

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ПРИСУТСТВИИ ПЕРЕГРЕТОГО ВОДЯНОГО ПАРА

Мухина М.А.<sup>1</sup>, Садкин И.С.<sup>1,2</sup>, Копьев Е.П.<sup>1</sup>, Шадрин Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт теплофизики им С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, [kopyeve@itp.nsc.ru](mailto:kopyeve@itp.nsc.ru)

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

*Ключевые слова: горелочное устройство, газообразное топливо, перегретый водяной пар, снижение выбросов вредных веществ.*

Резкое увеличение темпов загрязнения окружающей среды приводит к необходимости поиска новых технологий и совершенствования старых методов снижения выбросов при сжигании топлив. Одним из методов контроля выбросов NO<sub>x</sub> является снижение пиковой температуры при горении путем добавления газов-разбавителей. В качестве разбавителя большой интерес представляет собой водяной пар в связи с его дешевизной и легкодоступностью.

Ранее авторами было исследовано влияние впрыска водяного пара при сжигании жидких углеводородных топлив и показаны преимущества метода, такие как снижение выбросов CO и NO<sub>x</sub>, высокая полнота сгорания топлива, возможность сжигания некондиционных жидких горючих при их распылении струей пара [1, 2]. Настоящая работа посвящена изучению влияния перегретого пара и нагретого воздуха на сжигание газообразного углеводородного топлива. Такое топливо представляет интерес, так как легковоспламеняемое, не требует распыла, в связи с чем отсутствуют затраты энергии на разрушение капли и ее испарение. В качестве топлива была взята пропан-бутановая смесь.

Для исследования тепловых и экологических характеристик сжигания газообразного топлива в присутствии перегретого водяного пара был модернизирован огневой стенд, предназначенный для исследования сажепарового режима горения жидких углеводородов, а именно была смонтирована система подачи газообразного топлива. Эксперименты проводились на лабораторном образце горелочного устройства с естественным притоком воздуха из атмосферы [1]. Пропан-бутановая смесь подавалась через трубку с внутренним диаметром 4 мм вблизи основания струи распылителя – перегретого водяного пара или, вместо него, нагретого воздуха. Газовый состав продуктов сгорания регистрировался на выходе из проточного калориметра, где проба имеет температуру, близкую к комнатной. Определение средней по времени температуры в факеле проводилось с использованием Pt-Rh/Pt-Rh термопары.

В ходе экспериментов варьировались расход топлива и пара или, вместо него, воздуха. Получены характерные фотографии пламени, построены карты содержания кислорода, монооксида углерода и оксидов азота в продуктах сгорания, а также профили температуры пламени вдоль вертикальной оси сопла горелки в зависимости от режимных параметров. Впрыск перегретого водяного пара вместо воздуха позволяет снизить максимальную температуру в среднем на ~ 100 °С. Найдены режимные параметры, при которых концентрации CO в продуктах сгорания минимальны. Для таких режимов наблюдается снижение образования NO<sub>x</sub> при впрыске пара, что предположительно связано со снижением пиковой температуры.

Предложенная технология низкоэмиссионного сжигания топлива в струе перегретого водяного пара может быть применена в различных энергетических установках без существенной доработки применяемого горелочного устройства.

Исследования проведены при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-30075).

### Список литературы

1. Anufriev I.S., NO<sub>x</sub> reduction by steam injection method during liquid fuel and waste burning / I.S. Anufriev, E.P. Kopyev, I.S. Sadkin, M.A. Mukhina // Process Safety and Environmental Protection. – 2021. – V. 152. – P. 240-248.
2. Anufriev I.S., Diesel and waste oil combustion in a new steam burner with low NO<sub>x</sub> emission / I.S. Anufriev, E.P. Kopyev, I.S. Sadkin, M.A. Mukhina // Fuel. – 2021. – V. 290.

### Сведения об авторах

Мухина М.А., инженер-исследователь. Область научных интересов: воспламенение, горение, энергетические системы на органическом топливе, энерго- и ресурсосберегающие, экологически чистые химико-технологические процессы.

Садкин И.С., инженер-исследователь. Область научных интересов: горение, энергетические системы на органическом топливе, энерго- и ресурсосберегающие, экологически чистые химико-технологические процессы, утилизация и вторичное использование углекислого газа.

Копьев Е.П., к.т.н., старший научный сотрудник. Область научных интересов: воспламенение, горение, энергетические системы на органическом топливе, энерго- и ресурсосберегающие, экологически чистые химико-технологические процессы.

Шадрин Е.Ю., к.ф.-м.н., младший научный сотрудник. Область научных интересов: газовая динамика, гидромеханика многофазных сред, энергетические системы на органическом топливе, энерго- и ресурсосберегающие, экологически чистые химико-технологические процессы.

## EXPERIMENTAL STUDY OF BURNER CHARACTERISTICS WHEN BURNING GASEOUS FUEL IN THE PRESENCE OF SUPERHEATED WATER VAPOR

Mukhina M.A.<sup>1</sup>, Sadkin I.S.<sup>1,2</sup>, Kopyev E.P.<sup>1</sup>, Shadrin E.Yu.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, [kopyeve@itp.nsc.ru](mailto:kopyeve@itp.nsc.ru)

<sup>2</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

*Keywords: burner device, gaseous fuel, superheated steam, emissions reduction.*

The work is devoted to studying the effect of superheated steam on combustion of gaseous hydrocarbon fuel. Such fuel is of interest because it does not require atomization, and therefore there is no energy consumption for the destruction of the drop and its evaporation. A propane-butane mixture was taken as fuel.

During the experiments, the flow rate of fuel and steam or, instead, air was varied. Characteristic flame photographs were obtained, maps of oxygen, carbon monoxide, and nitrogen oxides in the combustion products were plotted, and flame temperature profiles along the vertical axis of the burner nozzle as a function of regime parameters were obtained. The injection of superheated water vapor instead of air makes it possible to reduce the maximum temperature by ~100 °C on average. The mode parameters were found, at which the CO concentrations in the combustion products are minimal. For such modes, a decrease in NO<sub>x</sub> generation during steam injection is observed, which is presumably associated with a decrease in peak temperature.

The proposed technology of low-emission combustion of fuel in a stream of superheated water steam can be applied in various power plants without significant modification of the applied burner device.

The research was supported by the Russian Science Foundation (project no. 19-79-30075).