

УДК 534.21

DOI: 10.15593/2224-9982/2022.70.03

**Б.Г. Мингазов<sup>1</sup>, А.Н. Мухин<sup>2</sup>, Т.Х. Мухаметгалиев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия

<sup>2</sup> Опытнo-конструкторское бюро имени А. Ляулки (филиал ОДК УМПО), Москва, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СТРУИ ВО ВСТРЕЧНОМ ПОТОКЕ**

Исследуется влияние неоднородности топливно-воздушной смеси при газодинамическом способе стабилизации пламени с использованием топливно-воздушной форсунки, направленной навстречу набегающему потоку. Рассмотрен механизм смешения встречной закрученной топливно-воздушной струи со встречным потоком. Представлены результаты экспериментальных исследований газодинамической структуры течения и процессов смесеобразования в зоне взаимодействия встречной закрученной топливно-воздушной струи с набегающим потоком. Установлено влияние скорости и температуры потока, а также соотношения скоростей набегающего потока и струи на смешение неоднородных струй с потоком. Рассмотрены процессы распределения топлива в топливно-воздушной струе по размерам капель и его испарения. Установлено, что процесс смесеобразования существенным образом зависит от конструктивных особенностей форсунки, гидродинамики течения, температуры потока и струи и свойств распыляемого топлива. На основании результатов экспериментальных измерений получена аналитическая зависимость для расчета степени перемешивания двухфазной топливно-воздушной струи со встречным потоком, позволяющая определить состав в зоне обратных токов, который может быть использован для определения границ устойчивого горения на различных режимах работы горелочных устройств, где применяется жидкое топливо различного состава.

**Ключевые слова:** поток, встречная закрученная струя, стабилизация пламени, топливно-воздушная форсунка, смешение, распыливание, испарение, скорость, температура, газодинамический параметр, зона обратных токов.

**B.G. Mingazov<sup>1</sup>, A.N. Mulin<sup>2</sup>, T.Kh. Mukhametgaliev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev – KAI,  
Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup> Experimental Design Bureau named after A. Lyulka (branch of UEC-UMPO),  
Moscow, Russian Federation

## **THE PREDICTION OF NOZZLE ADMITTANCE USING FINITE ELEMENTS METHOD**

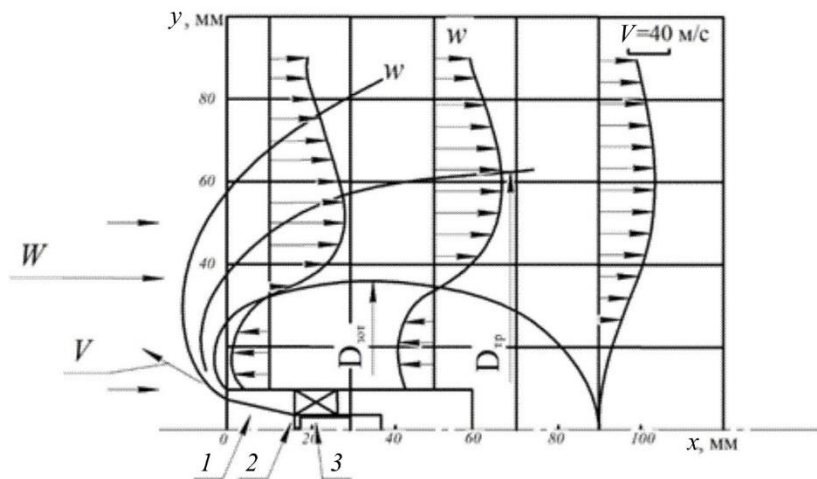
The paper investigates the influence of the inhomogeneity of the fuel-air mixture in the gas-dynamic method of flame stabilization using an air-fuel nozzle directed towards the oncoming flow. The mechanism of mixing a counter swirling fuel-air jet with a counter flow is considered. The results of experimental studies of the gas-dynamic structure of the flow and the processes of mixture formation in the zone of interaction of a counter swirling fuel-air jet with an oncoming flow are presented. The influence of the velocity and temperature of the flow, as well as the ratio of the velocities of the oncoming flow and the jet, on the mixing of inhomogeneous jets with the flow has been established. The processes of distribution of fuel in the fuel-air jet by the size of drops and its evaporation are considered. It has been established that the mixture formation process essentially depends on the design features of the nozzle, flow hydrodynamics, flow and jet temperature, and the properties of the sprayed fuel. Based on the results of experimental measurements, an analytical dependence was obtained for calculating the degree of mixing of a two-phase fuel-air jet with a counterflow, which makes it possible to determine the composition in the reverse current zone, which can be used to determine the boundaries of stable combustion in various operating modes of burner devices, where liquid fuel of various composition is used.

**Keywords:** low, counter swirling jet, flame stabilization, air-fuel nozzle, mixing, atomization, evaporation, velocity, temperature, gas-dynamic parameter, reverse flow zone.

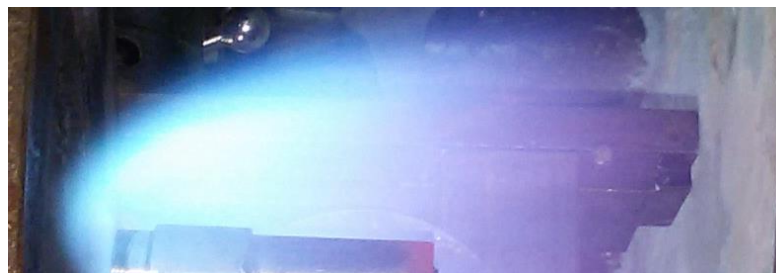
Газодинамическая стабилизация пламени широко применяются в различных топочных устройствах [1, 3–15], также проводятся обширные исследования возможности применения газодинамической стабилизации пламени в условиях форсажной камеры сгорания ТРДД с целью

улучшения ее характеристик [2, 6]. В многочисленных работах изучены различные аспекты газодинамической стабилизации пламени, однако они касаются в основном процессов горения на газоздушных струях, тогда как на практике часто применяются жидкие топлива типа керосина. В этом случае на процессы смесеобразования и горения струи накладывается влияние двухфазности смеси, что требует дополнительного изучения.

Одним из способов газодинамической стабилизации является подача встречной топливно-воздушной закрученной струи в скоростной поток [2]. Использование топливно-воздушной форсунки (ТВФ) позволяет подавать практически все топливо в воздушную струю и организовать подготовку смеси к горению благодаря использованию закрутки струи, смешению с топливом в смесительной камере и подаче во встречный поток. При развороте встречной закрученной струи в потоке образуется газодинамический экран, за которым создается зона обратного течения, позволяющая удерживать пламя в потоке и обеспечивать выгорание смеси. На рис. 1 представлена картина течения за встречной струей, где видны контуры зоны обратных токов (ЗОТ), размеры которой и состав смеси  $\alpha_{\text{зот}}$  в ней определяют характеристики стабилизации пламени.



а



б

Рис. 1. Газодинамическая структура течения за ТВФ ( $W = 31,7$  м/с,  $\bar{q}_v = 37$ ): а – схема (1 – смесительная камера, 2 – воздушный завихритель, 3 – топливная форсунка); б – фотоснимок пламени

Для определения закономерностей формирования  $\alpha_{\text{зот}}$  необходимы исследования смешения струи с набегающим потоком. С этой целью были проведены экспериментальные исследования газодинамической структуры течения и процессов смесеобразования в зоне взаимодействия встречной закрученной топливно-воздушной струи. Исследования смесеобразования проводились на установках, применяемых в подобных исследованиях [1, 4], методом газового анализа как в факеле с горением, так и без горения. Было установлено, что в процессе распространения струи в сносящем потоке происходит многократное разбавление первичной смеси в

струе  $\alpha_v$  воздухом набегающего потока, сепарация капель и их испарение. Несмотря на сепарацию крупных капель к периферии, основной поток топлива движется вместе со струей воздуха, образуя при этом профиль распределения местных концентраций с максимальными (минимальным  $\alpha$ ) значениями на оси траектории струи.

По мере распространения струи этот профиль размывается окружающим потоком. Одновременно происходит интенсивный массообмен между струей и зоной обратных токов, в результате которого формируется коэффициент избытка воздуха  $\alpha_{30T}$ . Экспериментальные изменения среднего значения коэффициента избытка воздуха в ЗОТ на различных режимах позволили получить зависимости отношения  $\alpha_{30T}/\alpha_v$ , характеризующего процесс смешения струи с потоком при различных значениях скоростей потока  $W$ , струи  $V$  и соотношения их скоростных напоров  $q_v = \rho_v V^2 / \rho_w W^2$ . Эти зависимости были получены при различных температурах потока  $T_w$ , а также при подаче в набегающий поток однофазной паровоздушной струи.

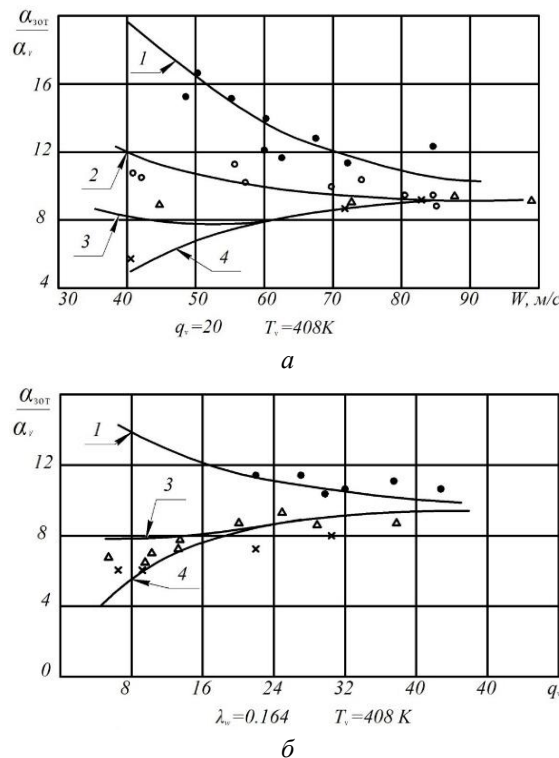


Рис. 2. Влияние относительного параметра  $\alpha_3/\alpha_v$  на параметры смешения неоднородных струй с потоком: *a* – скорости  $W$ ; *б* – параметр  $q_v$ , где 1 –  $\bullet$  –  $T_w = 353$  К; 2 –  $\circ$  –  $T_w = 485$  К; 3 –  $\Delta$  –  $T_w = 591$  К – двухфазная смесь; 4 –  $\times$  –  $T_w = 591$  К – однофазная (паровоздушная) струя; — – расчет

Сопоставление полученных опытных данных показало, что в области малых значений скорости  $W$  и  $q_v$  наблюдается различие в протекании кривых  $\alpha_{30T}/\alpha_v = f(W)$  и  $\alpha_{30T}/\alpha_v = f(q_v)$  для потока с различной температурой. С увеличением указанных параметров это различие уменьшается. Увеличение температуры набегающего потока также оказывает влияние на смешение струи с потоком вследствие более интенсивного испарения капель и соответствующего уменьшения сепарации капель в струе.

С ростом скорости потока  $W$  при  $q_v = \text{const}$  увеличивается скорость струи и соответственно мелкости распыливания. Увеличение  $q_v$  и температуры потока также приводит к уменьшению среднего диаметра капель в факеле, и, в свою очередь, уменьшение начального диаметра капли так же, как рост температуры потока, приводит к увеличению степени испарения топлива соответственно обогащению состава смеси в ЗОТ (уменьшению  $\alpha_{30T}$ ). Поэтому по мере увеличения

скорости  $W$ , гидродинамического параметра  $q_v$  и температуры  $T_w$  кривые, характеризующие перемешивание двухфазной струи с потоком, приближаются к соответствующей кривой для однофазной струи. В области малых значений  $W$ ,  $q_v$  и  $T_w$  степень испарения топлива в струе невысокая, вследствие чего наблюдается и различие в процессах смешения для струй с различной скоростью истечения. Следовательно, для получения аналитических зависимостей расчета состава смеси в ЗОТ необходимо определить влияние входных параметров на смешение ( $W$ ,  $q_v$ ,  $T_w$ ).

В работе [6] при исследовании процесса смешения веерной газовой струи со сносящим газоздушным потоком получена формула, устанавливающая связь между составами смеси в струе  $\alpha_v$ , потоке  $\alpha_w$  и зоне обратных токов  $\alpha_{зот}$ . Для случая распространения встречной газовой струи в воздушном потоке также можно воспользоваться этой зависимостью. Для случая  $\alpha_w = \infty$  получим:

$$\frac{\alpha_{зот}}{\alpha_v} = m \left( 1 + \frac{1}{\alpha_v L_0} \right) + 1. \quad (1)$$

Здесь коэффициент смешения  $m$  представляет собой соотношение расходов газов эжектированного из потока воздуха  $G_w$  и расхода топливно-воздушной струи  $G_v$ . Величина  $m = G_w/G_v$  показывает, в каком соотношении смешиваются струя с потоком в ЗОТ.

Предполагая, что количество эжектированного воздуха в ЗОТ пропорционально площади газодинамического купола, образуемого встречной струей, и соотношению плотностей воздуха и струи, мы получили зависимость, удобную в практических расчетах:

$$m = k_m \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_v}} \bar{q}_v \frac{R_1^2}{b_3 (d_n + d_{вн}) \cos \varphi}, \quad (2)$$

где  $k_m$  – коэффициент пропорциональности;  $R$  – радиус купола;  $\bar{q}_v$  – газодинамический параметр;  $d_n$ ,  $d_{вн}$ ,  $b_3$ ,  $\varphi$  – наружный, внутренний и высота и угол наклона лопаток завихрителя.

В случае взаимодействия двухфазной струи с потоком происходят процессы испарения капель топлива и их распределение по размерам, что также влияет на смесеобразование. Начальное значение среднего диаметра капель по Заутеру можно оценить по известному критерию Вебера:

$$\frac{d_k}{d_o} \approx \left( \frac{\sigma_T}{\rho_v V_{отн}^2 d_o} \right)^m, \quad (3)$$

где  $\sigma_T$  – вязкость топлива;  $V_{отн}$ ,  $\rho_v$  – относительная скорость и плотность распыливающего воздуха;  $d_o$  – толщина топливной пленки (характерный размер сопла топливной форсунки).

Степень испарения топлива  $z$  определяется по изменению среднего диаметра капли за время пребывания в ЗОТ, по отношению текущего и начального средних диаметров капель в факеле. Текущий (испаряющийся за время пребывания в ЗОТ) диаметр капли определялся по общеизвестной формуле:

$$d_k^2 = d_{k0}^2 - k_{исп} \tau, \quad (4)$$

где  $\tau$  – время испарения капли (время пребывания в ЗОТ);  $d_{k0}$  – начальный диаметр капли, определяется с помощью критерия Вебера;  $d_k$  – текущий диаметр капли;  $k_{исп}$  – константа испарения.

Согласно [1]:

$$k_{исп} = 8 \frac{k_p P}{\rho_T} k_\beta, \quad (5)$$

где  $P$  – давление паров топлива, зависит от температуры капли;  $k_p$  – коэффициент диффузии паров топлива, отнесенный к градиенту давления;  $k_\beta$  – коэффициент, учитывающий связь между действительным и диффузионно-конвективными коэффициентами испарения.

Степень испарения топлива  $z$  определяется отношением испарившегося количества к первоначальному, оценивается по отношению остаточного значения среднего диаметра капли в факеле к первоначальному:

$$z = 1 - \left( \frac{d_k}{d_{k0}} \right)^3. \quad (6)$$

При смешении двухфазной струи с потоком в факеле происходит также и распределение капель по траекториям, наиболее крупные капли отбрасываются к периферии факела, а в приосевой части протекают мелкие капли. Учет данного фактора возможен с помощью уравнения распределения капель по размерам. С его помощью можно определить весовую долю топлива, соответствующую каплям разных размеров.

Если принять, что в турбулентном массообмене принимают мелкие капли меньше  $d_{ki} > 10$  мк, а средний размер капель по Заутеру  $d_{кс}$  соответствует характерному значению  $\bar{d}_k = d_{кс}$ , с учетом ее испарения за время пребывания в ЗОТ  $d_{кс} = d_{кс0} \sqrt[3]{1-z}$  можно записать следующее выражение для определения доли жидкого топлива, попадающего в ЗОТ:

$$G_{Ti} = G_{T0} \left[ 1 - e^{-\left[ \frac{di}{dk} \right]^n} \right], \quad (7)$$

где  $G_{T0}$  – вес всех капель;  $G_{Ti}$  – весовое количество капель размером меньше  $d_{ki} \approx 10$  мк;  $\bar{d}_k$  – постоянная размера, можно принять  $\bar{d}_k = d_{кс0} \sqrt[3]{1-z}$ ;  $n$  – константа распределения,  $n \approx 3,0$ .

Учитывая найденные зависимости, можно получить обобщенную формулу для расчета состава смеси в ЗОТ:

$$\frac{\alpha_{зот}}{\alpha_v} = \frac{m}{\delta} \left( 1 + \frac{\delta}{\alpha_v L_0} \right) + 1. \quad (8)$$

Из анализа полученных зависимостей следует, что процесс смесеобразования существенным образом зависит от конструктивных особенностей форсунки  $b_3$ ,  $k_\phi$ ,  $d_c$ , гидродинамики течения  $W$ ,  $\bar{q}_v$ , температуры потока и струи ( $T_w$ ,  $T_v$ ) и свойств распыливаемого топлива ( $\sigma$ ,  $\rho_t$ ).

С использованием найденных зависимостей были получены расчетные кривые зависимости  $\frac{\alpha_{зот}}{\alpha_v}$  от скорости потока  $W$  при постоянном  $q_v$  и различных температурах. В [2] приведены

расчетные зависимости  $\frac{\alpha_{зот}}{\alpha_v} = f(W, \bar{q}_v)$ , полученные на основании экспериментальных измере-

ний состава смеси в ЗОТ при смешении паровоздушной струи со сносящим потоком. Здесь же для сравнения приведены экспериментальные данные. Как следует из графиков, расчетные и экспериментальные данные находятся в удовлетворительном согласии, что указывает на применимость выражения (2) в практических расчетах. При сравнении результатов расчета и эксперимента было получено, что в диапазоне изменения  $W$  от 30 до 100 м/с и  $\bar{q}_v$  от 5 до 40 коэффициент пропорциональности сохраняет постоянное значение и равен 0,135.

Таким образом, полученная аналитическая зависимость для расчета степени перемешивания двухфазной топливно-воздушной струи с встречным потоком позволяет определить важный параметр  $\alpha_{зот}$ , широко используемый в расчетах горения смеси.

### Библиографический список

1. Lefebvre A.H., Ballal D.R. Gas turbine combustion – CRC Press, 2010. – P. 557.
2. Мухаметгалиев Т.Х., Мингазов Б.Г. Исследование механизма стабилизации пламени в неоднородных по фазе топливовоздушных смесях // Известия вузов. Авиационная техника. – 2020. – № 1. – С. 93–96.
3. Ахмедов Р.Б. Интенсивность крутки воздушного потока в вихревых горелках // Теплоэнергетика, 1962. №6.
4. Влияние степени закрутки потока в вихревой горелке на состав смеси в зоне её рециркуляции на границе срыва пламени / Ю.Л. Ковылов, Н.К. Серенков, А.Ф. Урывский, А.М. Цыганов // Горение в потоке: межвуз. сб. – Казань, 1982. – С. 19–23.
5. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели – ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1202 с.
6. Обобщение экспериментальных данных по пределам стабилизации пламени на струях / В.А. Костерин и др. // Авиационная техника. 1968. №3.
7. Бовина Т.А. Горение при пониженных давлениях и некоторые вопросы стабилизации пламени в однородных и двухфазных системах. – М.: Изд-во АН СССР, 1960.
8. Мингазов Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчет: учеб. пособие. – Изд. второе, испр. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. – 220 с.
9. Бортников М.Т. Стабилизация процесса горения в камерах сгорания. // Труды ЦИАМ. 1974. – № 613.
10. Анализ геометрических и тепловых характеристик высокоресурсной утилизационной камеры сгорания / О.О. Матюнин, А.А. Шилова, Н.Л. Бачев, Р.В. Бульбович // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2018. – № 52. – С. 85–96.
11. Численное моделирование рабочего процесса в высокотемпературной воздушно-керосиновой горелке / Е.В. Харлина, А.Д. Морозов, Н.Л. Бачев, Р.В. Бульбович // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2019. – № 59. – С. 72–80.
12. Использование камеры предварительного смешения в утилизационной установке / А.А. Шилова, И.С. Кузнецов, Н.Л. Бачев, Р.В. Бульбович // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2019. – № 57. – С. 137–147.
13. Шилова А.А. Бачев Н.Л., Бульбович Р.В. Расчетно-экспериментальные исследования области устойчивого горения природного газа с воздухом // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2021. – № 66. – С. 47–55.
14. Влияние состава и параметров подачи нефтяного газа на пределы горения в утилизационной камере сгорания / А.А. Шилова, Р.В. Бульбович, Н.Л. Бачев, О.О. Матюнин // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2020. – № 60. – С. 64–71.
15. Бетинская О.А. Организация рабочего процесса в универсальной камере сгорания газотурбинной установки для утилизации попутного нефтяного газа: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.12. – Пермь, 2017. – 146 с.

### References

1. Lefebvre, A.H. Gas turbine combustion [Text] / A.H. Lefebvre, D.R. Ballal. – CRC Press, 2010. – P. 557
2. Mingazov B. G. Mukhametgaliev, T.Kh. Issledovanie mehanizma stabilizacii plameni v neodnorodnih po phase toplivovozdushnih smesyah / B.G. Mingazov, T.Kh. Mukhametgaliev // Kazan, Isv. vuzov. Aviacionnaya tehnika. – № 1.- 2020. P. 93-96.
3. Ahmedov R.B. Intensivnost krutki vozdušnogo potoka v vihrevih gorelках, j. «Теплоэнергетика», №6 1962.
4. Kovilov, J.L. Vlijanie stepeny zakrutky potoka v vihrevoy gorelke na sostav smesy v zone ejo recirkuljacii na granice sriva plameni [Text] / J.L. Kovilov, N.K. Serenkov, A.F. Urivskij, A.M. Ciganov // Gorenje v potoke. Mejevuz. Sb. – Kazan, 1982. – P. 19-23.
5. Inozemcev, A.A. Gazoturbinnie dvigateli [Text]/ A.A. Inozemcev, V.L. Sandratckij. – ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1202 P.
6. Kosterin V.A. i dr. Obobshenie experimentalnih dannih po predelam stabilizacii plameni na strujah. IVUZ "Aviacionnaya tehnika", №3, 1968.
7. Bovina T.A. Sb. Gorenje pri ponijennih davlenijah I nekotorige viprosi stabilizacii plameni v odnorodnih i dvuhphasnih systemah. Izd-vo AN USSR. 1960.
8. Mingazov, B.G. Kameri sgoranija gasoturbinnih dvigateley. Konstrukcija, modelirovanie i raschet. Uchebnoe posobie. Izdanie vtoroje, ispravlennoe. Kazan: Izd-vo Kazan state technical university, 2006. 220P.
9. Bortnikov, M.T. Stabilizacija processa gorenija v kamerah sgoranija. Trudy CIAM, № 613, 1974.

10. Matyunin, O.O. Analysis of the geometric and thermal characteristics of a high-resource utilization combustion chamber /O.O. Ma-tyunin, A.A. Shilova, N.L. Bachev, R.V. Bulbovich// Perm, Bulletin of PNRPU. Aerospace engineering. 2018. No. 52. P. 85 – 96.

11. Harlina E.V. Numerical modeling of the working process in a high-temperature air-kerosene burner / E.V. Harley, A.D. Morozov, N.L. Bachev, R.V. Bulbovich // Bulletin of PNRPU. Aerospace technology. 2019. No. 59. P. 72-80.

12. Shilova A.A. The use of a pre-mixing chamber in a recycling plant /A.A. Shilova, I.S. Kuznetsov, N.L. Bachev, R.V. Bulbovich // Perm. Bulletin of PNRPU. Aerospace engineering. 2019. No. 57. P. 137-147.

13. Shilova A.A. Computational and experimental studies of the area of sustainable combustion of natural gas with air / N.L. Bachev, R.V. Bulbovich // Perm, Bulletin of PNRPU. Aerospace engineering. 2021. No. 66. S. 47-55.

14. Shilova A.A. Influence of the composition and parameters of the supply of petroleum gas on the limits of combustion in the utilization combustion chamber / A.A. Shilova, R.V. Bulbovich, N.L. Bachev, O.O. Matyunin // Perm, Bulletin of PNRPU. Aerospace engineering. 2020. No. 60. P. 64 – 71.

15. Betinskaya O.A. Organization of the working process in the universal combustion chamber of a gas turbine plant for the utilization of associated petroleum gas: dis. ... cand. tech. Sciences: 05.04.12. – Perm, 2017. – 146 p.

### Об авторах

**Мингазов Биал Галавtdинович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (420111, Казань, ул. К. Маркса, 10, e-mail: BGMingazov@kai.ru).

**Мухин Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, главный конструктор по перспективным разработкам и специальным характеристикам, Опытно-конструкторское бюро имени А. Люльки (филиал ОДК УМПО) (129301, Москва, ул. Касаткина, 13, e-mail: andrey.muhin@okb.umpo.ru).

**Мухаметгалиев Тимур Хатипович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (420111, Казань, ул. К. Маркса, 10, e-mail: timcool@bk.ru).

### About the authors

**Bilal G. Mingazov** (Kazan, Russia Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Jet Engines and Power Plants, Kazan National Research Technical University Named after A.N. Tupolev – KAI (10, Karl Marx str., 420111, Kazan, e-mail: BGMingazov@kai.ru).

**Andrey N. Mukhin** (Moscow, Russia Federation) – Candidate of Technical Sciences, Chief Designer for Advanced Development and Special Characteristics of Experimental Design Bureau named after A. Lyulka (branch of UEC-UMPO) (13 Kasatkina str., 129301, Moscow, e-mail: andrey.muhin@okb.umpo.ru).

**Timur Kh. Mukhametgaliev** (Kazan, Russia Federation) – Candidate of Technical Sciences, Assistant of Department of Jet Engines and Power Plants, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI (10, Karl Marx str., 420111, Kazan, e-mail: timcool@bk.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 30.05.2022

Одобрена: 20.06.2022

Принята к публикации: 05.12.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Мингазов, Б.Г. Исследование смешения двухфазной топливно-воздушной струи во встречном потоке / Б.Г. Мингазов, А.Н. Мухин, Т.Х. Мухаметгалиев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 71. – С. 26–32. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.70.03

Please cite this article in English as: Mingazov B.G., Muhin A.N., Mukhametgaliev T.Kh. The prediction of nozzle admittance using finite elements method. PNRPU Aerospace Engineering Bulletin, 2022, no. 71, pp. 26-32. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.70.03