

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/PXLE1275>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/HSNU5169>**А. А. Генбач¹, *Д. Ю. Бондарцев²**^{1,2}Алматинский Университет Энергетики и Связи

имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3819-4387>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8778-7851>*e-mail: d.bondartsev@aes.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПОКРЫТИЯХ ИЗ КРЕПКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СРЕД

Исследованы тепловые нагрузки для системы охлаждения с покрытиями из природных материалов. Определены условия напыления материала на поверхность нагрева. Исследования имеют значение для теплозащиты оборудования. В способе охлаждения используется одновременно два наиболее интенсивных процесса: взаимодействие турбулентной струи с преградой и кипение охладителя на поверхности нагрева. Разработаны устройства для проведения напыления покрытий детонационными высокотемпературными факелами. В исследованиях применялся метод голографической интерферометрии и скоростной киносъёмки. В опытах измерялись тепловые потоки, температуры, расходы, давления потоков жидкости и газа. Изготовление покрытий из природных материалов позволяет отводить более высокие критические нагрузки и стабилизировать процесс управления поверхностью. Подобраны характеристики горелок для генерации сверхзвуковых высокотемпературных детонационных факелов при напылении покрытий из порошков природных материалов. За счет сверхзвуковой скорости потока напыление происходит без плавления частиц порошка. Коэффициент избытка окислителя варьировался в пределах $0.3 \div 0.8$; температура факела струи $(3500 \div 850)^\circ\text{C}$; длина струи $(0 \div 0,16)$ м; радиус струи $(3 \div 10) \cdot 10^{-3}$ м. Предложенный механизм теплообмена эффективен для процесса напыления частиц (порошков) минеральных сред на теплообменную поверхность.

Ключевые слова: теплообмен, покрытия, минеральные среды, камера сгорания, сопло, голографические интерферограммы, теплозащита.

Введение.

В последние десятилетия проблема защиты от высоких температур становится все более актуальной, особенно в контексте развития авиации, космических технологий, энергетики и других отраслей, где воздействие экстремальных температур неизбежно. В условиях этих технологических процессов необходимо использовать материалы, которые не только эффективно защищают от перегрева, но и обладают высокой устойчивостью, долговечностью и экологичностью. Природные материалы становятся ключевыми в разработке современных покрытий для защиты от высоких температур, сочетая традиции и инновации.

В работах [1; 2] представлено численное решение нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения сложной задачи теплообмена и гидродинамики материаловедения с учетом запыленной жидкости в магнитном поле в присутствии теплового излучения. Такая проблема имеет место при создании капиллярно-пористых покрытий в сверхзвуковом высокотемпературном факеле и для ее решения актуальным является проведение эксперимента с привлечением оптических методов, так как весьма затруднительно получить даже теоретически распределение температуры, скорости, концентрации частиц в пограничном слое вблизи наносимого напылением покрытия.

В работе [3] как и в работах [1; 2] проведен термический анализ гидродинамики проводящей запыленной жидкости в пористой среде при наличии неоднородного источника. Графическое отображение полученного численного решения иллюстрирует влияние различных параметров для управления потоком. Магнитный и пористый параметры, параметр источника нагрева, параметр взаимодействия жидкости и частиц на распределение скорости и температуры как жидкой, так и пылевой фаз. Подобная задача имеет место при создании капиллярно-пористых покрытий в случае напыления порошка сверхзвуковой высокотемпературной струей. Она является настолько сложной, что требует проведения целенаправленного эксперимента по определению термических напряжений сжатия, растяжения и плавления в капиллярно-пористых покрытиях, которое будет эффективно с привлечением оптических методов и позволит прогнозировать развитие трещин и срока службы покрытий.

Материалы и методы.

Для исследования теплообмена в покрытиях из крепких минеральных сред использовался метод голографической интерферометрии (рис. 1). В опытах измерялись тепловые потоки, температуры, расходы, давления потоков жидкости и газа. Методика измерения рассматривалась в работах [4; 5].

Приведем интерференционную картину пористого покрытия, выполненного из вязкой породы (туфа) с пористостью $\varepsilon = 30\%$. Улучшение теплозащиты КПП (капиллярно-пористых покрытий) происходит за счет структурных градиентов температур. Синтез порошков минеральных сред, полученных в фокусах эллиптических цилиндров [4; 5], либо за счет ударных процессов и структурной детонации, дает неоспоримые преимущества в создании покрытий с градиентной наноструктурой.

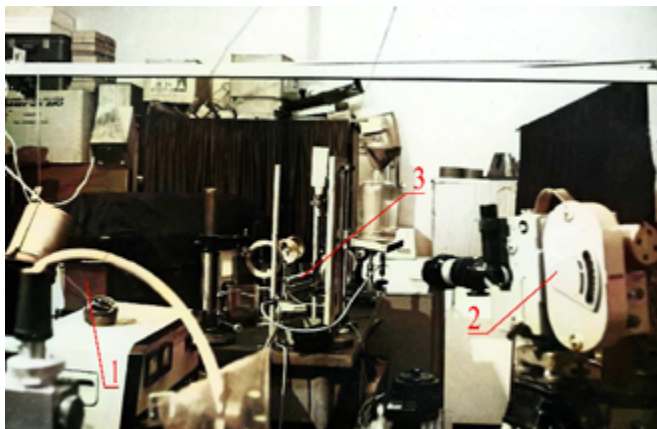


Рисунок 1 – Голографический стенд для исследования процессов теплообмена [4]:

1 – лазер; 2 – кинокамеру СКС-1М; 3 – пористый элемент

Такие материалы имеют высокие механические свойства, в них сочетается синергические преимущества прочности и пластичности, деформационное упрочнение, повышенное сопротивление растрескиванию, разрушению и усталости. Структурные термические градиенты создают градиенты термических напряжений и деформаций (см. рис. 2).

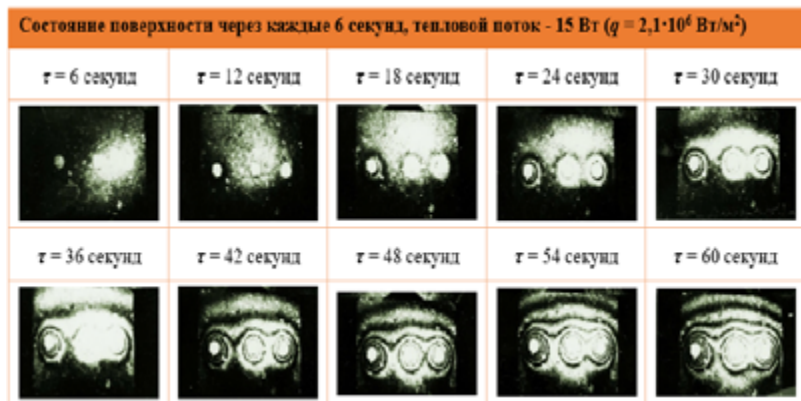


Рисунок 2 – Голографические интерферограммы покрытия из туфа

Градиентная наноструктура природных материалов создается в исследуемых КПП, что увеличивает отвод критических и предельных удельных тепловых потоков, когда . Градиентные КПП имеют радиальное направление.

Градиент температур управляет КПП, теплотехническими свойствами, термическими напряжениями, деформациями и перемещениями частиц в покрытии и создает синергическое усиление в градиентном природном материале. Природное покрытие вызывает деформации подложки при температурах покрытия, когда термические напряжения небольшие из-за прилипания либо затвердевания покрытия. Подложка будет воспринимать опасные растягивающие напряжения роста.

Может быть и другая ситуация. Устойчивость покрытий из минеральной среды связана со сменой растягивающих и сжимающих напряжений, что нами показано при решении термоупругой задачи [5]. Если окажется, что α покрытия больше, чем у подложки, то сменится знак термического напряжения. Поэтому, можно подобрать близкие значения α для покрытия и подложки. Например, кварц, перпендикулярный к основанию оси, имеет $\alpha = 1,37 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹, такая порода, как мрамор имеет $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹ (коэффициент линейного расширения). В общем случае имеем достаточно большой выбор не только величины α , но и величины λ . Пределы изменения горных пород приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Пределы изменения горных пород

$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$0,2 \div 12$
$\alpha, \text{К}^{-1}$	$(0,2 \div 10) \cdot 10^{-5}$

Из исследованных горных пород гранит имеет низкое значение $\lambda = (2,2 \div 4,1) \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а значение $\alpha = (0,6 \div 0,9) \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$. Если будут иметь иные случаи, то можно воспользоваться быстрым охлаждением покрытия, которое быстро будет затвердевать с получением реакционно-отверждаемых покрытий (см. рис. 3).

Дожигание топлива (керосин) производилось на преграде (покрытии). Коэффициент избытка окислителя $\alpha < 1$, сопло горелки – укороченное, процесс сжигания – детонационный. Процесс дожигания может улучшаться до двух-шести раз. Окислитель добавляется струей на покрытие, горючее в струе – с избытком. Максимальные удельные потоки на преграде от $(2 \text{ до } 20) \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Для давления газа в камере сгорания горелки $0,5 \text{ МПа}$ как и на покрытии частота колебания давления в камере составляет $\approx (500 \div 600) \text{ Гц}$, а на покрытии (преграде) снижается до 200 Гц . Это позволяет иметь наиболее интенсивный процесс напыления покрытия и до минимума снизить возможный процесс его разрушения. За счет сверхзвуковой скорости потока напыление может происходить без плавления частиц порошка.

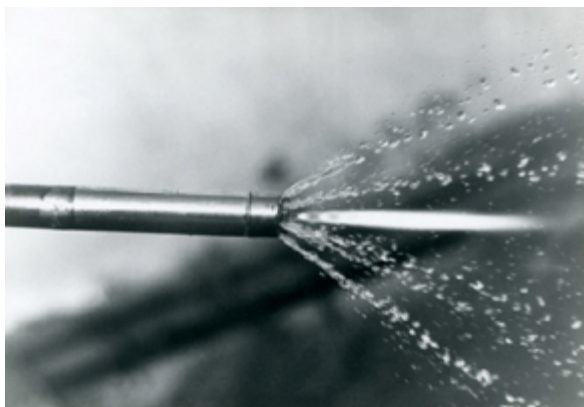


Рисунок 3 – Детонационный факел термоинструмента с $\text{дкр} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Смесь керосин-кислород. Система охлаждения – комбинированная.

Выброс воды на поверхность носит технологическое значение

Безразмерная длина струи, где z – абсцисса струи (от среза сопла до преграды); – радиус струи на срезе сопла. За максимальное значение коэффициента теплоотдачи от струи к покрытию для одного из режимов примем $\alpha_1 = 1000 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Текущим значением является коэффициент теплоотдачи конвекций α от пограничного слоя газа в пятне растекания струи к поверхности покрытия.

По длине участка «бочек» струи теплообмен уменьшается, поскольку пограничный слой газа неустойчивый, происходит частичный отрыв его от поверхности нагрева в результате резкого колебания давления в потоке за волной при встрече струи с покрытием этим участком.

Результаты и обсуждение.

Исследования проводились для покрытий, выполненных из гранита, туфа, кварца и мрамора. Сравнение осуществлялось с металлами (медь и нержавеющая сталь). Кроме предельных тепловых потоков определялись предельные напряжения растяжения и сжатия, удельная энергия разрушения покрытия. Предельные области тепловых нагрузок для покрытия из гранита в координатах $q = f(\delta, \tau)$, представлены на рисунке 4.

В качестве примера для $q = 0,2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$ и $\delta_{1,2,3} = 0,2; 0,5; 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ оценим время полета частиц гранитного порошка $\tau_{1,2,3} = 0,07; 0,2; 0,4 \text{ с}$. Гранулометрический состав «шелухи» определялся на сите в интервале $(0,1 \div 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Сравнительная оценка структур и покрытий показала их преимущества перед тонкопленочными испарителями, тепловыми трубами и кипением в большом объеме на гладкой поверхности [4].

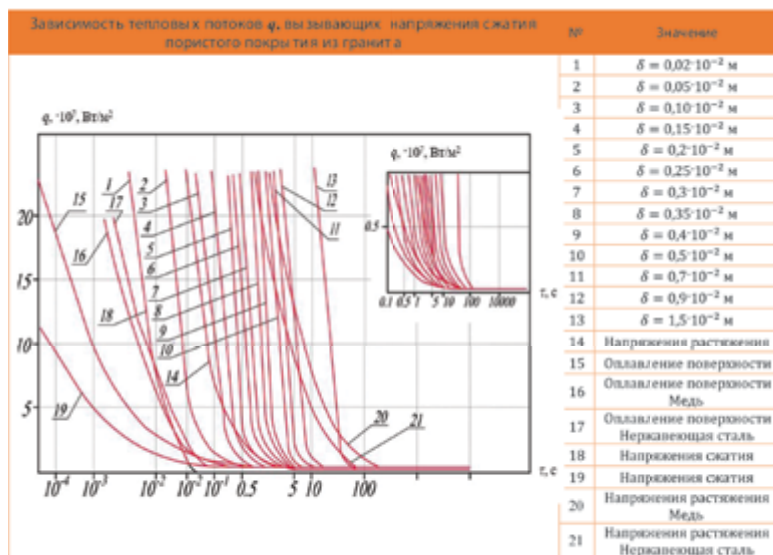


Рисунок 4 – Предельные области тепловых нагрузок для покрытия из гранита

Напыление покрытий в трубе, в которой имеется поток газа с $M \leq 0,9$, с диаметром $d = \text{const}$ и без внешних воздействий, для ламинарного движения ($= 102 \div 2 \cdot 103$) (камера сгорания):
средний коэффициент трения

$$C_f = \frac{\xi}{4} = \frac{16}{Re_d},$$

$$Re_d = \frac{W_{cp} \cdot d}{\nu},$$

$$\xi = \frac{64}{Re_d}.$$

где ξ – коэффициент сопротивления; ν – коэффициент кинетической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; W_{cp} – средняя скорость по сечению трубы, $\text{м}/\text{с}$.

Число Нуссельта $Nu = 3,65$; $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$,

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К); $T_{ст} = \text{const}$; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К); q – удельный тепловой поток, Вт/м²; $T_{ст}$ – средняя температура жидкости за рассматриваемым сечением в случае ее адиабатного перемешивания.

$$\alpha = \frac{q}{T_{см} - T_{ст}};$$

Число Стэнтона

$$\frac{\alpha}{\rho \cdot c_p \cdot W_{ср}};$$

$$St = \frac{\xi}{8} = 0,396 \cdot Re^{-\frac{1}{4}};$$

$$Nu_d = 0,0396 \cdot Re_d^{0,75} \cdot Pr.$$

Для турбулентного движения ($Re_d = 5 \cdot 10^3$ ч 10^7):

$$\xi = 0,316 \cdot Re_d^{-0,25},$$

$$C_f = 0,0791 \cdot Re_d^{-0,25},$$

$$Re_d = (2,1 \dots 100) \cdot 10^3.$$

Для участка трубы, где газ движется со сверхзвуковой скоростью и режим течения – турбулентный, имеем [6]:

$$Nu = 0,022 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{T_r}{T_{ст}} \right)^{0,42} \cdot \varepsilon_l,$$

где: $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$; $Re = \frac{W_{ср} \cdot d}{\nu}$; Pr – число Прандтля, $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$, α – коэффициент температуропроводности, м²/с; T_r – средняя термодинамическая температура газа в данном сечении, К; $T_{ст}$ – средняя температура стенки, К.

Если турбулентный пограничный слой начинается от входного сечения трубы $x = 0$, то для $\frac{x}{d} < 15$, $\varepsilon_l = 1,38 \cdot \left(\frac{x}{d} \right)^{0,12}$; для $\frac{x}{d} \geq 15$, $\varepsilon_l = 1$.

T_r

Физические константы берут при T_f в данном сечении трубы.

Интенсивность и форсировка теплообмена значительно повышаются за счет использования струй капельной жидкости с кипением на поверхности нагрева (на покрытии). Рассмотрим теплопередачу плоской затопленной струи с пластиной (покрытием) кривые 8, 9 (рис. 5). Скорость струи (водяной) на срезе сопла равна , длина и ширина сечения струи равны l и b_0 ($\frac{l}{b_0} = 7$, $b_0 = 2,4 \cdot 10^{-3}$ м, $u_0 = 5$ и 1 м/с соответственно, Б. Н. Юдаев, И. Б. олодцов, 1982) [7].

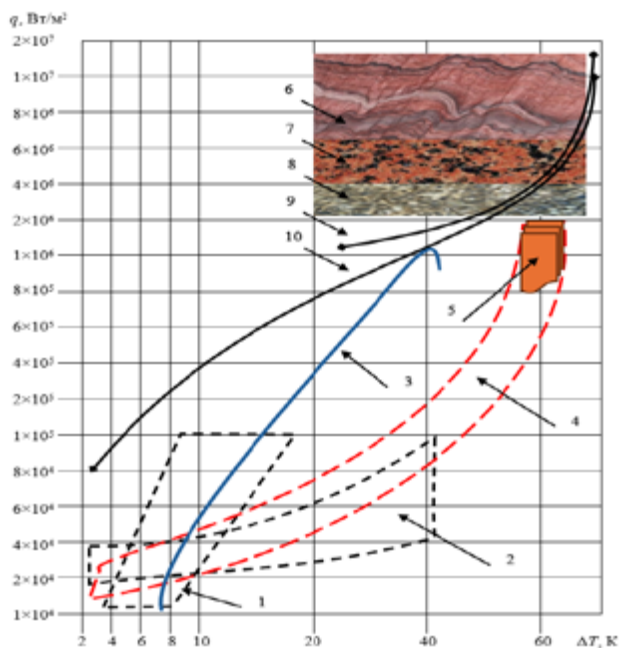


Рисунок 5 – Зависимость $q = f(\Delta T)$, $P = 0,1$ МПа

По данным Б.Н. Юдаева [8] величины ΔT могут быть более 100 К (см. табл. 2 и рис. 5) в зависимости от тепловых нагрузок.

На рисунке 5 приняты обозначения: область 1 – работа тонкопленочных устройств; область 2 – теплопередающие аппараты [9]; кривая 3 – кипение на гладкой поверхности [10]; область 4 – наличие массовых сил [4]; область 5 – наличие массовых сил с учетом интенсификаторов [5]; область 6 – естественные материалы для кварцевых покрытий с кипением на поверхности; область 7 – естественные материалы для гранитных покрытий

с кипением на поверхности; область 8 – естественные материалы для тешенитных покрытий с кипением на поверхности; кривые 9 и 10 – плоские затопленные водяные струи с кипением на поверхности (кривая 9 – [7], кривая 10 – [8]).

Струя претерпевала фазовый переход на преграде (пластине), т.е. в окрестности критической точки. В данном способе охлаждения используется одновременно два наиболее интенсивных процесса: взаимодействие турбулентной струи с преградой и кипение охладителя на поверхности нагрева. Положение линий 8, 9 определено результатами эксперимента, а протяженность линий справа ограничена величиной $q_{кр.}$ (см. табл. 2 и рис. 5).

Таблица 2 – Величины ΔT при взаимодействии сверхзвуковой струи с преградой.

№ кривой	q , Вт/м ²	α , Вт/(м ² ·К)	ΔT , К
8 (см. рис. 7)	$1 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^4$	20
8 (см. рис. 7)	$1 \cdot 10^7$	$9 \cdot 10^4$	110
8 (см. рис. 7)	$1 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^5$	200
9 (см. рис. 7)	10^5	$2 \cdot 10^4$	5
9 (см. рис. 7)	10^6	$3 \cdot 10^4$	35
9 (см. рис. 7)	10^7	$8 \cdot 10^4$	125
9 (см. рис. 7)	$5 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^5$	125

Как видно из рисунка 5, в случае струйного подвода охладителя достигаются высокие $q_{кр.}$, так как в зоне торможения струи имеет место высокая турбулентность (интенсивные пульсации), весьма тонкий пограничный слой, отрицательный градиент давления и активное разрушение паровой пленки.

Выводы

Разработанные покрытия расширяют отвод тепла. Достигнуто критическое состояние камер сгорания и сопел ($2 \cdot 10^6$ Вт/м²). Горелки предназначены для эффективного и управляемого напыления покрытий из различных природных материалов за счет характеристик детонационного факела. В пределах изменения удельных тепловых потоков от факела горелки в покрытие ($2 \cdot 10^6 \div 2 \cdot 10^7$) Вт/м² получено время полета частиц порошка, толщина покрытия, диаметр порошка, что подтверждено измерениями и оптическими наблюдениями (СКС-1М).

Выявлены основные параметры термоинструмента и покрытий, и исследованы пути управления процессами напыления. Волновая структура потока дополнительно интенсифицирует теплообмен, порождая турбулентность и отрыв потока от преграды. Данный механизм теплообмена

эффективен для процесса напыления частиц (порошков) минеральных сред на теплообменную поверхность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ganesh, K. K., Gireesha, B. J., Gorla, R.S.R.** Flow and heat transfer of dusty hyperbolic tangent fluid over a stretching sheet in the presence of thermal radiation and magnetic field // Int J Mech Mater Eng 13, 2 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40712-018-0088-8>

2 **Ganesh, K. K., Gireesha, B. J., Manjunatha, S. et al.** Effect of nonlinear thermal radiation on double-diffusive mixed convection boundary layer flow of viscoelastic nanofluid over a stretching sheet // Int J Mech Mater Eng 12, 18 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40712-017-0083-5>

3 **Manjunatha, P. T., Gireesha, B. J., Prasannakumara, B. C.** Thermal analysis of conducting dusty fluid flow in a porous medium over a stretching cylinder in the presence of non-uniform source/sink // Int J Mech Mater Eng 9, 13 (2014). <https://doi.org/10.1186/s40712-014-0013-8>

4 **Genbach, A. A., Bondartsev, D. Y., Beloev, H. I.** Studies of integrated natural capillary-porous coatings // 2021, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1032 012038. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1032/1/012038>

5 **Genbach, A. A., Bondartsev, D. Yu., Beloev, H. I., Genbach, N. A.** Boiling crisis in porous structures // Energy: 2022, 259, 125076. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125076>

6 **Isachenko, V. P., Osipova, V. A., Sukomel, A. S.** Heat Transfer. - М., 1981, 424 P. (in Russ).

7 **Yudaev, B. N., Molodtsov, I. B.** Heat exchange of an impact jet of a droplet liquid with a phase transition on a barrier // Thermophysics and hydrogasodynamics of boiling and condensation processes: Proc. of All-Union Conf. Riga. 1982. T. 1. P. 213–232. (in Russ).

8 **Yudaev, B. N., Shanin, Yu. I.** Heat exchange at interaction of a supersonic jet with an obstacle // Heat and Mass Transfer – VII: Collection. Minsk. 1984. T. 1. part 2, P. 150–158. (in Russ).

9 **Kimihide, O., Hosei, N.** Investigation on liquid-vapor interface behavior in capillary evaporator for high heat flux loop heat pipe // International Journal of Thermal Sciences. Volume 140, June 2019, P. 530–538. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.03.008>

10 **Chang, Y.H., Ferng, Y.M.** Experimental investigation on bubble dynamics and boiling heat transfer for saturated pool boiling and comparison data with previous works. Applied Thermal Engineering // Volume 154, 25 May 2019, Pages 284–293. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.03.092>

Поступило в редакцию 25.01.25

Поступило с исправлениями 12.02.25

Принято в печать 10.03.25

*A. A. Genbach¹, *D. Yu. Bondartsev²*^{1,2}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after G. Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 25.01.25

Received in revised form 12.02.25

Accepted for publication 10.03.25

STUDY OF HEAT TRANSFER IN COATINGS MADE OF STRONG MINERAL MEDIA

Thermal loads for cooling system with natural material coatings are investigated. The conditions of material spraying on the heating surface are determined. The research has implications for the thermal protection of equipment. Two most intensive processes are used simultaneously in the cooling method: interaction of turbulent jet with the barrier and boiling of the coolant on the heating surface. Devices for carrying out spraying of coatings by detonation high-temperature flares have been developed. The method of holographic interferometry and high-speed filming was used in the research. Heat fluxes, temperatures, flow rates, pressures of liquid and gas streams were measured in the experiments. Fabrication of coatings from natural materials can divert higher critical loads and stabilize the surface control process. The characteristics of torches for generation of supersonic high-temperature detonation flares during spraying of coatings from powders of natural materials were selected. Due to supersonic flow velocity, spraying occurs without melting of powder particles. The oxidizer excess coefficient varied in the range of $0,3 \div 0,8$; the jet plume temperature $(3500 \div 850)^\circ\text{C}$; the jet length $(0 \div 0,16)$ m; the jet radius $(3 \div 10) \cdot 10^{-3}$ m. The proposed heat exchange mechanism is effective for the process of spraying particles (powders) of mineral media on the heat exchange surface.

Keywords: heat transfer, coatings, mineral media, combustion chamber, nozzle, holographic interferograms, heat protection.

А. А. Генбач¹, *Д. Ю. Бондарцев²

^{1,2}Ғ. Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

25.01.25 ж. баспаға түсті.

12.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

10.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

КҮШТІ МИНЕРАЛДЫ ОРТАДАН ЖАСАЛҒАН ЖАБЫНДАРДАҒЫ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЗЕРТТЕУ

Табиғи материалдармен қапталған салқындату жүйесіне арналған жылу жүктемелері зерттелді. Материалды жылыту бетіне бүрку шарттары анықталды. Зерттеулер жабықты жылыудан қорғау үшін маңызды. Салқындату әдісі бір уақытта ең қарқынды екі процесті қолданады: турбулентті ағынның тосқауылмен әрекеттесуі және салқындатқыштың қыздыру бетінде қайнауы. Детонациялық Жоғары температуралы алаулармен жабындарды тозаңдандыруға арналған құрылғылар әзірленді. Зерттеулерде голографиялық интерферометрия және жылдамдық түсіру әдісі қолданылды. Тәжірибелер жылу ағындарын, температураны, шығындарды, Сұйықтық пен газ ағынының қысымын өлшеді. Табиғи материалдардан жабындар жасау жоғары сыни жүктемелерді алып тастауға және бетті басқару процесін тұрақтандыруға мүмкіндік береді. Табиғи материалдардың ұнтақтарынан жасалған жабындарды бүрку кезінде дыбыстан жоғары температуралы детонациялық алауларды генерациялау үшін оттықтардың сипаттамалары таңдалды. Ағынның дыбыстан жоғары жылдамдығына байланысты бүрку ұнтақ бөлшектерін ерітпей жүреді. Артық тотықтырғыштың коэффициенті $0,3 \div 0,8$ аралығында болды; реактивті алау температурасы $(3500 \div 850) ^\circ\text{C}$; ағынның ұзындығы $(0 \div 0,16)$ м; ағынның радиусы $(3 \div 10) \cdot 10^{-3}$ м. Мұсынылған жылу алмасу механизмі минералды ортаның бөлшектерін (ұнтақтарын) жылу алмасу бетіне бүрку процесінде тиімді.

Кілтті сөздер: жылу алмасу, жабындар, минералды орта, жану камерасы, саптама, голографиялық интерферограммалар, жылыудан қорғау.

Теруге 10.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4358

Сдано в набор 10.03.2025 г. Подписано в печать 28.03.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4358

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz