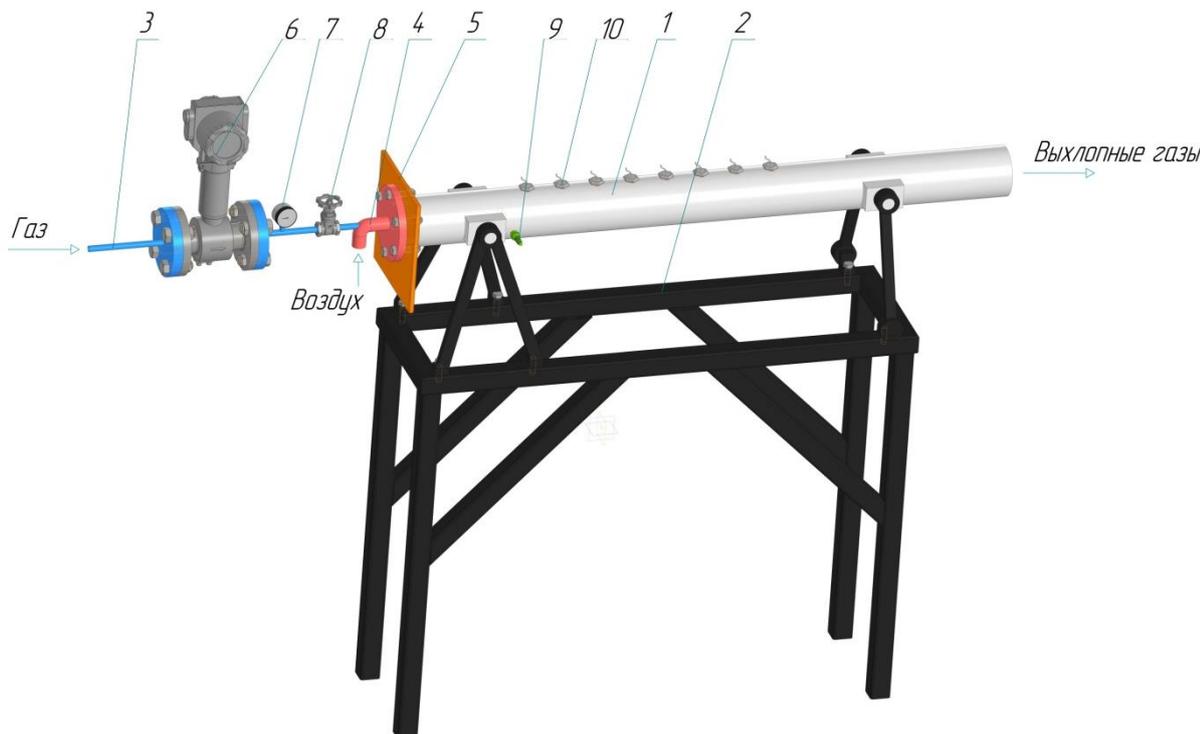
Рис. 5. Схема экспериментальной установки:

1 – центробежная форсуночная головка ЖРД МДТО-123; 2 – датчик давления в камере 3 смешения исходных реагентов; 4 – турбулизатор двух различных конструкций (№ 1 и № 2); 5 – датчик давления в камере сгорания; 6 – штуцер для подачи дополнительного кислорода при поджиге; 7 – свеча зажигания; 8 – камера сгорания; 9 – керамическая вставка; 10 – выходное критическое сечение камеры сгорания; 11 – штуцер для отбора проб продуктов сгорания; 12 – пробоотборники исходной смеси реагентов и продуктов сгорания; 13 – сепаратор; 14 – форвакуумный насос; 15 – редукторы; 16 – контрольные стрелочные манометры; 17 – электромагнитные клапаны; 18 – система электроподжига; 19 – автоматическая система управления (АСУ)

За счет конструктивных особенностей турбулизатора в данной схеме возможны изменения в пространственной структуре турбулентной зоны перемешивания, расположенной внутри камеры сгорания перед зоной турбулентного горения.

#### СХЕМА И ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ГАЗА

После детального анализа всех конструктивных особенностей экспериментальных установок, показанных выше, была разработана следующая схема стенда (рис. 6).



**Рис. 6.** Стенд для экспериментального исследования горения водорода:

1 – труба; 2 – рама; 3 – канал подачи газа; 4 – канал подачи воздуха; 5 – газовая горелка; 6 – расходомер; 7 – манометр; 8 – вентиль; 9 – свеча зажигания; 10 – датчики температуры

Особенности экспериментальной установки:

- 1) Труба, в которой непосредственно происходит горение, будет изготовлена из стали марки 12Х18Н10Т. Она представляет собой цилиндр диаметром 100 мм и длиной 1200 мм. А в качестве материала для изготовления рамы будет использована сталь 3 или сталь 45.
- 2) Газ будет подаваться из баллона. Однако для изучения горения водорода в целях безопасности вместо баллона будет использоваться электролизер.
- 3) Подача воздуха осуществляется из компрессорной станции, что позволяет исследовать горение газа при подаче воздуха давлением до 200 атмосфер.
- 4) Есть возможность изучения горения с использованием различных турбулизаторов.
- 5) Для поддержания стабильного горения на входе в трубу установлена газовая горелка.
- 6) Система выхлопа предполагает шумоглушение и дымоудаление.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье проведен анализ научных разработок для изучения горения. Указаны достоинства и недостатки каждой экспериментальной установки.

На основе анализа разработана другая схема стенда.

Данный стенд позволяет не только экспериментально изучить процесс горения газа, но и подготовить математическую модель этого процесса и оценить возможность трехмерных расчетов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоева М.О., Галенко Ю.А., Кудряшова О.Б., Сыпин Е.В. Численное исследование горения метана в лабораторной трубе // Ползуновский вестник №1. – 2018. – с. 94-99.
2. Красильников А.В., Макаревич Г.А., Михайлов А.В. Экспериментальное исследование сверхзвукового горения водорода // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – №4 (3). – с. 889-890.
3. Албегов Р.В., Виноградов В.А., Шихман Ю.М. Горение метана при различных схемах впрыска в воздушный поток с большими дозвуковыми скоростями // Физика горения и взрыва. – 2016. – Т. 52, №1. – с. 18-29.
4. Alavandi S.K., Agrawal A.K. Experimental study of combustion of hydrogen-syngas/methane fuel mixtures in a porous burner // International journal of hydrogen energy 33. – 2008. – 1407-1415.
5. Буравцев Н.Н., Колбановский Ю.А., Россихин И.В., Билера И.В. Влияние дополнительного источника турбулентности в проточной камере сгорания на режим горения богатых метаноокислородных смесей // Химическая физика. – 2019. – том 38, №3. – с. 30-36.

## ОБ АВТОРЕ

**СИДОРЕНКО Анастасия Владимировна**, бакалавр 3-го курса ФАДЭТ.

## METADATA

**Title:** Analysis of stands for research of combustion.

**Author:** A. V. Sidorenko

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** Sidorenko-nastua4142@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (26), pp. 64-69, 2022. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract.** The article presents an analysis of existing stands for gas combustion, indicating their advantages and disadvantages. Based on the analysis, a stand was developed that allows one to study gas combustion, build a mathematical model of this process and evaluate the possibility of three-dimensional calculations.

**Key words:** stand; analysis; gas combustion; experimental study of combustion; study of gas combustion; gas-air mixture; experimental setup.

**About author:**

**SIDORENKO, Anastasia Vladimirovna**, bachelor-student 3 course, Faculty of Aircraft Engines, Energy and Transport.