

Энергетика и электротехника

УДК 683.878.2

Разработка формулы и методики расчета температуры стенок внутренних каналов мультитопливной форсунки в зависимости от числа теплообменных единиц

К.В. Алтунин

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева — КАИ

Development of equation and method for computing the multi-fuel nozzle inner fuel channel temperature depending on the number of heat exchangers

K.V. Altunin

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI

Предложена методика расчета температуры стенок внутренних каналов мультитопливной форсунки с учетом числа теплообменных единиц. Выяснено, что снижение температуры металлической стенки форсунки, работающей на жидких углеводородных горючих, может не только затормозить дальнейшее осадкообразование, но и предотвратить появление углеродсодержащих осадков. Выполнен анализ научно-технической информации и патентный поиск по мультитопливным форсункам. Получена новая формула для расчета температуры внутренней поверхности мультитопливной форсунки в зависимости от числа теплообменных единиц, массовых расходов углеводородных горючих, теплоносителей и других параметров. Проведена теоретическая апробация новой формулы, в результате которой доказано, что мультитопливные форсунки более эффективны, чем однопаливные, которые охлаждаются хуже и имеют меньший ресурс. На основе новой формулы разработана новая методика расчета температуры стенок внутренних каналов мультитопливной форсунки в зависимости от числа теплообменных единиц.

EDN: JZYDDI, <https://elibrary/jzyddi>

Ключевые слова: мультитопливная форсунка, углеводородное горючее, массовый расход теплоносителей, температура стенок

The paper proposes a method for computing the heat temperature of the multi-fuel injector internal channel walls taking into account the number of heat exchangers. It was found that a decrease in temperature of the nozzle metal wall operating on liquid hydrocarbon fuel could not only inhibit further sedimentation, but also prevent appearance of the carbon-bearing precipitation. Scientific and technical information was analyzed and a patent search was conducted for the multi-fuel injectors. A new formula was obtained for computing the

temperature of the multi-fuel injector internal surface depending on the number of heat exchangers, hydrocarbon carbon fuel and coolant mass flow rates, as well as on the other parameters. The new formula was theoretically tested; as a result, it was proven that multi-fuel injectors were more efficient than the single-fuel injectors were, as they were cooling worse and had a shorter resource. Based on the new formula, a new method was developed for computing the temperature of the multi-fuel injector internal channel walls depending on the number of heat exchangers.

EDN: JZYDDI, <https://elibrary/jzyddi>

Keywords: multi-fuel injector, hydrocarbon fuel, coolant, wall temperature

Форсунка — специальный насадок, обеспечивающий такой режим истечения горючей смеси, при котором струя на выходе распадается на мелкие капли [1]. Помимо основного назначения — приготовления горючей смеси в камере сгорания и газогенераторе — форсунки одновременно являются элементами реактивного двигателя как сложной динамической системы, работая в условиях изменяющихся параметров системы топливоподачи в камеру сгорания.

Если форсунки работают на жидких углеводородных горючих (УВГ), то на нагретых металлических поверхностях топливных каналов при температуре 373,15 К (100 °С) и более образуются углеродсодержащие осадки. Осадкообразование на металлических стенках топливных

каналов — сложные теплофизические и электрохимические процессы, зависящие от многих факторов, главным из которых является температура [2–5].

Ресурс форсунок прямо пропорционально влияет на ресурс двигателя, например воздушно-реактивного (ВРД). Таким образом, необходимо повышать не только вероятность безотказной работы форсунок, но и их наработку до полного выхода из строя. Как показывает практика, однотопливные форсунки (ОТФ), работающие на жидких УВГ, имеют ограниченный ресурс и выходят из строя вследствие закоксовывания только одного элемента (распылителя или фильтра), в то время как остальные элементы еще не исчерпали ресурс.

В настоящее время перспективным направлением является создание новых конструктивных схем мультитопливных форсунок (МТФ) [6–16], одна из которых показана на рис. 1 [16].

Теоретически доказано, что МТФ могут работать эффективнее, чем ОТФ [17, 18].

Цель статьи — разработка формулы и методики расчета температуры стенок внутренних каналов ОТФ и МТФ с учетом теплообменных единиц.

Новая формула для расчета температуры внутренней стенки МТФ. Ранее были получены формулы для приближенного расчета температуры внутренней стенки ОТФ, охлаждаемой жидкими УВГ, например керосином ТС-1 или Т-6, а также для вычисления температуры стенок внутренних каналов МТФ [17, 18].

Чтобы более точно рассчитать тепловые процессы на базе известных формул [19], для вынужденной конвекции теплоносителя (ТН) созданы новые формула и методика уточненного расчета температуры стенок внутренних каналов МТФ не только для жидких и газообразных УВГ, но и для других неуглеводородных ТН.

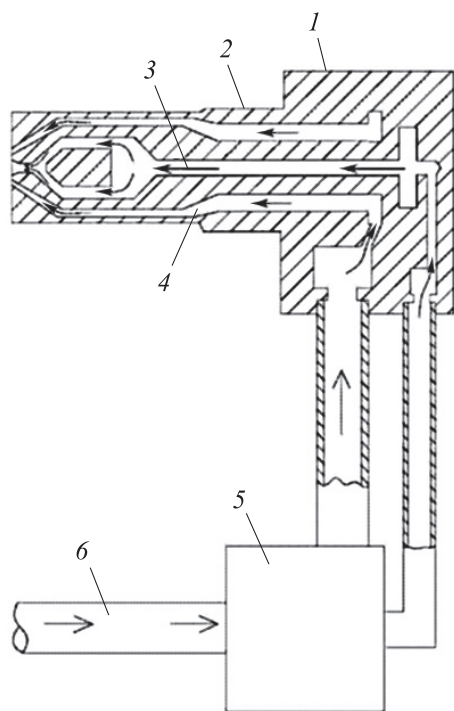


Рис. 1. Конструктивная схема МТФ:
1 и 2 — МТФ и ее тело; 3 и 4 — первый и второй топливные каналы; 5 — аппарат распределения топлива;
6 — топливоподводящие каналы

Рассмотрим существующие формулы [19] для расчета температуры ТН на выходе из канала при вынужденной конвекции:

$$T_{fe} = T_{fi} + \frac{qF_{\text{вн}}}{G_f C_{pf}}; \quad (1)$$

$$T_{fe} = T_{w \text{ вн}} - (T_{w \text{ вн}} - T_{fi}) e^{-NTU}. \quad (2)$$

Здесь T_{fi} — температура ТН на входе в канал, К; q — плотность теплового потока, Вт/м²; $F_{\text{вн}}$ — площадь внутренней поверхности канала, м²; G_f — массовый расход ТН, кг/с; C_{pf} — удельная массовая теплоемкость ТН, Дж/(кг·К); $T_{w \text{ вн}}$ — температура внутренней стенки канала, К; NTU — число теплообменных единиц (Number of Thermal Units), определяющее эффективность теплообменных систем [19],

$$NTU = \frac{\alpha F_{\text{вн}}}{G_f C_{pf}}, \quad (3)$$

где α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К).

Если $NTU > 5$, то температура ТН на выходе из канала становится практически равной температуре поверхности этого канала (при постоянной внешней температуре стенки). При $NTU = 5$ достигается предел теплоотдачи, и она перестает возрастать при дальнейшем увеличении длины канала [19].

Формулу (1) применяют при постоянной плотности теплового потока q ($q = \text{const}$), а формулу (2) — при постоянной температуре внутренней стенки канала ($T_{w \text{ вн}} = \text{const}$).

Упрощенно плотность теплового потока через стенку определяется как

$$q = \lambda_w \Delta T / \delta, \quad (4)$$

где λ_w — коэффициент теплопроводности стенки форсунки, Вт/(м·К), ΔT — разность между температурами наружной $T_{w \text{ н}}$ и внутренней $T_{w \text{ вн}}$ стенок форсунки, К; δ — толщина стенки форсунки, м.

Подставляя выражение (4) в формулу (1) и приравнявая ее к уравнению (2), получаем следующую формулу для расчета температуры стенки одного внутреннего канала ОТФ или МТФ:

$$T_{w \text{ вн}} = \frac{T_{fi} (1 - e^{-NTU}) + \frac{\lambda_w F_{\text{вн}} T_{w \text{ н}}}{\delta G_f C_{pf}}}{1 - e^{-NTU} + \frac{\lambda_w F_{\text{вн}}}{\delta G_f C_{pf}}}. \quad (5)$$

Тепловой поток, поступающий на форсунку извне, определяем как

$$Q_s = \sum_{i=1}^n G_{fi} C_{pfi} (T_{fei} - T_{fii}) + Q_{\text{т.п}} + Q_{\text{ост}}, \quad (6)$$

где G_{fi} — массовый расход i -го ТН, кг/с; C_{pfi} — удельная массовая теплоемкость i -го ТН, Дж/(кг·К); T_{fei} и T_{fii} — температура i -го ТН на выходе из форсунки и на входе в нее, К; $Q_{\text{т.п}}$ — тепловые потери, Вт; $Q_{\text{ост}}$ — остаточная теплота (например, затрачиваемая на нагрев металла форсунки).

Апробация новой формулы для расчета температуры внутренней стенки МТФ. Проведен теоретический расчет температуры внутренних стенок топливных каналов ОТФ и двухтопливной форсунки (ДТФ) ВРД одинаковой массы и материала при условии постоянства двух параметров: температуры внутренней поверхности стенки топливных каналов форсунок $T_{w \text{ вн}}$ на всем протяжении каждого топливного канала и плотности теплового потока q .

В качестве ТН каждого канала ОТФ и ДТФ выступал бензин ТС-1. Каналы ДТФ и имели одни и те же размеры, что и канал ОТФ: гидравлический диаметр $d_r = 0,01$ м и площадь внутренней поверхности $F_{\text{вн}} = 0,005$ м². Сухая масса форсунок $M_{\text{ф}} = 0,25$ кг, толщина стенок $\delta = 0,003$ м, удельная теплоемкость материала (стали) $C_m = 500$ Дж/(кг·К), давление ТН $p = 1,0$ МПа. Температуры всех ТН на входе в форсунки $T_{fi} = 333$ К. Для ОТФ температура внешней поверхности $T_{w \text{ вн}} = 399...793$ К, для ДТФ — $T_{w \text{ вн}} = 371...673$ К.

По средней температуре ТН внутри нагретых форсунок выбирали удельную массовую теплоемкость, плотность, коэффициенты теплопроводности и кинематической вязкости в каждом канале. Расход керосина ТС-1 G_f варьировали, вследствие чего изменяли коэффициент теплоотдачи α .

Результаты расчета — зависимости температуры внутренней стенки каналов ОТФ и ДТФ от массового расхода керосина ТС-1 при постоянной плотности теплового потока, поступающего к форсункам извне, $q_s = 1,5 \cdot 10^6$ Вт/м² — приведены на рис. 2. Там же показана граница осадкообразования (линия 4). Видно, что поверхности стенок каналов ДТФ можно охладить до температуры $t = 100$ °С: в первом канале при массовом расходе керосина ТС-1 $G_f = 0,053$ кг/с, во втором — при $G_f = 0,035$ кг/с,

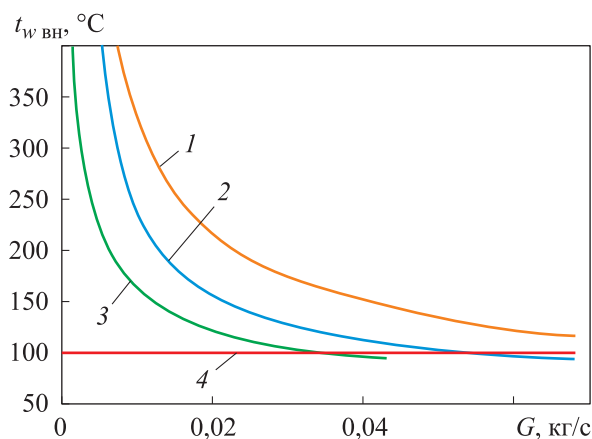


Рис. 2. Зависимости температуры внутренней стенки $t_{w_{вн}}$ канала от массового расхода керосина ТС-1 G при плотности теплового потока $q_s = 1,5 \cdot 10^6$ Вт/м²: 1 — ОТФ; 2 и 3 — первого и второго канала ДТФ соответственно

$NTU < 5$. Для ОТФ необходимы большие значения массового расхода ТН.

Проведен расчет энергозатрат на перекачку ТН, который показал, что в случае ОТФ и ДТФ требуется примерно одинаковое количество энергии. Анализ данных, приведенных на рис. 2, позволяет заключить, что при одних и тех же значениях массы форсунок и плотности теплового потока, поступающего к ним извне, эффективность охлаждения форсунки с одновременным применением двух ТН будет выше, чем с использованием одного ТН.

Также форсунку можно более эффективно охлаждать различными способами интенсификации теплообмена, например электрической конвекцией [20], так как коэффициент теплоотдачи α входит в состав формул (3) и (5).

Методика расчета температуры внутренней стенки МТФ. На базе формулы (5) создана новая методика расчета температуры внутренней стенки МТФ, включающая в себя следующие этапы:

1) разработка конструктивной схемы МТФ; нахождение длины, площади поперечного сечения и площади внутренней поверхности каждого канала; определение общей площади внешней поверхности корпуса форсунки;

2) выбор металлического сплава, расчет сухой массы МТФ;

3) задание массового расхода ТН G_{fi} и их начальных температур T_{fi} на входе в форсунку;

4) задание коэффициента теплопроводности материала стенки форсунки λ_w , толщины

стенки δ_i и площади внутренней поверхности $F_{вн i}$ каждого канала;

5) первоначальное задание некоторых теплофизических свойств ТН, включая плотность, динамическую или кинематическую вязкость, коэффициент теплопроводности ТН по примерной средней температуре T_m и давлению p ТН в каждом канале;

6) задание постоянной плотности теплового потока q_s , поступающей на МТФ извне, вычисление суммарного теплового потока Q_s ;

7) создание таблиц расчета со столбцом расходов ТН с определенным шагом; вычисление гидравлических диаметров каналов $d_{гi}$ и скорости течения ТН внутри w_i ;

8) расчет необходимых чисел подобия для всех расходов ТН G_f в каждом канале, включая числа Рейнольдса Re и Прандтля Pr ; определение режима течения ТН; нахождение числа Нуссельта Nu , коэффициента теплоотдачи α и числа теплообменных единиц NTU в каждом случае;

9) предварительное задание значений температуры наружной стенки $T_{wн}$; вычисление температуры внутренней стенки $T_{w_{вн}}$ по формуле (5); расчет температуры ТН на выходе из канала с учетом NTU ;

10) составление теплового баланса, например, по формуле (6);

11) задание значений температуры $T_{wiн}$ для каждого ТН так, чтобы соблюдался тепловой баланс для МТФ; расчет итоговых значений температуры $T_{wi_{вн}}$ по формуле (5) и температуры T_{fei} по выражению (2);

12) перерасчет, начиная с п. 4, где необходимо пересчитать значения параметров теплофизических свойств каждого ТН по средней температуре ТН, используя полученные значения T_{fei} .

Предложенную методику можно применять для анализа и тепловых расчетов не только МТФ, но и ОТФ, а также для ОТФ с рубашкой наружного охлаждения корпуса (например, при создании ОТФ ВРД с рубашкой охлаждения).

Выводы

1. Разработана новая формула для расчета температуры на внутренней поверхности ОТФ и МТФ с учетом числа теплообменных единиц.

2. На базе этой формулы создана новая методика теоретического определения температуры внутри каждого канала МТФ, которую можно эффективно применять при создании новых

форсунок для различных существующих и перспективных реактивных двигателей.

3. Теоретически доказано, что форсунки, работающие на нескольких горючих и ТН, лучше

охлаждаются, вследствие чего меньше подвержены осадкообразованию и обладают большим ресурсом.

Литература

- [1] Хавкин Ю.И. *Центробежные форсунки*. Ленинград, Машиностроение, 1976. 168 с.
- [2] Большаков Г.Ф. *Физико-химические основы образования осадков в реактивных топливах*. Ленинград, Химия, 1972. 232 с.
- [3] Алтунин В.А. *Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многофазового использования*. Кн. 1. Казань, КГУ им. В.И. Ульянова-Ленина, 2005. 272 с.
- [4] Яновский Л.С., Иванов В.Ф., Галимов Ф.М. и др. *Коксоотложения в авиационных и ракетных двигателях*. Казань, Абак, 1999. 284 с.
- [5] Алтунин К.В. Пути совершенствования жидкостных форсунок ВРД. *Мат. межд. молодеж. научн. конф. Туполевские чтения*. Т. 1. Казань, КГТУ им. А.Н. Туполева, 2008, с. 234–235.
- [6] Ramier S.A., Barve V.V., Thackway R.L. et.al. *Multi-functional fuel nozzle with a heat shield*. Patent WO 2016024975. Appl. 04.08.2014, publ. 18.02.2016.
- [7] Малыгина М.В. Численное исследование многотопливного горелочного модуля камеры сгорания ГТУ. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*, 2011, № 3–1, с. 143–150.
- [8] Мурашев П.М. *Многотопливная форсунка для газотурбинных двигателей и установок*. Патент РФ 110818. Заявл. 29.06.2011, опубл. 27.11.2011.
- [9] Бурдыкин В.Д., Козлов В.Г., Кондрашова Е.В. *Многотопливная форсунка*. Патент РФ 166189. Заявл. 09.03.2016, опубл. 20.11.2016.
- [10] Мальчук В.И., Шатров М.Г., Кудряшов Б.А. и др. *Форсунка для подачи двух видов топлива в дизельный двигатель*. Патент РФ 2541674. Заявл. 31.12.2013, опубл. 20.02.2015.
- [11] Стасюк А.В., Калашник Н.Н., Приладышев Д.Ю. и др. *Форсунка двухтопливная «газ плюс жидкое топливо»*. Патент РФ 2578785. Заявл. 27.10.2014, опубл. 27.03.2016.
- [12] Wang R., Zhang L., He Y. et al. *Multi-fuel nozzle for micro gas turbine*. Patent CN 110822481. Appl. 24.05.2019, publ. 21.02.2020.
- [13] Fox T.A., Terdalkar S., Bartley R.H. et al. *Dual stage multi-fuel nozzle including a flow-separating wall with a slip-fit joint background*. Patent WO 2017018992. Appl. 24.07.2015, publ. 02.02.2017.
- [14] Woerz U., Wu J. *Improved multi-fuel injection nozzle*. Patent PL 2742290. Appl. 09.07.2012, publ. 31.03.2016.
- [15] Wei B. *Multi-fuel combustion nozzle with local aerating and combusting supporting functions realized by using fuel oil, fuel gas and enriched oxygen*. Patent CN 202303393. Appl. 14.09.2011, publ. 04.07.2012.
- [16] Zhang J., Hu B. *A kind of multi fuel nozzle, fuel spray system and its turbogenerator*. Patent CN 107166435. Appl. 07.07.2017, publ. 15.09.2017.
- [17] Алтунин К.В. Разработка методики расчета температуры внутренней стенки мультитопливной форсунки с целью предотвращения осадкообразования и перегрева. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 6, с. 37–47, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2021-6-37-47>
- [18] Алтунин К.В. Разработка методики расчета температуры внутренней стенки мультитопливной форсунки с учетом плотности теплового потока. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, № 12, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-12-2238>
- [19] Cengel Y.A. *Heat transfer*. McGraw-Hill, 2007. 901 p.
- [20] Болога М.К., Семенов К.Н., Бурбуля Ю.Т. *Теплообмен при вынужденном движении жидкостей в электрическом поле*. В: Тепло- и массоперенос. Т. 1, ч. 1. Минск, Ин-т тепло- и массообмена АН БССР, 1972, с. 307–311.

References

- [1] Khavkin Yu.I. *Tsentrobeznyye forsunki* [Centrifugal nozzles]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1976. 168 p. (In Russ.).
- [2] Bolshakov G.F. *Fiziko-khimicheskie osnovy obrazovaniya osadkov v reaktivnykh toplivakh* [Physico-chemical bases of sludge formation in jet fuels]. Leningrad, Khimiya Publ., 1972. 232 p. (In Russ.).
- [3] Altunin V.A. *Issledovanie osobennostey teplootdachi k uglevodorodnym goryuchim i okhladitelyam v energeticheskikh ustanovkakh mnogorazovogo ispolzovaniya*. Kn. 1 [Investigation of heat dissipation peculiarities to hydrocarbon fuels and coolants in reusable power plants. Vol. 1.]. Kazan, KGU im. V.I. Ulyanova-Lenina Publ., 2005. 272 p. (In Russ.).
- [4] Yanovskiy L.S., Ivanov V.F., Galimov F.M. et al. *Koksootlozheniya v aviatsionnykh i raketnykh dvigatelyakh* [Coke deposits in aviation and rocket engines]. Kazan, Abak Publ., 1999. 284 p. (In Russ.).
- [5] Altunin K.V. [Ways of improvement of liquid nozzles of aircraft and rocket engines]. *Mat. mezhd. molodezh. nauchn. konf. Tupolevskie chteniya*. T. 1 [Proc. Int. Youth Conf. Tupolev Readings. Vol. 1]. Kazan, KGTU im. A.N. Tupoleva Publ., 2008, pp. 234–235. (In Russ.).
- [6] Ramier S.A., Barve V.V., Thackway R.L. et.al. *Multi-functional fuel nozzle with a heat shield*. Patent WO 2016024975. Appl. 04.08.2014, publ. 18.02.2016.
- [7] Malygina M.V. Numerical investigation multifuel combustion gas turbine combustion chamber module. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta*, 2011, no. 3–1, pp. 143–150. (In Russ.).
- [8] Murashev P.M. *Mnogotoplivnaya forsunka dlya gazoturbinnnykh dvigateley i ustanovok* [Multi-fuel nozzle for gas turbine engines and installations]. Patent RU 110818. Appl. 29.06.2011, publ. 27.11.2011. (In Russ.).
- [9] Burdykin V.D., Kozlov V.G., Kondrashova E.V. *Mnogotoplivnaya forsunka* [Multifuel nozzle]. Patent RU 166189. Appl. 09.03.2016, publ. 20.11.2016. (In Russ.).
- [10] Malchuk V.I., Shatrov M.G., Kudryashov B.A. et al. *Forsunka dlya podachi dvukh vidov topliva v dizelnyy dvigatel* [Nozzle to feed two fuels into diesel]. Patent RU 2541674. Appl. 31.12.2013, publ. 20.02.2015. (In Russ.).
- [11] Stasyuk A.V., Kalashnik N.N., Priladyshv D.Yu. et al. *Forsunka dvukhtoplivnaya «gaz plyus zhidkoe toplivo»* [Double fuel atomiser "gas plus fuel oil"]. Patent RU 2578785. Appl. 27.10.2014, publ. 27.03.2016. (In Russ.).
- [12] Wang R., Zhang L., He Y. et al. *Multi-fuel nozzle for micro gas turbine*. Patent CN 110822481. Appl. 24.05.2019, publ. 21.02.2020.
- [13] Fox T.A., Terdalkar S., Bartley R.H. et al. *Dual stage multi-fuel nozzle including a flow-separating wall with a slip-fit joint background*. Patent WO 2017018992. Appl. 24.07.2015, publ. 02.02.2017.
- [14] Woerz U., Wu J. *Improved multi-fuel injection nozzle*. Patent PL 2742290. Appl. 09.07.2012, publ. 31.03.2016.
- [15] Wei B. *Multi-fuel combustion nozzle with local aerating and combusting supporting functions realized by using fuel oil, fuel gas and enriched oxygen*. Patent CN 202303393. Appl. 14.09.2011, publ. 04.07.2012.
- [16] Zhang J., Hu B. *A kind of multi fuel nozzle, fuel spray system and its turbogenerator*. Patent CN 107166435. Appl. 07.07.2017, publ. 15.09.2017.
- [17] Altunin K.V. Development of a technique for calculating the temperature of the multi-fuel nozzle inner wall in order to prevent sedimentation and overheating. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2021, no. 6, pp. 37–47, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2021-6-37-47> (in Russ.).
- [18] Altunin K.V. Development of a method for temperature calculation of the multi-fuel nozzle inner wall based on heat flux. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2022, no. 12, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-12-2238> (in Russ.).
- [19] Cengel Y.A. *Heat transfer*. McGraw-Hill, 2007. 901 p.

- [20] Bologa M.K., Semenov K.N., Burbulya Yu.T. Teploobmen pri vyzhdenom dvizhenii zhidkostey v elektricheskom pole [Heat transfer during forced motion of liquids in an electric field]. V: *Teplo- i massoperenos*. T. 1, ch. 1 [In: Heat and mass transfer. Vol. 1, p. 1]. Minsk, In-t teplo- i massoobmena AN BSSR Publ., 1972, pp. 307–311. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 26.09.2023

Информация об авторе

АЛТУНИН Константин Витальевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение». Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева — КАИ 420111, Казань, Российская Федерация, ул. К. Маркса, д. 10, e-mail: altkonst881@yandex.ru).

Information about the author

ALTUNIN Konstantin Vitalievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Heat and Power Engineering Department. Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI (420111, Kazan, Russian Federation, K. Marx St., Bldg. 10, e-mail: altkonst881@yandex.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Алтунин К.В. Разработка формулы и методики расчета температуры стенок внутренних каналов мультитопливной форсунки в зависимости от числа теплообменных единиц. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 4, с. 70–76.

Please cite this article in English as:

Altunin K.V. Development of equation and method for computing the multi-fuel nozzle inner fuel channel temperature depending on the number of heat exchangers. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 4, pp. 70–76.



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана предлагает читателям учебное монографию «Теоретические основы реконструкции и технического перевооружения промышленных предприятий»

Авторы: Г.Э. Ганина, Ю.А. Островский, А.П. Яковлева

Рассмотрены составляющие гармоничной производственной системы путем анализа проблем гармоничности (или гармонии) в естественных и искусственных системах через раскрытие роли творчества в формировании инновационного продукта совместной деятельности; анализа вопросов использования ресурсов; анализа средств автоматизации в построении инновационного производства.

Для проектировщиков машиностроительных предприятий; специалистов, занимающихся вопросами реконструкции промышленных предприятий и технического аудита; студентов, магистров и аспирантов, изучающих организацию производства, и широкого круга специалистов, увлеченных идеями гармонизации промышленного производства.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>