

Авиационная и ракетно-космическая техника

УДК 532.5: 536.24

doi: 10.18698/0536-1044-2022-9-85-91

Двухконтурный рекуперативный теплообменный аппарат с межканальным движением теплоносителя в металлических сетчатых материалах

Ф.В. Пелевин, А.В. Пономарев, И.В. Лоханов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Dual-Circuit Recuperator Featuring Interchannel Coolant Movement within Metal Meshes

F.V. Pelevin, A.V. Ponomarev, I.V. Lokhanov

Bauman Moscow State Technical University

Рассмотрен двухконтурный рекуперативный теплообменный аппарат, построенный на принципе межканального движения теплоносителя (МКДТ) сквозь пористый металлический сетчатый материал (МСМ). Схема МКДТ и МСМ, изготовленный диффузионно-вакуумной сваркой тканых металлических сеток, являются основой для создания компактных высокоэффективных рекуперативных теплообменников летательных аппаратов. Применение пористых МСМ с хорошо развитой поверхностью теплообмена и переход от традиционного продольно-канального движения теплоносителя к межканальному движению сквозь МСМ позволяет работать при малых числах Рейнольдса и максимальной эффективности теплообмена. Принцип МКДТ в сочетании с межсеточным движением теплоносителя в МСМ позволяет создать высокоэффективный пористый теплообменный тракт, а на его основе рекуперативный теплообменный аппарат с МКДТ, эффективность теплообмена которого больше, чем у лучших орбренных теплообменных аппаратов.

Ключевые слова: межканальное движение теплоносителя, металлический сетчатый материал, совершенство теплообменной поверхности

The paper considers a dual-circuit recuperator using the principle of interchannel movement of coolant through a porous metal mesh. This interchannel coolant movement schematic and the metal mesh manufactured via vacuum diffusion welding of woven metal meshes form the basis for developing compact high-performance recuperators for aircraft. Employing porous metal mesh materials characterised by a well-developed heat exchange surface and transitioning from conventional longitudinal coolant movement within channels to interchannel coolant movement through metal meshes are the factors that ensure operation at low Reynolds numbers and maximum heat exchange efficiency. The principle of interchannel coolant movement combined with the intermesh coolant movement within the metal mesh yields a highly efficient porous heat exchange path, leading in turn to devel-

oping a recuperator featuring interchannel coolant movement that will enable greater heat exchange efficiency than that provided by the best finned heat exchangers.

Keywords: interchannel coolant movement, metal mesh material, heat exchange surface ideality

Разработчики рекуперативных теплообменников летательных аппаратов постоянно решают задачу, направленную на уменьшение их массы и габаритных размеров путем увеличения коэффициента теплопередачи.

Один из эффективных методов интенсификации теплообмена базируется на использовании металлических сетчатых материалов (МСМ) в рекуперативных теплообменных устройствах (РТА) [1]. Известно, что для МСМ характерны самые большие поверхности теплообмена и чрезвычайно высокая интенсивность объемного теплообмена между высокотеплопроводной проницаемой пористой матрицей и протекающим сквозь нее теплоносителем [2, 3].

В тракте с МСМ теплота передается не за счет конвективного теплообмена, как в гладком или оребренном тракте, а благодаря теплопроводности через металлический каркас пористого сетчатого материала и далее — теплоносителю вследствие высокой объемной теплоотдачи в порах. Чем больше теплопроводность и внутренняя поверхность пористого МСМ, тем большие объемы пористого материала и теплоносителя участвуют в процессе теплообмена.

Цель работы — создание высокоэффективного РТА с межканальным движением теплоносителя в МСМ.

Принцип межканального движения теплоносителя (МКДТ) в сочетании с его межсеточ-

ным движением в МСМ [4–6] позволяет создать высокоэффективный пористый теплообменный тракт, а на его основе — РТА с МКДТ, обладающий большей эффективностью теплообмена, чем лучшие оребренные РТА [7].

МСМ активно применяют в жидкостных ракетных двигателях космического назначения в качестве фильтров, капиллярно-заборных устройств [8], а также при изготовлении проницаемых огневых днищ смесительных головок камер сгорания [9].

Схема движения теплоносителя сквозь МСМ в цилиндрическом теплообменном тракте с МКДТ показана на рис. 1.

Теплоноситель из подводящего коллектора 1 поступает в подводящие каналы 6, продольно расположенные в осесимметричной наружной оболочке 2 тракта, заполняет их и под действием перепада давления движется сквозь МСМ 4 в соседние отводящие каналы 7. При этом внутренняя оболочка 3 и торцы каналов непроницаемы. Из отводящих каналов теплоноситель поступает в сборный коллектор 5.

Подводящие и отводящие каналы чередуются и расположены симметрично относительно друг друга. Изменяя число каналов, можно добиться приемлемых потерь давления и скоростей движения теплоносителя, не увеличивая толщину МСМ. Расстояние между подводящими и отводящими каналами может быть соиз-

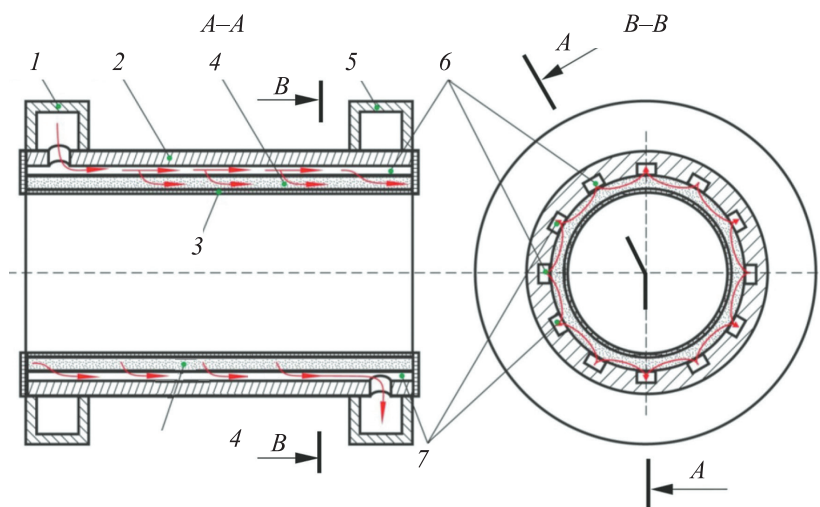


Рис. 1. Схема движения теплоносителя сквозь МСМ в цилиндрическом теплообменном тракте с МКДТ

меримо с толщиной пористого металлического материала δ (шириной кольцевой щели).

Модифицированное уравнение Дарси [2] имеет вид

$$-dp/dZ = \alpha\mu w + \beta\rho w^2,$$

где p — давление; Z — координата (путь движения теплоносителя l); α и β — вязкостный и инерционный коэффициент сопротивления МСМ; μ — коэффициент динамический вязкости теплоносителя; w — скорость движения теплоносителя; ρ — плотность теплоносителя.

Из модифицированного уравнения Дарси следует, что для снижения потерь давления в пористом теплообменном тракте необходимо уменьшать скорость движения теплоносителя (в 10 раз и более), сокращать путь его движения сквозь МСМ и уменьшать коэффициенты сопротивления МСМ.

При переходе от одномерного продольно-канального движения теплоносителя (ПКДТ) в кольцевом тракте длиной L и шириной δ , заполненном МСМ [1], к МКДТ путь движения теплоносителя сквозь МСМ l уменьшается в L/l раз.

Если $L \gg l$, то затраты мощности на прокачку теплоносителя сквозь МСМ в тракте с МКДТ будут несоизмеримо малы по сравнению с затратами мощности при одномерном ПКДТ сквозь кольцевой щелевой канал, заполненный МСМ.

При этом площадь проходного сечения тракта с МКДТ $F_{\text{пр}}^{\text{МКДТ}}$ не будет равна площади кольцевого канала, заполненного МСМ, как при ПКДТ:

$$F_{\text{пр}}^{\text{МКДТ}} = N_k L \delta,$$

где N_k — число подводящих и отводящих каналов.

Важным достоинством тракта с МКДТ является то, что возрастание площади его проходного сечения связано не с увеличением поперечного габарита δ , а с большим числом подводящих и отводящих каналов N_k .

Увеличение площади проходного сечения тракта с МКДТ по сравнению с таковой с кольцевым трактом при ПКДТ $F_{\text{пр}}^{\text{ПКДТ}}$ определяется выражением

$$F_{\text{пр}}^{\text{МКДТ}} = \frac{L\delta\pi d_{\text{ср}}}{l} = \frac{L}{l} F_{\text{пр}}^{\text{ПКДТ}},$$

где $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр вставки из металлического сетчатого материала.

Увеличение $F_{\text{пр}}^{\text{МКДТ}}$ при заданном расходе и плотности теплоносителя приводит к уменьшению его скорости движения.

Таким образом, без увеличения габаритов в тракте с МКДТ уменьшается путь движения теплоносителя сквозь МСМ l и его скорость движения w , что, согласно уравнению Дарси, приводит к снижению гидравлических потерь.

Скорость движения теплоносителя в МСМ при МКДТ определяется выражением

$$w^{\text{МКДТ}} = \left[\left(\frac{\mu\alpha}{2\beta\rho} \right)^2 + \frac{\Delta p}{\beta\rho l} \right]^{0,5} - \frac{\mu\alpha}{2\beta\rho},$$

Δp — перепад давления теплоносителя.

При одинаковых значениях перепада давления, плотности теплоносителя и инерционных коэффициентов сопротивления МСМ скорость движения теплоносителя в турбулентном режиме возрастает:

$$w^{\text{МКДТ}}/w^{\text{ПКДТ}} = (L/l)^{0,5},$$

где $w^{\text{ПКДТ}}$ — скорость движения теплоносителя в МСМ при ПКДТ.

Это приведет к увеличению теплоотдачи в тракте с МКДТ по сравнению с трактом с ПКДТ сквозь МСМ.

Подтверждено [10], что при двумерном межсеточном движении теплоносителя в тракте с МКДТ уменьшаются вязкостный и инерционный коэффициенты сопротивления МСМ по сравнению с ортогональным одномерным ПКДТ с одинаковой пористостью МСМ.

Таким образом, применение диффузионно-вакуумной сварки фильтровых тканых металлических сеток (ГОСТ 3187–76) для изготовления МСМ [11, 12] и принципа МКДТ позволяют создать высокоэффективные пористые теплообменные тракты для компактных теплообменных аппаратов.

Известен одноконтурный РТА с МКДТ (рис. 2), предназначенный для случаев, когда один из теплоносителей имеет очень высокую температуру и движется по внутреннему гладкому тракту, а другой перемещается сквозь МСМ, охлаждая внутреннюю стенку гладкого тракта.

Для увеличения теплопередачи от горячего теплоносителя (ГТ) к холодному (ХТ) необходимо использовать двухконтурный РТА с МКДТ, конструктивная схема которого приведена на рис. 3. Две пористые осесимметричные оболочки 1 и 2, сквозь которые движутся ХТ и ГТ, соприкасаются между собой через высоко-

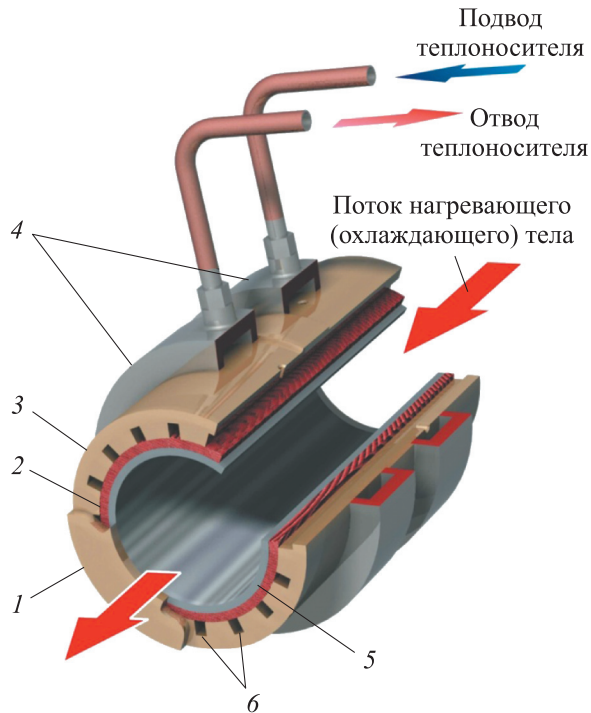


Рис. 2. Модель одноконтурного РТА с МКДТ:
1 — фланец; 2 — вставка из пористого МСМ; 3 — корпус;
4 — подводящий и отводящий коллекторы;
5 — внутренняя стенка; 6 — подводящие и отводящие каналы

теплопроводную непроницаемую стенку 3. Подводящие и отводящие каналы выполнены во внутренней и наружной оболочках РТА.

При проектировании РТА стремятся достичь наибольшего значения коэффициента теплопередачи, который, в свою очередь, зависит от коэффициентов теплоотдачи в трактах ГТ α_1 и ХТ α_2 . Применительно к трактам с МКДТ это означает, что значения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 должны быть максимальными.

Критериальное уравнение теплообмена для трактов с МКДТ [6] имеет вид

$$St = 0,57 Re^{-0,2} Pr^{-0,7} \epsilon_l \epsilon_\lambda.$$

Здесь St , Re и Pr — число Стентона, Рейнольдса и Прандтля соответственно; ϵ_l — коэффициент, учитывающий увеличение теплообмена на начальном участке тракта

$$\epsilon_l = 0,5945 + 4,279(\delta/l) + 3,86(\delta/l)^2 - 4,995(\delta/l)^3;$$

ϵ_λ — коэффициент, учитывающий теплопроводность МСМ,

$$\epsilon_\lambda = (\lambda/\lambda_{ст})^{0,4},$$

где $\lambda_{ст}$ и λ — коэффициент теплопроводности проволоки МСМ из (базовой) стали 12Х18Н10Т и любого другого материала (хромоникелевой

стали, хромистой бронзы, меди, никеля и др.) соответственно.

Из этого уравнения видно, что теплопроводность материала проволоки МСМ следует увеличивать.

Так как коэффициент ϵ_l учитывает начальный участок теплообмена

$$\epsilon_l = 0,5945 + 4,279(\delta/l) + 3,86(\delta/l)^2 - 4,995(\delta/l)^3,$$

получаем

$$\alpha_{1,2max} = 0,57 \epsilon_l \epsilon_\lambda d^{-0,2} (wr)^{0,8} \lambda^{0,7} c_p^{0,3} \mu^{-0,5},$$

где d — эквивалентный гидравлический диаметр тракта с МКДТ.

При двухконтурном РТА с МКДТ наблюдается максимально возможная теплопередача от ГТ к ХТ, так как коэффициенты теплоотдачи в обоих контурах максимальные.

Переход от ПКДТ к МКДТ в двух соосных сопряженных пористых металлических сетчатых трактах позволяет выровнять коэффициенты теплопередачи по длине РТА.

При определении схемы РТА возникает проблема выбора оптимальной конструкции теплообменной поверхности. Под оптимальной

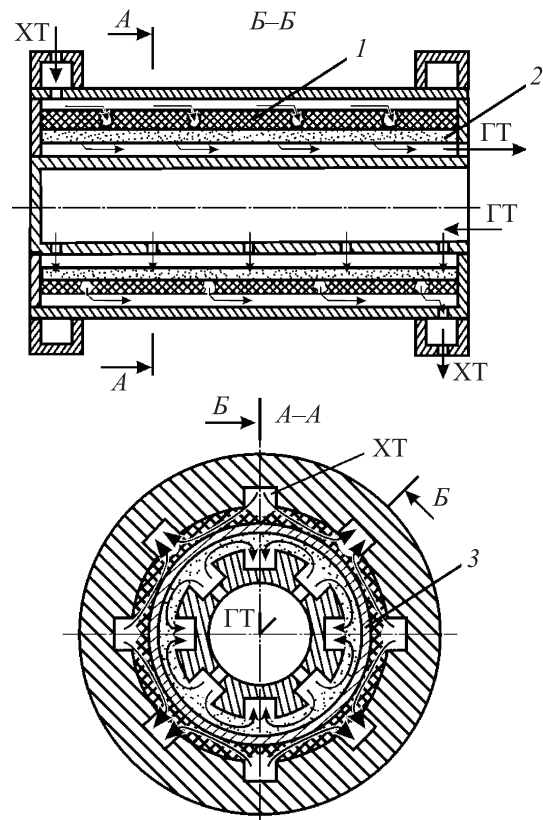


Рис. 3. Конструктивная схема двухконтурного РТА с МКДТ

поверхностью будем понимать такую конструкцию, в которой при минимальных массе и габаритных размерах осуществляется максимальная передача теплового потока Q с минимальными затратами энергии на прокачку теплоносителей.

Таким образом, совершенство теплообменной поверхности можно охарактеризовать отношением теплового потока Q через нее к мощности N , затраченной на прокачку теплоносителей:

$$E = Q/N.$$

Известно, что тепловой поток Q через поверхность теплопередачи F определяется выражением

$$Q = kF\Delta t_{cp},$$

где k — коэффициент теплопередачи; Δt_{cp} — усредненный по всей теплопередающей поверхности F температурный напор между ГТ и ХТ.

Для повышения коэффициента теплопередачи в РТА коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 должны быть максимально большими

$$k = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2} \right),$$

где $\delta_{ст}$ и $\lambda_{ст}$ — толщина и коэффициент теплопроводности теплопередающей стенки между двумя пористыми осесимметричными оболочками (см. рис. 3).

Очевидно, что при одинаковой тепловой производительности с увеличением коэффициента теплопередачи уменьшается площадь теплопередающей поверхности F , а, следовательно, и габаритные размеры РТА.

Энергетически выгоднее, чтобы процесс протекал при меньших скоростях движения теплоносителей (затратах на их прокачку), что и происходит в пористых трактах с МКДТ.

Эффективность РТА будет определяться рациональным распределением мощности на прокачку между двумя теплоносителями, при котором достигается максимальное значение коэффициента теплопередачи.

Поэтому эффективность теплообмена следует повышать не увеличением скорости движения теплоносителя, а развитием внутриспоровой поверхности теплообмена. Применение в РТА высокотеплопроводных пористых МСМ с хорошо развитой поверхностью теплообмена и переход от традиционного ПКДТ к МКДТ

сквозь МСМ позволяет работать при малых числах Рейнольдса и максимальной эффективности теплообмена [13]. Эффективность тракта с МКДТ особенно велика в диапазоне числа Рейнольдса $10^3 \dots 10^4$, так как при увеличении скорости движения теплоносителя растут гидравлические потери, а следовательно, уменьшается эффективность РТА.

При проектировании двухконтурных РТА с МКДТ следует придерживаться следующих практических рекомендаций:

- минимальное гидравлическое сопротивление в направлении движения теплоносителей;
- высокая теплопроводность МСМ в направлении теплового потока;
- высокая удельная прочность МСМ, необходимая для изготовления тонкостенных протяженных осесимметричных пористых оболочек;
- равномерная и стабильная проницаемость МСМ.

Толщина пористой вставки ($\delta = 2 \dots 5$ мм) зависит от коэффициента теплопроводности МСМ и увеличивается с ростом коэффициента теплопроводности материала проволок МСМ.

При этом для увеличения числа Стентона и, соответственно, коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 число каналов N_k должно соответствовать минимальному относительному пути движения теплоносителя l/δ сквозь МСМ.

Для достижения максимально возможной скорости в МСМ при заданном перепаде давления Δp необходимо уменьшать вязкостный и инерционный коэффициенты сопротивления пористого сетчатого металла (использовать МСМ с высокой пористостью из крупнопористых полотняных фильтровых сеток П60–П24).

Выводы

1. Принцип межканального межсеточного движения теплоносителя в МСМ позволяет создать теплообменный тракт с наибольшей эффективностью теплообмена, а на его основе РТА с МКДТ, обладающий большей эффективностью теплопередачи и меньшей массой по сравнению с лучшими оробренными РТА.

2. Высокие коэффициенты теплоотдачи в трактах с МКДТ достигаются при значительно меньших скоростях (числах Рейнольдса), чем у трактов с ПКДТ, что приводит к снижению гидравлических потерь.

Литература

- [1] Поляев В.М., Морозова Л.Л., Харыбин Э.В. Интенсификация теплообмена в кольцевом канале. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 1976, № 2, с. 86–89.
- [2] Поляев В.М., Майоров В.А., Васильев Л.Л. *Гидродинамика и теплообмен в пористых элементах конструкций летательных аппаратов*. Москва, Машиностроение, 1988. 168 с.
- [3] Зейгарник Ю.А., Иванов Ф.П. Обобщение опытных данных по внутреннему теплообмену в пористых структурах. *Теплофизика высоких температур*, 2010, т. 48, № 3, с. 402–408.
- [4] Пелевин Ф.В. Повышение эффективности теплообмена в пористых теплообменных трактах. *Тр. 1 РНКТ*. Т. 8. Москва, МЭИ, 1994, с. 168–171.
- [5] Леонтьев А.И., ред. *Научные основы технологий 21 века*. Москва, Энергомаш, 2000. 136 с.
- [6] Пелевин Ф.В. Теплообмен в металлических сетчатых материалах при межканальной транспирации и двумерном межсеточном движении теплоносителя. *Теплофизика высоких температур*, 2018, т. 56, № 2, с. 219–228, doi: <https://doi.org/10.7868/S0040364418020084>
- [7] Пелевин Ф.В., Ярославцев Н.Л., Викулин А.В. и др. Исследование эффективности теплообмена в компланарных каналах. *Теплоэнергетика*, 2015, № 3, с. 35–41, doi: <https://doi.org/10.1134/S004036361503008X>
- [8] Ягодников Д.А., Сапожников В.Б., Лоханов И.В. Экспериментальное и методическое обеспечение исследования гидродинамических процессов в топливных баках с капиллярными системами отбора криогенных компонентов. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*, 2017, № 1, с. 36–42.
- [9] Тимнат И. *Ракетные двигатели на химическом топливе*. Москва, Мир, 1990. 294 с.
- [10] Пелевин Ф.В., Пономарев А.В., Лоханов И.В. Исследование гидравлических характеристик перспективного тракта охлаждения ЖРД для двигательных установок космических аппаратов. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*, 2020, № 2, с. 82–87.
- [11] Капралов Б.П., Сигачев А.П. Новые возможности диффузионно-вакуумной технологии. *Производственно-технологический опыт*, 1981, № 11, с. 20–35.
- [12] Пелевин Ф.В. Диффузионно-вакуумная технология изготовления крупных осесимметричных узлов из металлических сетчатых материалов для теплообменных трактов. *Космическая техника и технологии*, 2021, № 4, с. 66–77.
- [13] Пелевин Ф.В., Пономарев А.В., Лоханов И.В. Экспериментальное исследование теплообмена при двумерном межсеточном движении теплоносителя в охлаждающем тракте камеры ЖРД двигательных установок перспективных КА. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*, 2020, № 3, с. 61–64.

References

- [1] Polyayev V.M., Morozova L.L., Kharybin E.V. Intensification of heat transfer in a ring channel. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 1976, no. 2, pp. 86–89. (In Russ.).
- [2] Polyayev V.M., Mayorov V.A., Vasil'yev L.L. *Gidrodinamika i teplotobmen v poristykh elementakh konstruktsiy letatel'nykh apparatov* [Hydrodynamics and heat transfer in porous elements of aircraft construction]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 168 p. (In Russ.).
- [3] Zeygarnik Yu.A., Ivanov F.P. Generalization of experimental data on internal heat transfer in porous structures. *Teplofizika vysokikh temperatur*, 2010, vol. 48, no. 3, pp. 402–408. (In Russ.). (Eng. version: *High Temp.*, 2010, vol. 48, no. 3, pp. 382–387, doi: <https://doi.org/10.1134/S0018151X10030120>)
- [4] Pelevin F.V. [Raising efficiency of heat transfer in porous heat exchanger circuit]. *Tr. 1 RNKT*. Т. 8 [Proc. 1st ENKT. Vol. 8]. Moscow, MEI Publ., 1994, pp. 168–171. (In Russ.).
- [5] Leont'yev A.I., ed. *Nauchnye osnovy tekhnologii 21 veka* [Scientific foundations of technologies in 21 century]. Moscow, Energomash Publ., 2000. 136 p. (In Russ.).
- [6] Pelevin F.V. Heat transfer in meshed metallic materials with interchannel transpiration and two-dimensional intermesh flow of a heat-transfer fluid. *Teplofizika vysokikh temperatur*,

- 2018, vol. 56, no. 2, pp. 219–228, doi: <https://doi.org/10.7868/S0040364418020084> (in Russ.). (Eng. version: *High Temp.*, 2018, vol. 56, no. 2, pp. 208–216, doi: <https://doi.org/10.1134/S0018151X18010133>)
- [7] Pelevin F.V., Yaroslavtsev N.L., Vikulin A.V. et al. Investigation of heat transfer efficiency in coplanar channels. *Teploenergetika*, 2015, no. 3, pp. 35–41, doi: <https://doi.org/10.1134/S004036361503008X> (in Russ.). (Eng. version: *Therm. Eng.*, 2015, vol. 62, no. 3, pp. 190–195, doi: <https://doi.org/10.1134/S0040601515030076>)
- [8] Yagodnikov D.A., Sapozhnikov V.B., Lokhanov I.V. Experimental and methodical assurance of studies of hydro-dynamic processes in propellant tanks with capillary cryogenic components management systems. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina*, 2017, no. 1, pp. 36–42. (In Russ.).
- [9] Timnat Y.M. *Advanced chemical rocket propulsion*. Academic Press, 1987. (Russ. ed.: *Raketnye dvigateli na khimicheskoy toplive*. Moscow, Mir Publ., 1990. 294 p.)
- [10] Pelevin F.V., Ponomarev A.V., Lokhanov I.V. Study of the hydraulic performances of the perspective path of the LPS cooling for the spacecraft propulsion systems. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina*, 2020, no. 2, pp. 82–87. (In Russ.).
- [11] Kapralov B.P., Sigachev A.P. New opportunities of vacuum-diffusing technology. *Proizvodstvenno-tekhnologicheskii opyt*, 1981, no. 11, pp. 20–35. (In Russ.).
- [12] Pelevin F.V. Diffusion-vacuum technology of manufacturing large axisymmetric assemblies of metal mesh materials for heat exchange paths. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space Technique and Technologies], 2021, no. 4, pp. 66–77. (In Russ.).
- [13] Pelevin F.V., Ponomarev A.V., Lokhanov I.V. Experimental studies of the heat exchange in two-dimensional intermesh flow of the coolant in the cooling tract of the liquid propellant engine chamber of advanced SC propulsion systems. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina*, 2020, no. 3, pp. 61–64. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 24.03.2022

Информация об авторах

ПЕЛЕВИН Федор Викторович — доктор технических наук, профессор кафедры «Ракетные двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: pelfv@rambler.ru).

ПОНОМАРЕВ Алексей Викторович — аспирант кафедры «Ракетные двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: alexmgtu@gmail.com).

ЛОХАНОВ Игорь Викторович — кандидат технических наук, зам. зав. отделением «Жидкостные ракетные двигательные установки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: lokhanov@bmstu.ru).

Information about the authors

PELEVIN Fyodor Viktorovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Rocket Engines. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: pelfv@rambler.ru).

PONOMAREV Alexey Viktorovich — postgraduate student, Department of Rocket Engines. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: alexmgtu@gmail.com).

LOKHANOV Igor Viktorovich — Candidate of Science (Eng.), Deputy Head of Department of Liquid Rocket Propulsion Systems. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: lokhanov@bmstu.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Пелевин Ф.В., Пономарев А.В., Лоханов И.В. Двухконтурный рекуперативный теплообменный аппарат с межканальным движением теплоносителя в металлических сетчатых материалах. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 9, с. 85–91, doi: [10.18698/0536-1044-2022-9-85-91](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-9-85-91)

Please cite this article in English as:

Pelevin F.V., Ponomarev A.V., Lokhanov I.V. Two-circuit recuperative heat exchanger with interchannel motion of the coolant in metallic mesh. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2022, no. 9, pp. 85–91, doi: [10.18698/0536-1044-2022-9-85-91](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-9-85-91)