

УДК 62-643;536.463

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЫЛИТЕЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖИГАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В АТМОСФЕРНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ

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

<sup>1</sup>Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет

В настоящей работе на примере дизельного топлива исследованы характеристики сжигания жидких углеводородов при распылении высокоскоростной воздушной струей. Такой подход распыла жидкого топлива в процессах горения имеет ряд преимуществ перед традиционным распылом: возможность подачи топлива с низкой степенью очистки, снижение вероятности коксования топливной аппаратуры. С помощью атмосферного горелочного устройства с естественной подачей воздуха в камеру смешения исследованы зависимости состава промежуточных и конечных продуктов сгорания, проведено измерение температуры пламени при различных расходах топлива и параметрах распыляющей воздушной струи (расход, температура). Выполнено сопоставление полученных характеристик для эквивалентных режимов при различной температуре подаваемого распылителя. Получено, что при использовании в качестве распылителя нагретого воздуха обеспечиваются более высокие температуры пламени, за счет чего обеспечивается более полное выгорание топлива и снижение концентрации СО в уходящих газах, но при этом, наблюдается небольшой рост NO<sub>x</sub>.

*Ключевые слова:* горелочное устройство, горение жидких углеводородов, распыление топлива, снижение вредных выбросов, разбавление.

DOI: 10.17212/1727-2769-2024-2-67-77

### Введение

В связи с ужесточением норм содержания вредных веществ в выхлопных газах актуальны исследования в области технологий снижения выбросов. Среди различных методов контроля выбросов в современных системах сгорания широко используется разбавление для снижения пиковой температуры сгорания и, следовательно, концентрации NO<sub>x</sub> в выхлопных газах. Применяются такие методы как рециркуляция дымовых газов [1], системы ступенчатого сжигания [2], разбавление углекислым газом [3], MILD сжигание [4] и другие. Тем самым обусловлен интерес к исследованию влияния различных разбавителей и коэффициентов разбавления на экологические и термические характеристики горения [5].

Помимо типа разбавителя и коэффициента разбавления на содержание вредных веществ в продуктах сгорания может влиять и температура подаваемой среды. В статье [6] изучается влияние предварительного подогрева воздухозаборника на работу двухтопливного дизельного двигателя. Показано, что этот способ в сочетании с методом EGR [7, 8] позволяет повысить эффективность двигателя (до 5 %) и снизить выбросы СО (до 10 %). Так, в [9] высказано предположение, что увеличение начальной температуры предварительной смеси синтез-газ/воздух приводит к увеличению ламинарной скорости горения и адиабатической температуры пламени. В [10] авторы рассмотрели влияние температуры всасываемого воздуха (40 и 60 °С) на характеристики работы дизельного двигателя. Показано, что предварительный подогрев всасываемого воздуха может снизить выбросы СО

и твердых углеродных частиц, но увеличивает содержание  $\text{NO}_x$  в выхлопных газах.

В ИТ СО РАН исследован метод сжигания жидкого углеводородного топлива, диспергированного высокоскоростной струей перегретого пара [11], как подход низкоэмиссионного горения с разбавителем. Отличительной особенностью этого метода от традиционных подходов является то, что он основан на взаимодействии высокоскоростной газовой струи с каплей топлива, что обеспечивает качественное диспергирование различных видов топлива [12] и может быть использован даже для сжигания жидких горючих отходов. В работах также показано, что использование перегретого пара позволяет существенно снизить содержание вредных выбросов в продуктах сгорания по сравнению с нагретым воздухом. Так, использование перегретого водяного пара позволяет реализовать частичную паровую газификацию при взаимодействии с топливной каплей. Кроме того, обеспечивается снижение концентрации оксидов азота в выхлопных газах до 50 % при высокой эффективности сгорания углеводородного топлива [13, 14]. В работах такой эффект связывают со снижением температуры пламени, за счет чего снижается образование «термических»  $\text{NO}_x$ . Однако в предыдущих работах не было проведено сравнение с характеристиками сжигания при распыле топлива средами с низкой температурой, а кинетика горения жидких углеводородов при распылении воздухом и водяным паром при различных температурах до сих пор остается малоизученной.

Целью настоящей работы является исследование влияния параметров распылителя (тип, температура, расход и т.д.) на процесс сжигания жидкого углеводородного топлива в распылительном горелочном устройстве. Для этого получены данные и проведено сопоставление результатов при работе устройства на холодном и нагретом воздухе для эквивалентных режимов, а также тепловых характеристик при распыле перегретым паром.

### 1. Экспериментальный стенд и методика измерений

Для экспериментальных исследований был использован лабораторный образец атмосферной горелки мощностью до 20 кВт (рис. 1). Основными элементами горелочного устройства являются: основание, корпус, выходное сопло, распылительная форсунка, трубка подачи топлива. В нижней части корпуса горелочного устройства имеются отверстия для естественного притока атмосферного воздуха из окружающей среды. В горелке топливо распыляется непосредственно высокоскоростной струей воздуха, подаваемой из форсунки. Образующийся мелкодисперсный газокapельный поток поджигается внешней горелкой. Подробное описание устройства приведено в [15].

Горелочное устройство монтировалось на открытый экспериментальный стенд, в котором имеются автоматизированные системы подачи и регулировки топлива и сжатого воздуха. Схема экспериментального стенда, используемого в работе, представлена на рис. 2.

Измерения температуры пламени проводились с помощью платиновой-платинородиевой термопары типа В, которая перемещалась внутри пламени при помощи автоматизированного координатно-перемещающего устройства. Для проведения газового анализа промежуточных продуктов реакции в пламени горелки использовался газоанализатор Тест-1 ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CnHm}$  и др.). Газовый состав конечных продуктов сгорания дизеля определялся с помощью газоанализатора Testo 350 ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  и др.). Для определения теплоты сгорания топлива использовался проточный калориметр, который представляет собой конструкцию «труба в трубке», внутренний канал – для потока газа, внешний – для

теплоносителя (воды), идущего в противоположном направлении, он служит для отвода тепла от продуктов сгорания. Более подробно экспериментальная установка описана в [14].

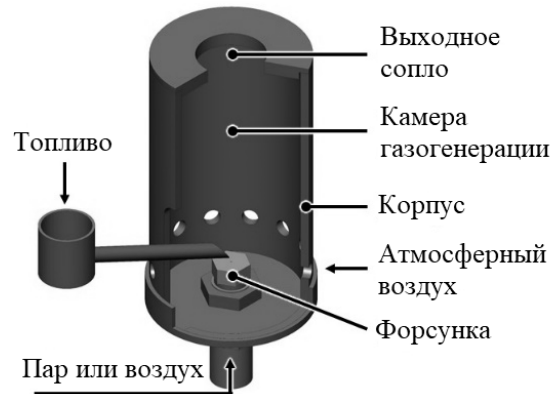


Рис. 1 – Схема атмосферного горелочного устройства

Fig. 1 – Scheme of an atmospheric burner device

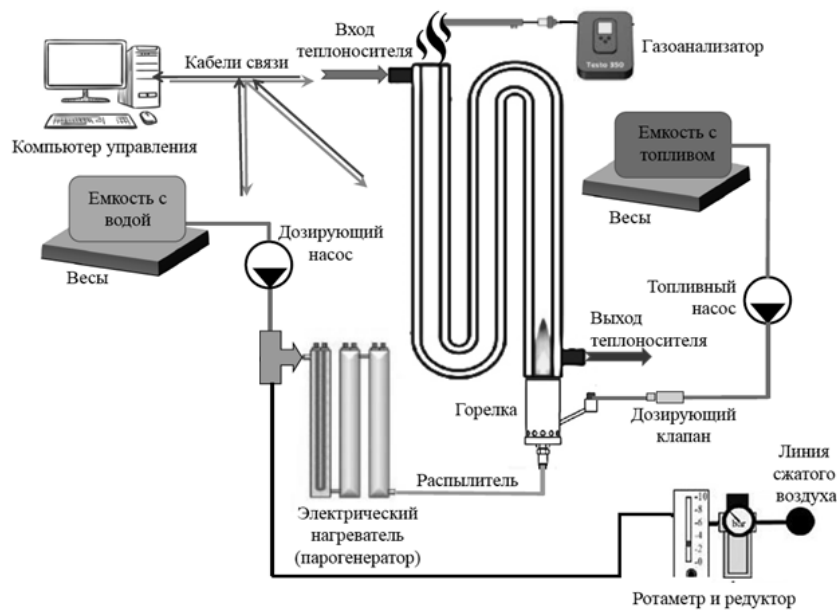


Рис. 2 – Схема экспериментального стенда

Fig. 2 – Scheme of the experimental stand

Для исследований использовалось дизельное топливо. Распыление топлива осуществлялось холодным сжатым воздухом (при комнатной температуре  $\sim 21^\circ\text{C}$ ) и нагретым до  $250^\circ\text{C}$ . Исследования проведены для режимов, представленных в табл. 1. Выбор режимов обусловлен тем, что в работе [15] при сжигании дизельного топлива распыленного нагретым воздухом для указанных параметров наблюдалась высокая полнота сгорания топлива и низкое содержание CO в про-

дуктах сгорания (табл. 1, режимы 4–6). Режимы 1–3 выбраны из эквивалентности режимам 4–6 по параметру динамического воздействия распыляющей струи, рассчитанному по [16].

Таблица 1 / Table 1

**Описание исследуемых режимов**  
**Description of the modes under study**

| Обозначение / Designation                                                 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Температура распылителя (воздуха), °C / Temperature of atomizer (air), °C | 21    |       |       | 250   |       |       |
| Давление, бар / Pressure, bar                                             | 6     | 7,5   | 8,9   | 5,7   | 7,5   | 8,6   |
| Расход распылителя, кг/ч / Atomizer consumption, kg/h                     | 1,05  | 1,33  | 1,57  | 0,81  | 1,07  | 1,24  |
| Динамическое воздействие, Н / Dynamic impact, N                           | 0,146 | 0,193 | 0,234 | 0,149 | 0,207 | 0,245 |
| Расход топлива, кг/ч / Fuel consumption, kg/h                             | 1,2   |       |       |       |       |       |

## 2. Результаты измерений и их анализ

На рис. 3 представлены фотографии пламени для режимов, где дизельное топливо распыляется струей воздуха комнатной температуры (1–3 режимы) и струей нагретого воздуха  $T = 250$  °C (4–6 режимы). При распылении топлива струей воздуха комнатной температуры в пламени наблюдается больше желто-оранжевых зон, нежели при сжигании дизеля в струе нагретого воздуха. Эквивалентные режимы 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 имеют схожий размер внешнего пламени, что косвенно указывает на правильный подбор режимов по параметру динамического воздействия распыляющей струи. Видно, что при увеличении расхода распылителя видимая длина факела уменьшается как при холодном, так и нагретом распылителе, а его цвет становится преимущественно синим за счет большей степени разбавления воздухом, эжектируемого из окружающей среды распыляющей струей.

На рис. 4 показаны профили температуры пламени вдоль вертикальной оси сопла горелочного устройства. Профили температуры для исследуемых режимов имеют схожий вид. Максимум температуры достигается на некотором расстоянии от сопла, что говорит о догорании топлива при выходе из горелочного устройства. При увеличении расхода распылителя максимум температуры снижается и сдвигается вверх по потоку, что вероятнее всего связано с большим разбавлением смеси воздухом, эжектируемым из окружающей среды. При этом для режимов при нагреве воздуха для режимов 4–6 температура пламени выше ( $\sim 100^\circ$ ), чем для режимов 1–3, что, вероятно, связано различием в начальных параметрах температуры распылителя.

На рис. 5 показаны профили концентраций различных газовых компонентов вдоль вертикальной оси сопла горелочного устройства. Профили компонентов имеют схожий вид, но разный уровень содержания веществ. Данные результаты могут быть связаны с тем, что для сравнения были подобраны параметры струи с равным динамическим воздействием. Таким образом, при разных температурах необходимо задавать различный расход для эквивалентных режимов. Несмотря на это, качественно можно отметить, что максимальные значения по  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , и минимальные по  $\text{O}_2$  при нагретом воздухе находятся ближе к основанию внешнего пламени, что указывает на несколько раннее воспламенение топлива, с чем, вероятно, также связаны более высокие значения средней температуры в факеле для режимов 4–6 (рис. 4).

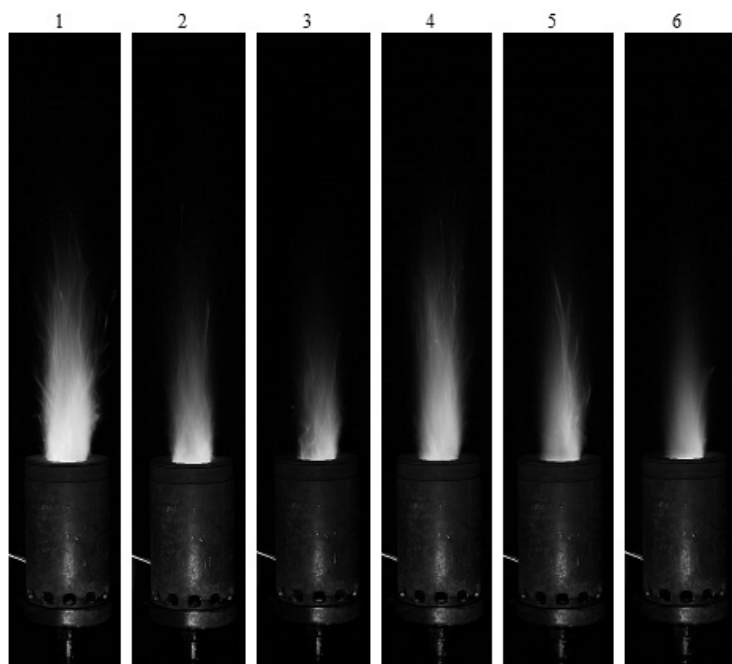


Рис. 3 – Фотографии пламени горелочного устройства  
(наименования режимов соответствуют табл. 1)

Fig. 3 – Photos of the flame of the burner device (names of modes correspond to Table 1)

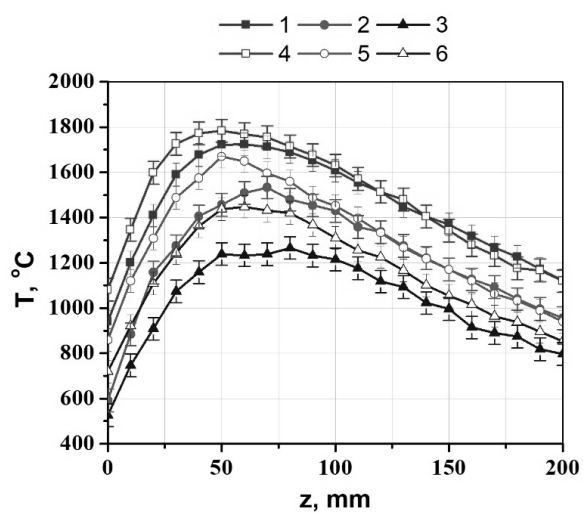


Рис. 4 – Распределение средней температуры вдоль вертикальной оси сопла горелки (наименования режимов соответствуют табл. 1)

Fig. 4 – Average temperature distribution along the vertical axis of the burner nozzle (names of modes correspond to Table 1)

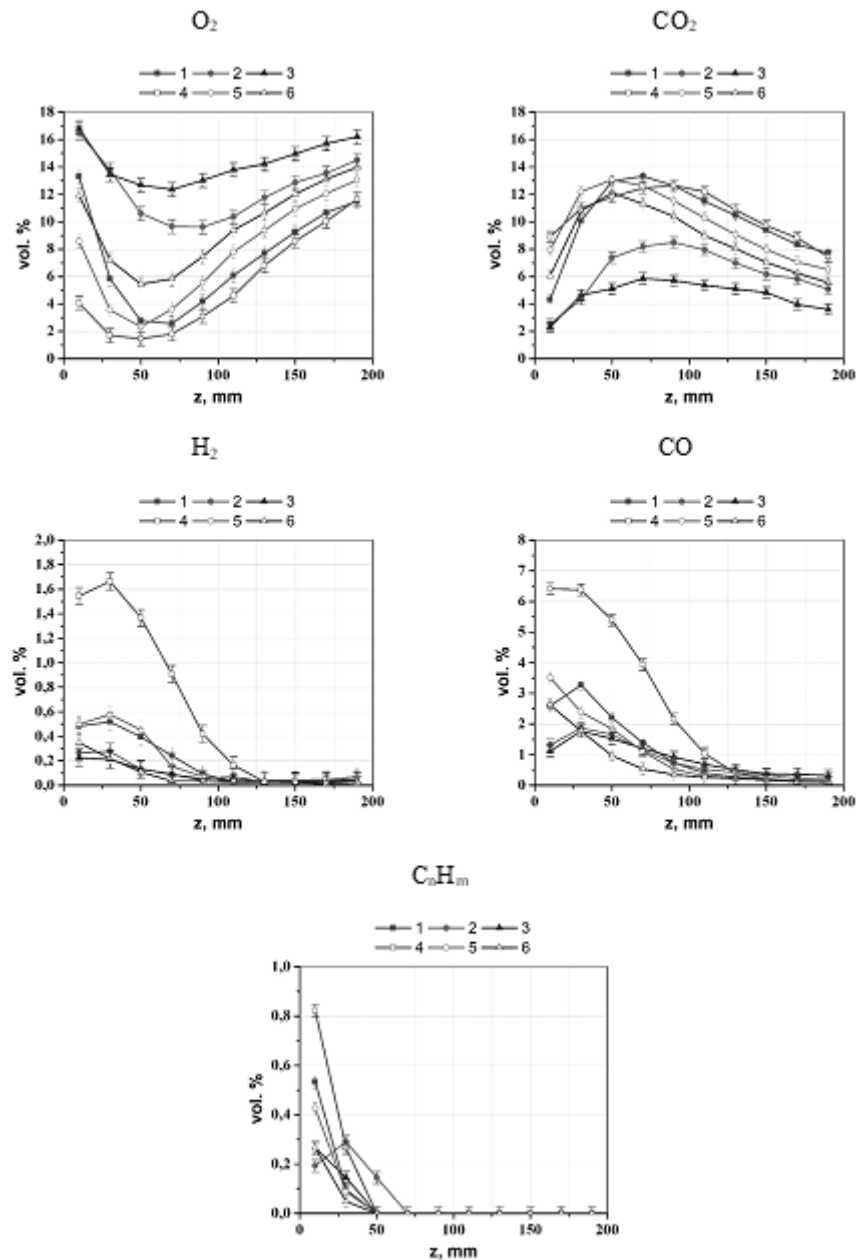


Рис. 5 – Профили концентраций различных газовых компонент вдоль вертикальной оси сопла горелочного устройства (наименования режимов соответствуют табл. 1)

Fig. 5 – Concentration profiles of various gas components along the vertical axis of the burner nozzle (names of modes correspond to Table 1)

В табл. 2 представлены результаты измерения содержания  $CO$  и  $NO_x$  в конечных продуктах сгорания, а также расчетная удельная теплота сгорания дизельного топлива в горелочном устройстве при его распыле воздухом разной степени нагрева для режимов 3 и 6, а также эквивалентного им режима при распыле топлива перегретым водяным паром [15].

Таблица 2 / Table 2

## Тепловые показатели горелочного устройства

## Thermal indicators of the burner device

|                                       | Удельная теплота,<br>МДж/кг /<br>Specific heat,<br>MJ/kg | CO, мг/кВт /<br>CO, mg/kWh | NO <sub>x</sub> , мг/кВт /<br>NO <sub>x</sub> , mg/kWh | Класс<br>по EN 267 /<br>Class EN 267 |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 3 – Холодный воздух /<br>3 – Cold Air | 43,6                                                     | 40                         | 126                                                    | 2                                    |
| 6 – Нагретый воздух /<br>6 – Hot Air  | 44,0                                                     | 29                         | 133                                                    | 2                                    |
| Пар / Steam [16]                      | 44,3                                                     | 36                         | 77                                                     | 3                                    |

По полученным результатам видно, что нагрев распылителя, в случае сжатого воздуха, позволяет несколько снизить содержание монооксида углерода в продуктах сгорания, но при этом наблюдается некоторый рост содержания оксидов азота. Однако использование холодного воздуха не позволяет обеспечить значительное снижение, как в случае с перегретым паром, и полученные значения позволяют отнести устройство при распыле воздухом как комнатной температуры, так и нагретым только ко второму классу по нормативу [17].

Стоит отметить, что в [12, 15] наблюдался схожий уровень понижения максимального значения температуры в пламени, аналогично рис. 4 – более чем 100°, при распылении топлива перегретым водяным паром. В работах делался вывод, что в случае использования пара максимальная температура пламени снижается из-за разбавления топливной смеси балластным газом, за счет чего обеспечивается значительное снижение содержания оксидов азота в уходящих газах. Однако, как видно из табл. 2, в случае подачи воздуха комнатной температуры, по сравнению с нагретым воздухом, такого снижения не отмечается при схожих остальных параметрах. Можно заключить, что положительное влияние перегретого водяного пара на сжигание жидких углеводородов связано не только с разбавлением топливной смеси балластным газом, но и дополнительным влиянием на протекание химических реакций, в том числе как третье тело.

## Заключение

В работе на примере дизельного топлива проведено изучение экологических и тепловых показателей сжигания жидких углеводородов, распыляемых нагретым и холодным сжатым воздухом. Изучались следующие основные характеристики процесса сжигания: температура факела, состав промежуточных и конечных продуктов сгорания, тепловыделение при различных режимах работы устройства. При анализе промежуточных компонентов процесса горения топлива вдоль оси симметрии пламени было отмечено, что нагрев распылителя приводит к более раннему воспламенению топливной смеси и, как следствие, – к более высокой температуре факела.

Анализ уходящих газов показал, что при распылении холодным воздухом достигается снижение уровня выброса монооксида углерода, но при этом наблюдается небольшой рост выбросов оксидов азота. При сопоставлении полученных значений монооксида углерода и оксидов азота для режимов с воздухом и паром в качестве распылителя было показано, что использование пара приводит к лучшим экологическим показателям. Сделан вывод, что положительное влияние

перегретого водяного пара на сжигание жидких углеводородов связано не только с разбавлением топливной смеси балластным газом, но и дополнительным влиянием на протекание химических реакций, в том числе как третье тело.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Exhaust Gas Recirculation (EGR) analysis of a swirl-stabilized pulverized coal flame with focus on NO<sub>x</sub> release using FPV-LES / D. Meller, L. Engelmann, O.T. Stein, A.M. Kempf // *Fuel*. – 2023. – Vol. 343. – P. 127939.
2. Experimental investigation of the characteristics of NO<sub>x</sub> emissions with multiple deep air-staged combustion of lean coal / Y. Wang, Y. Zhou, N. Bai, J. Han // *Fuel*. – 2020. – Vol. 280. – P. 118416.
3. **Soloklou M.N., Golneshan A.A.** Effect of CO<sub>2</sub> diluent on the formation of pollutant NO<sub>x</sub> in the laminar non-premixed methane-air flame // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2020. – Vol. 148. – P. 119071.
4. **Mohammadpour A., Mazaheri K., Alipoor A.** Reaction zone characteristics, thermal performance and NO<sub>x</sub>/N<sub>2</sub>O emissions analyses of ammonia MILD combustion // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2022. – Vol. 47 (48). – P. 21013–21031.
5. The effects of steam dilution on flame structure and stability for a H<sub>2</sub>/air micromix burner / Ch. Lu, L. Zhang, X. Chen, C. Xing, L. Liu, H. Shi, P. Qiu // *Journal of the Energy Institute*. – 2023. – Vol. 107. – Art. 101188.
6. **Papagiannakis R.G.** Study of air inlet preheating and EGR impacts for improving the operation of compression ignition engine running under dual fuel mode // *Energy Conversion and Management*. – 2013. – Vol. 68. – P. 40–53.
7. Effect of EGR on performances and emissions of DI diesel engine fueled with waste plastic oil: CDF approach / K. Naima, Y. Menni, M. Alliche, G. Lorenzini, H. Ahmad, A. Liazid // *Annales de Chimie – Science des Matériaux*. – 2021. – Vol. 45 (3). – P. 217–223.
8. **Kannappan C., Sengottaiyan S., Ramasamy R.** The combined effect of EGR and hydrogen addition on a Syzygium cumini (jamun) liquid biofuel engine // *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. – 2023. – Vol. 16 (1). – Art. 105.
9. Experimental and numerical study of the effect of initial temperature on the combustion characteristics of premixed syngas/air flame / Z. Xu, H. Deng, S. Wei, M. Yan, X. Wen, F. Wang, G. Chen // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Vol. 48 (12). – P. 4875–4890.
10. **Kumar K.S., Raj R.T.K.** Effect of fuel injection timing and elevated intake air temperature on the combustion and emission characteristics of dual fuel operated diesel engine // *Procedia Engineering*. – 2013. – Vol. 64. – P. 1191–1198.
11. Study of liquid hydrocarbons atomization by supersonic air or steam jet / I.S. Anufriev, E.Yu. Shadrin, E.P. Kopyev, S.V. Alekseenko, O.V. Sharypov // *Applied Thermal Engineering*. – 2019. – Vol. 163. – P. 114400.
12. Cleaner crude oil combustion during superheated steam atomization / I. Anufriev, E. Kovyev, S. Alekseenko, O. Sharypov, E. Butakov, M. Vigriyanov, I. Sadkin // *Thermal Science*. – 2021. – Vol. 25 (1-A). – P. 331–345.
13. New ecology safe waste-to-energy technology of liquid fuel combustion with superheated steam / I.S. Anufriev, E.P. Kopyev, S.V. Alekseenko, O.V. Sharypov, M.S. Vigriyanov // *Energy*. – 2022. – Vol. 250. – P. 123849.
14. 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, Part B*. – 2021. – Vol. 152. – P. 240–248.
15. **Anufriev I.S., Kopyev E.P.** Diesel fuel combustion by spraying in a superheated steam jet // *Fuel Processing Technology*. – 2019. – Vol. 192. – P. 154–169.
16. Experimental study of liquid hydrocarbon combustion under conditions of steam gasification in the presence of diluent gas / E.P. Kopyev, I.S. Sadkin, M.A. Mukhina, E.Yu. Shadrin, D.V. Krasinsky, S.Yu. Shimchenko // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2022. – Vol. 2233. – P. 012015.
17. DIN EN 267:2011-11. Automatic forced draught burners for liquid fuels.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF SPRAYER TEMPERATURE ON THE CHARACTERISTICS OF DIESEL FUEL COMBUSTION IN AN ATMOSPHERIC BURNER DEVICE

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

<sup>1</sup> Kutateladze Institute of Thermophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

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

In this work, using diesel fuel as an example, we studied the combustion characteristics of liquid hydrocarbons when atomized by a high-speed air jet. This approach to spraying liquid fuel in combustion processes has a number of advantages over traditional spraying: the ability to supply fuel with a low degree of purification and to reduce the likelihood of fuel equipment coking. Using an atmospheric burner device with natural air supply into the mixing chamber, the dependences of the composition of intermediate and final combustion products were studied, and the flame temperature was measured at various fuel flow rates and parameters of the atomizing air jet (flow rate, temperature). A comparison was made of the obtained characteristics for equivalent modes at different temperatures of the supplied atomizer. It was found that when heated air is used as a sprayer, higher flame temperatures are ensured, which ensures a more complete fuel burnout and a decrease in CO concentration in the flue gases, but at the same time, a slight increase in NO<sub>x</sub> is observed.

**Keywords:** burner device, combustion of liquid hydrocarbons, fuel atomization, reduction of harmful emissions, dilution.

DOI: 10.17212/1727-2769-2024-2-67-77

### REFERENCES

1. Meller D., Engelmann L., Stein O.T., Kempf A.M. Exhaust Gas Recirculation (EGR) analysis of a swirl-stabilized pulverized coal flame with focus on NO<sub>x</sub> release using FPV-LES. *Fuel*, 2023, vol. 343, p. 127939.
2. Wang Y., Zhou Y., Bai N., Han J. Experimental investigation of the characteristics of NO<sub>x</sub> emissions with multiple deep air-staged combustion of lean coal. *Fuel*, 2020, vol. 280, p. 118416.
3. Soloklou M.N., Golneshan A.A. Effect of CO<sub>2</sub> diluent on the formation of pollutant NO<sub>x</sub> in the laminar non-premixed methane-air flame. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2020, vol. 148, p. 119071.
4. Mohammadpour A., Mazaheri K., Alipoor A. Reaction zone characteristics, thermal performance and NO<sub>x</sub>/N<sub>2</sub>O emissions analyses of ammonia MILD combustion. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022, vol. 47 (48), pp. 21013–21031.
5. Lu Ch., Zhang L., Chen X., Xing C., Liu L., Shi H., Qiu P. The effects of steam dilution on flame structure and stability for a H<sub>2</sub>/air micromix burner. *Journal of the Energy Institute*, 2023, vol. 107, art. 101188.
6. Papagiannakis R.G. Study of air inlet preheating and EGR impacts for improving the operation of compression ignition engine running under dual fuel mode. *Energy Conversion and Management*, 2013, vol. 68, pp. 40–53.
7. Naima K., Menni Y., Alliche M., Lorenzini G., Ahmad H., Liaqid A. Effect of EGR on performances and emissions of DI diesel engine fueled with waste plastic oil: CDF approach. *Annales de Chimie – Science des Matériaux*, 2021, vol. 45 (3), pp. 217–223.
8. Kannappan C., Sengottaiyan S., Ramasamy R. The combined effect of EGR and hydrogen addition on a Syzygium cumini (jamun) liquid biofuel engine. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 2023, vol. 16 (1), art. 105.
9. Xu Z., Deng H., Wei S., Yan M., Wen X., Wang F., Chen G. Experimental and numerical study of the effect of initial temperature on the combustion characteristics of premixed syngas/air flame. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, vol. 48 (12), pp. 4875–4890.

10. Kumar K.S., Raj R.T.K. Effect of fuel injection timing and elevated intake air temperature on the combustion and emission characteristics of dual fuel operated diesel engine. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 64, pp. 1191–1198.
11. Anufriev I.S., Shadrin E.Yu., Kopyev E.P., Alekseenko S.V., Sharypov O.V. Study of liquid hydrocarbons atomization by supersonic air or steam jet. *Applied Thermal Engineering*, 2019, vol. 163, p. 114400.
12. Anufriev I., Kovyev E., Alekseenko S., Sharypov O., Butakov E., Vigriyanov M., Sadkin I. Cleaner crude oil combustion during superheated steam atomization. *Thermal Science*, 2021, vol. 25 (1-A), pp. 331–345.
13. Anufriev I.S., Kopyev E.P., Alekseenko S.V., Sharypov O.V., Vigriyanov M.S. New ecology safe waste-to-energy technology of liquid fuel combustion with superheated steam. *Energy*, 2022, vol. 250, p. 123849.
14. Anufriev I.S., Kopyev E.P., Sadkin I.S., Mukhina M.A. NO<sub>x</sub> reduction by steam injection method during liquid fuel and waste burning. *Process Safety and Environmental Protection, Part B*, 2021, vol. 152, pp. 240–248.
15. Anufriev I.S., Kopyev E.P. Diesel fuel combustion by spraying in a superheated steam jet. *Fuel Processing Technology*, 2019, vol. 192, pp. 154–169.
16. Kopyev E.P., Sadkin I.S., Mukhina M.A., Shadrin E.Yu., Krasinsky D.V., Shimchenko S.Yu. Experimental study of liquid hydrocarbon combustion under conditions of steam gasification in the presence of diluent gas. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, vol. 2233, p. 012015.
17. DIN EN 267:2011-11. *Automatic forced draught burners for liquid fuels*.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Мухина Мария Андреевна** – родилась в 1998 г., аспирант ИТ СО РАН, инженер-исследователь лаборатории экологических проблем теплоэнергетики, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: энергетика, сжигание топлива. Опубликовано 33 научные работы (РИНЦ). (630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 1. E-mail: mary-andr@yandex.ru).

**Mukhina Mariia Andreevna** (b. 1998), a PhD student in IT SB RAS, engineer researcher of Environmental Problems of Thermal Power Engineering, Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS. Her research interests are currently focused on Thermal Engineering and Combustion of Fuels. She is the author of about 33 scientific papers (RSCI). (Address: 1, Ac. Lavrentyev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: mary-andr@yandex.ru).



**Садкин Иван Сергеевич** – родился в 1998 г., аспирант НГТУ, инженер-исследователь лаборатории экологических проблем теплоэнергетики, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: энергетика, сжигание топлива. Опубликовано 58 научных работ (РИНЦ). (630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 1. E-mail: sadkinvanya@mail.ru)/

**Sadkin Ivan Sergeevich** (b. 1998) a PhD student in NSTU, engineer researcher of Environmental Problems of Thermal Power Engineering, Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS. His research interests are currently focused on Thermal Engineering and Combustion of Fuels. He is the author of about 58 scientific papers (RSCI). (Address: 1, Ac. Lavrentyev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: sadkinvanya@mail.ru).



**Шадрин Евгений Юрьевич** – родился в 1992 г., канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотр. лаборатории экологических проблем теплоэнергетики, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: энергетика, сжигание топлива. Опубликовано 100 научных работ (РИНЦ). (630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 1. Email: evgen\_zavita@mail.ru)

**Shadrin Evgeny Yurievich** (b. 1992) – Candidate of Sciences (Phys.&Math.), Junior Researcher of Environmental Problems of Thermal Power Engineering, Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS. His research interests are currently focused on Thermal Engineering and Combustion of Fuels. He is the author of about 100 scientific papers (RSCI). (Address: 1, Ac. Lavrentyev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: evgen\_zavita@mail.ru)



**Копьев Евгений Павлович** – родился в 1991 г., канд. техн. наук, заведующий лабораторией экологических проблем теплоэнергетики, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. Область научных интересов: энергетика, сжигание топлива. Опубликовано 100 научных работ (РИНЦ). (630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 1. E-mail: kopyev.evgeniy@mail.ru)

**Kopyev Evgeny Pavlovich (b. 1991)** – Candidate of Sciences (Eng.), Head of Laboratory of Environmental Problems of Thermal Power Engineering, Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS. His research interests are currently focused on Thermal Engineering and Combustion of Fuels. He is the author of about 100 scientific papers (RSCI). (Address: 1, Ac. Lavrentyev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: kopyev.evgeniy@mail.ru)

*Статья поступила 3 апреля 2024 г.  
Received April 03, 2024*

---

To Reference:

Mukhina M.A., Sadkin I.S., Shadrin E.Yu., Kopyev E.P. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya temperatury raspylitelya na kharakteristiki szhiganiya dizel'nogo topliva v atmosfernom gorelochnom ustroistve [Experimental study of the effect of sprayer temperature on the characteristics of diesel fuel combustion in an atmospheric burner device]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2024, no. 2 (63), pp. 67–77. DOI: 10.17212/1727-2769-2024-2-67-77.