

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

№ 4 (2022)

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/UJEG4973>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

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

© Торайгыров университет

***Д. У. Суғиров¹, М. К. Суйменова², К. Ш. Ержанов³,
К. М. Шайхиева⁴, Н. А. Жайылхан⁵**

^{1,2,3,4,5}Каспийский университет технологий и инжиниринга

имени Ш. Есенова, Казахстан, г. Актау

СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПУЧКЕ ГЛАДКИХ ТРУБ

Целью данной статьи является обзор существующих методов интенсификации теплообмена, и изучение математической модели повышения эффективности при применении лепестковых турбулизаторов. Так как, именно введение турбулизаторов в проточный канал является одним из лучших методов увеличения теплообмена за счет таких их преимуществ как легкость изготовления, эксплуатации, а также низких эксплуатационных и производственных расходов. В этом обзоре собраны обширно изученные за последнее десятилетие как пассивные, так и активные методики интенсификации теплообмена. Для этого использовались самые новые работы и исследования преимущественно зарубежных авторов, проведен их подробный анализ и подведены итоги. Так же, в этой работе исследуются математические модель повышения тепловой эффективности конвективных поверхностей нагрева в пучке гладких труб при применении лепестковых турбулизаторов, результаты моделирования которой были проверены на экспериментальной установке. Повышение тепловых характеристик систем теплообменников необходимо для эффективного использования источника энергии, из-за стремительного роста цен на нефть и уголь. Актуальность данной статьи состоит в том, что, развитие высокопроизводительных тепловых систем повысило интерес к повышению теплопередачи. В особенности определенные экономические события приводят к тому, что снижается уровень эксплуатации и модернизации существующих котлов и ТЭЦ, в частности темпы роста промышленного потребления тепловой энергии замедляются, появились повышенные

требования к экологической безопасности, надежности и качеству теплоснабжения, происходит переориентация существующих и новых источников теплоснабжения для собственных видов топлива, а так же произошло резкое сокращение объема централизованного национального финансирования объектов теплоснабжения. Так же, в этой работе исследуется математическая модель повышения тепловой эффективности конвективных поверхностей нагрева в пучке гладких труб при применении лепестковых турбулизаторов, результаты моделирования которой были проверены на экспериментальной установке.

Ключевые слова: турбулизация, тепловые котлы, повышение теплообмена, трение потока, закрученный поток.

Введение

Вопросы энергосбережения и улучшения теплопередачи становятся все более важными из-за почти истощенных энергетических ресурсов.

Одним из основных резервов снижения удельных затрат топлива на единицу произведенной теплоты, заключается в повышении коэффициента полезного действия котлов. В частности, за счет увеличения использования тепла выхлопных газов, по той причине, что через эти потери может теряться до 20% тепловой энергии. В данной статье рассматриваются разные виды отопительных котлов, в разных регионах. В том числе учитывается теплый климат Южной Европы и Средней Азии, в которых большинству промышленных отопительных котлов нет необходимости работать в течение всего года на полную мощность. Скорости выхлопных газов могут быть занижены и процессы конвективного теплообмена в хвостовых поверхностях отличаться от проектных.

Теплообменники являются одним из основных компонентов и напрямую влияют на тепловую эффективность систем.

Технологии улучшения теплопередачи играют важную роль для теплопередачи ламинарного потока, обычно коэффициенты теплопередачи ламинарного потока в гладких трубах [1,2,3,4,5]. Скорость теплопередачи может улучшаться путем нарушения потока жидкости, которое может быть достигнуто с помощью вставления турбулизатора в круглую трубку.

Введение турбулизаторов в проточную часть является одним из лучших способов увеличения теплопередачи благодаря преимуществам в легкости изготовления и применения, а также низкие эксплуатационные расходы [6,7]. В целом, производительность турбулизаторов сильно зависит от их геометрии. Увеличение конвективного теплообмена во внутренних потоках с

ленточными вставками в трубах – хорошо зарекомендовавшая себя техника, используемая в производственной практике.

Материалы и методы

В основу данной научно–исследовательской, фундаментально изученной работы легло качественное, надежное соединение проверенных теоретических методов (анализ, синтез, конкретизация, обобщение, моделирование), и эмпирических методов (изучение исследовательских экспериментальных работ зарубежных и российских ученых и их опыт в данной или похожей сфере с применением схожих целью конструкций и изучения их опытными специалистами).

Теоретическую базу данной научной статьи составляют преимущественно тематические исследования, состоящие из научно–практических, научно–исследовательских и обзорных научных статей, включающие в себя экспериментальные методы и описания экспериментов. Анализы, статистики и прочие виды работ зарубежных исследователей, взятых с официальных источников с достоверной информацией, направленных на изучение большого ряда проблемных вопросов, с которыми можно столкнуться в процессе применения освещенных методов, связанных с математической моделью конвективных поверхностей нагрева при применении лепестковых турбулизаторов.

Результаты и обсуждение

В данной части рассмотрено составление математической модели в трубном пучке, а также изучены физические основания процессов, на основе трудов [8,9]. На основе законов термодинамики и явлений переноса, были созданы методы гидравлического и теплового расчета.

В физике такие явления переноса можно назвать необратимыми процессами статистического характера, которые возникают, когда молекулы непрерывно двигаются, и возникают в большинстве своём в жидкостях. Явление переноса построено на нескольких фундаментальных понятиях, таких как законы сохранения, которые в связи с явлениями переноса должны формулироваться как уравнения неразрывности, и определяющие уравнения.

Ньютон, Фик и Фурье установили законы переноса массы, теплоты и импульса.

$$\left. \begin{aligned} \rho &= -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{m} \omega_n \sigma \frac{\partial T}{\partial z} & (\text{Фурье, } 1821) \\ \mu &= -\bar{D} \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{1}{3} \bar{v} \omega_n \sigma \frac{\partial c}{\partial z} & (\text{Фик, } 1855) \\ \tau &= -\eta \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{m} \omega_n \sigma \frac{\partial u}{\partial z} & (\text{Ньютон, } 1687) \end{aligned} \right\} (1)$$

где \tilde{p} – молярная плотность; ω – средняя скорость молекул газа; σ – средняя длина свободного пробега молекул; \tilde{M} – масса одного моля; dT/dz – градиент температуры; $d\tilde{x}_j/dz$ – градиент молярной доли компонента j ; du/dz – градиент скорости.

Представленные уравнения показывают фундаментальную связь между явлениями переноса и термодинамикой, и она объясняет, почему явления переноса невозможно обратить вспять. Большая часть физических явлений, в конце концов связаны с системами, которые ищут свое самое низкое энергетическое состояние с помощью с принципа минимума энергии. Все они, чем ближе приближаются к такому состоянию, тем больше стараются достичь истинное термодинамическое равновесие, во время которого транспорт прекращается и отсутствуют все силы движения. Все моменты такого баланса, прямо связаны с определенным переносом, где теплопередача это предпринятые попытки системы попасть в тепловое равновесие с окружающей его средой, по такому же принципу как перемещение импульсов и массы переносит систему к механическим и химическим балансам.

При рассмотрении математической модели теплообменника с турбулизатором, необходимо классифицировать течение в данном теплообменнике как течение в прямых каналах или трубах. Такая модель будет состоять из участка прямоугольного канала с турбулизующим устройством длиной $(l_1 + l_2)$ (рис. 1).

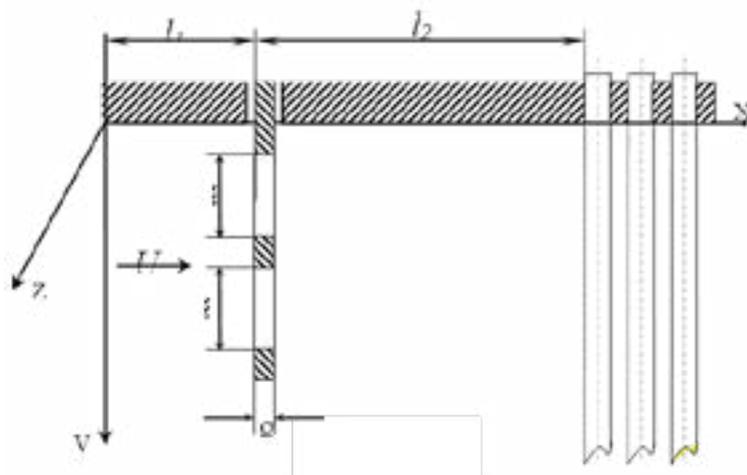


Рисунок 1 – Схема системы с турбулизующим устройством в виде перегородок с лестчковыми вырезами [9]

Рассматриваются уравнения Рейнольдса для осреднённого турбулентного течения в прямоугольной декартовой системе координат что бы описать турбулентное течения жидкости в установке. координат:

$$\begin{aligned} \rho \left(U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - W \frac{\partial U}{\partial z} \right) &= \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{xy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{xz}, \\ \rho \left(U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - W \frac{\partial V}{\partial z} \right) &= \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xy} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{yz}, \\ \rho \left(U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} - W \frac{\partial W}{\partial z} \right) &= \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xz} - \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yz} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{zz}, \end{aligned} \quad (2)$$

где U, V, W — составляющие вектора скорости в направлении осей x, y, z (рис. 1); p — статическое давление; ρ — плотность жидкости. [9]

Дифференциальные уравнения привели к обобщенному виду:

$$\frac{\partial}{\partial x}(U\Phi) + \frac{\partial}{\partial y}(V\Phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{A}_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\tilde{A}_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + S_\Phi, \quad (3)$$

где переменная Φ обозначает поочередно U, V, k и ε , а коэффициенты Γ_Φ и S_Φ зависят от рода переменной.

Метод конечных разностей, путём аппроксимации разностными уравнениями применяется для решения дифференциальных уравнений (3), на основе метода Патанкара. Для этого изучаемую систему с турбулизирующей перегородкой разделяли сеткой с шагом Δx и Δy , ориентированную соответственно по оси x, y . В случае перегородки расположение узлов разностной сетки указано на рисунке 2.

А дифференциальное уравнение (3), примет вид

$$\begin{aligned} \frac{(U_j^{i+1} - U_j^i)(\Phi_j^{i+1} - \Phi_j^i)}{\Delta x} + \frac{(V_{j+1}^i - V_j^i)(\Phi_{j+1}^i - \Phi_j^i)}{\Delta y} &= \\ = \tilde{A}_\Phi \frac{\Phi_j^{i+1} - 2\Phi_j^i + \Phi_j^{i-1}}{\Delta x^2} + \tilde{A}_\Phi \frac{\Phi_{j+1}^i - 2\Phi_j^i + \Phi_{j-1}^i}{\Delta y^2} + S_\Phi \end{aligned} \quad (4)$$

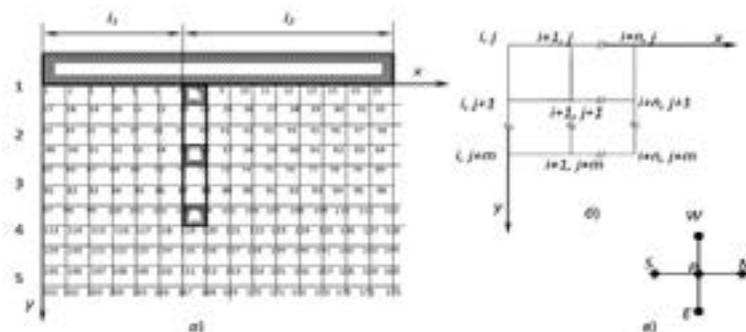


Рисунок 2 – Расположение разностной сетки.

- а) расположение узлов разностной схемы, б) нумерация узлов, в) обозначение соседствующих точек. [5]

Устанавливались необходимые граничные условия. Так как система состоит из теплоносителя, движущегося в пространстве, ограниченного стенками аэродинамической трубы, поверхностью турбулизирующего устройства и сечением на входе и выходе на расстоянии $(l_1 + l_2)$. Для всех переменных на входе задается условие Дирихле $\Phi(x,y)=\Phi_0(x_0,y_0)$ для развитого турбулентного течения. Принимается условие, что на стенках аэродинамической трубы и поверхности турбулизирующего устройства $U=V=0$, а для k и ϵ применяются зависимости логарифмического закона распределения скоростей $di=(i/k)$ (di/dl).

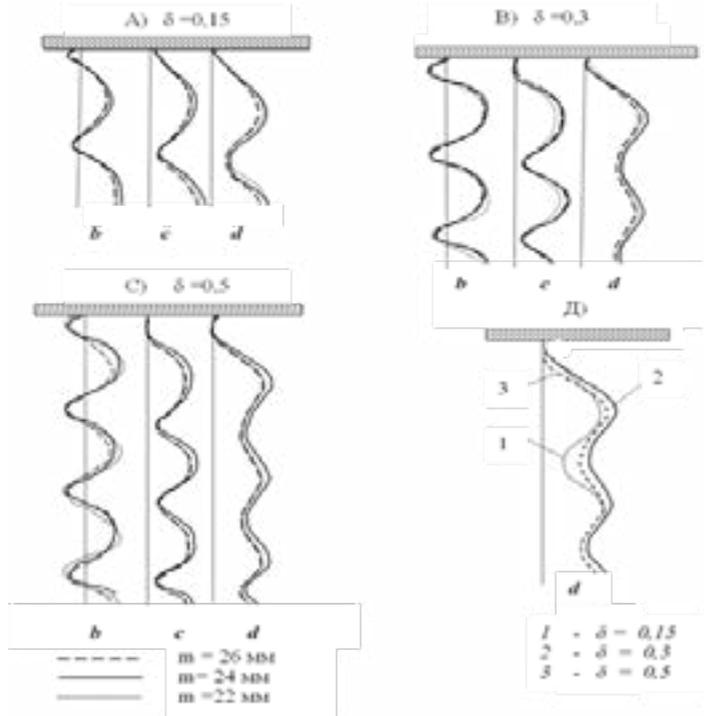


Рисунок 3 – Сопоставление профилей распределения скоростей после интенсифицирующей перегородки при $\delta = 0,1; 0,3; 0,5$ и изменении размера выемки m от 22 до 26 мм. [9]

На границах математической модели для всех переменных задается условие Неймана, $d\Phi/dx = d\Phi/du = 0$.

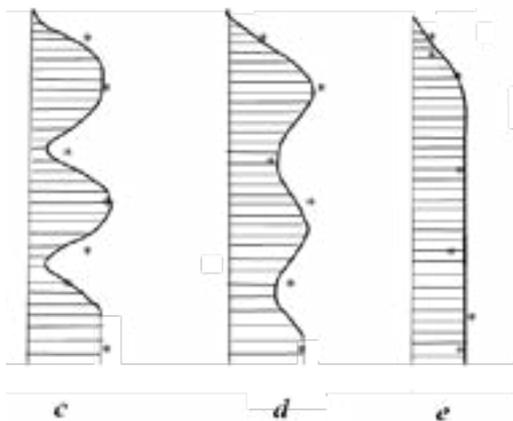
Приближая значения разностных уравнений, дифференциальные уравнения принимают алгебраический вид, которые имеют одинаковый вид для каждой переменной. Получаем систему алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} a_P^U &= a_E U_E + a_W U_W + a_N U_N + a_S U_S + S_U^U \\ a_P^V &= a_E V_E + a_W V_W + a_N V_N + a_S V_S + S_U^V \\ a_P^k &= a_E k_E + a_W k_W + a_N k_N + a_S k_S + S_U^k \\ a_P^\varepsilon &= a_E \varepsilon_E + a_W \varepsilon_W + a_N \varepsilon_N + a_S \varepsilon_S + S_U^\varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $a^{U,V,k,\varepsilon}$ и $S^{U,V,k,\varepsilon}$ – коэффициенты, принимающие значения в зависимости от переменных U, V, k, ε ; P, E, W, N, S – нумерация узлов, расположенных рядом друг с другом (рисунок 2, в). В матричной форме уравнения, которые образуются из уравнения (4), выглядят так:

$$H = a\Theta + S \quad \text{Где:} \tag{5}$$

$$H = \begin{bmatrix} a_P^U \\ a_P^V \\ a_P^k \\ a_P^\varepsilon \end{bmatrix} a = \begin{bmatrix} a_E^U & a_W^U & a_N^U & a_S^U \\ a_E^V & a_W^V & a_N^V & a_S^V \\ a_E^k & a_W^k & a_N^k & a_S^k \\ a_E^\varepsilon & a_W^\varepsilon & a_N^\varepsilon & a_S^\varepsilon \end{bmatrix} \Theta = \begin{bmatrix} U_n^U \\ V_n^V \\ k_n^k \\ \varepsilon_n^\varepsilon \end{bmatrix} S = \begin{bmatrix} S_U^U \\ S_U^V \\ S_U^k \\ S_U^\varepsilon \end{bmatrix} \tag{6}$$



* – опытные точки

Рисунок 4 – Сравнение теоретических и экспериментальных значений. [9]

Авторы рассматривают движение жидкости в теплообменнике с турбулизатором как осредненное крупномасштабное движение. Когда движение слабо изменяется во времени или является стационарным, то эффективней для инженерных расчётов с точки зрения вычислений является рассмотрение осредненных по времени уравнений.

Турбулентность ограничивает применение уравнений для потоков (1), молекулярные коэффициенты переноса λt , σ и μt . И так же, она может быть результатом произвольных движений турбулентных вихрей, в

жидкостях и газах. Размер этих вихрей может быть от миллиметра (в трубах теплообменника), до метров (в атмосфере) и всегда составляет несколько процентов от полного размера системы.

Системы разностных уравнений (6) образовали матрицы, из которых матрица коэффициентов P , а является матрицей переменных. Что бы обратить матрицы использовали метод Гаусса – Зейделя.

Для определения размеров экспериментальной установки были получены профили распределения скоростей до и после интенсифицирующей перегородки для вариантов $\delta=0,15; 0,3; 0,5$ при изменении размера вырезов m от 22 до 26 мм (рис. 3), основываясь на проведенных ранее расчетов.

Рассматривая рисунок 3, сделали выводы что до перегородок профиль скоростей остается ровным, а после перегородки скорости достаточно резко изменяются. В местах, где потоку приходится столкнуться с перегородкой, возникают противодействия, которые образуют вихри. А в местах, где поток проникает сквозь отверстия в препятствии, скорости вырастают и их профили остаются строго параболическими.

Профили скоростей которые рассчитываются через конкретные одинаковые расстояния $(1+10n_i)$ где $n_i=2,4,6$ для c,d,e , дают понять, что провалы скоростях, которые были образованы противодавлением, со временем сглаживаются (участки $c-d$), и постепенно поток стабилизируется.

По графика из рисунка 3, можно заметить, что изменение в размере выемки m незначительно влияет на изменения скорости. Самое большое увеличение скорости, а в последствии и увеличение турбулизации потока, можно наблюдать, когда $m=24$ мм.

Кроме этого, по графику из рисунка 3, можно заметить, что на A , B и C , степень перекрытия газохода δ имеет существенное влияние на изменение скорости. Самое большое его увеличение можно наблюдать, когда перегородка выдвигается на расстояние $\delta=0,3$, размер выемки m равняется 24 мм и расстояние установки турбулизатора до пучка будет 40 мм (участок d , рис. 3Д). Потому, тут будет происходить самая большая турбулизация теплового потока.

Выводы

Повышение теплопередачи является предметом большого интереса для исследований, в которых основное внимание тому, как увеличить скорость теплопередачи и достичь более высокой эффективности. Показано, что на сегодняшний день существует большая информационная база по исследованиям различных способов и методов интенсификации. Интенсификация нашла широкое применение в теплообменном и котельном оборудовании. Однако необходимо выделить и основные проблемы. Многие

исследования отличаются противоречивостью полученных результатов. По некоторым промышленно перспективным интенсификаторам теплообмена не имеется данных по оптимальным геометрическим параметрам и целесообразным режимам их использования. Требуется выделение и изучение основных возможных механизмов интенсификации теплообмена и создание, и оптимизация интенсификаторов теплоотдачи на основе фундаментальных исследований данных механизмов. Увеличение конвективного теплообмена за счет вставки витого лепесткового турбулизатора в пучке гладких труб является одним из самых эффективных и перспективных подходов. В данной статье рассмотрены разные виды турбулизаторов, изучены новые перспективные направления повышения эффективности использования теплообменников, изучена разработка математической модели в трубном пучке и определение геометрических параметров экспериментальной установки. Проведен анализ существующих методов и категорий методов улучшения производительности теплообменников. Также, проводилось теоретическое обоснование и изучение экспериментов других авторов, которое дает возможность экспериментально подтвердить возможности и целесообразность повышения экологического и технико-экономического уровня котла на базе применения результатов выполненного комплекса исследований. Применение рассмотренных нами способов интенсификации теплообмена, позволяет сделать выводы о том, что турбулизаторы ленточного и лепесткового типа позволяют обеспечивать более глубокое охлаждение продуктов сгорания, что приводит к значительной экономии топлива в котельной, и снижает объемы выбросов в атмосферу токсичных продуктов сгорания. Изучены разработки, опытное применение которых подтверждает их надежность, эффективность и возможность достижения высоких технико-экономических показателей котельных, и они доведены до промышленного внедрения и используются.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Erbay, B., Celik, L., Hamdi, S.** Improving heat transfer with various types of turbulators on heat exchangers –2021.–Volume 7.– Issue 7.– P. 1654 – 1670.

2 Promvonge, P., Skullong, S. Heat transfer in solar receiver heat exchanger with combined punched V-ribs and chamfer-V-grooves. *Int J Heat Mass Transfer*;– 2019–143:118486.

3 **Li, X., Xie, G., Liu, J., Sunden, B.** Parametric study on flow characteristics and heat transfer in rectangular channels with strip slits in ribs on one wall. *Int J Heat Mass Trans.*– 2020– 149:118396

4 **Salhi, J. E., Amghar, K., Bouali, H., Salhi, N.** Combined heat and mass transfer of fluid flowing through horizontal channel by turbulent forced convection. Model Simul Eng.–2020–1453893:1–11.

5 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Tian, Z., Goodarzi, M., Bandarra, E. P., Arjomandi, M.** (2019) Thermal assessment of nano–particulate graphene–water/ethylene glycol nano–suspension in a compact heat exchanger. Energies.–2019–12:1929.

6 **Promvonge, P., Skullong, S.** Enhanced Heat Transfer in Rectangular Duct with Punched Winglets, Chinese J Chem Eng.– 2020– 28:660–71.

7 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Goodarzi, M., Yang, B., Arjomandi, M.** Heat transfer analysis of Ga–In–Sn in a compact heat exchanger equipped with straight micro–passages. Int J Heat Mass Transf. –2019– 139:675–684.

8 **Сугиров, Д. У.** Теплообмен в пучке гладких труб при воздействии нескольких видов интенсификации теплообмена // Сборник материалов VII Международной научно–практической конференции. – 2020. – С.36–42.

9 **Сугиров, Д. У., Оспанова, С. М., Суйменова, С. М., Избасар, А. И., Есболай, Г. И.** Повышение тепловой эффективности конвективных поверхностей нагрева//Мир науки – Онлайн–издание.–2021. – 69с. Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/23MNNPM21.pdf>

10 **Бороденко, В. А.** Программирование в среде Turbo Basic (учебное пособие). – Павлодар : Керекү.– 2003. – 81 с.

REFERENCE

1 **Erbay, B., Celik, L., Hamdi, S.** Improving heat transfer with various types of turbulators on heat exchangers –2021.–Volume 7.– Issue 7.– P. 1654 – 1670.

2 **Promvonge, P., Skullong, S.** Heat transfer in solar receiver heat exchanger with combined punched V–ribs and chamfer–V–grooves. Int J Heat Mass Transfer;– 2019–143:118486.

3 **Li, X., Xie, G., Liu, J., Sunden, B.** Parametric study on flow characteristics and heat transfer in rectangular channels with strip slits in ribs on one wall. Int J Heat Mass Trans.– 2020– 149:118396

4 **Salhi, J. E., Amghar, K., Bouali, H., Salhi, N.** Combined heat and mass transfer of fluid flowing through horizontal channel by turbulent forced convection. Model Simul Eng.–2020–1453893:1–11.

5 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Tian, Z., Goodarzi, M., Bandarra, E. P., Arjomandi, M.** (2019) Thermal assessment of nano–particulate graphene–water/ethylene glycol nano–suspension in a compact heat exchanger. Energies.–2019–12:1929.

6 **Promvonge, P., Skullong, S.** Enhanced Heat Transfer in Rectangular Duct with Punched Winglets, Chinese J Chem Eng.– 2020– 28:660–71.

7 **Sarafraz, M. M., Safaei, M. R., Goodarzi, M., Yang, B., Arjomandi, M.** Heat transfer analysis of Ga–In–Sn in a compact heat exchanger equipped with straight micro–passages. Int J Heat Mass Transf. –2019– 139:675–684.

8 **Sugirov, D. U.** Heat transfer in a bundle of smooth pipes when exposed to several types of heat transfer intensification. [Collection of materials of the VII International scientific and practical conference]. –2020– P.34–40.

9 **Sugirov, D. U. Ospanova, S. M. Suimenova, S. M. Izbasar, A. I. Esbolai, G. I.** Improving the thermal efficiency of convective heating surfaces. [The World of Science]– Online edition.–2021– 69p. Access mode: <https://izd-mn.com/PDF/23MNNPM21.pdf>

10 **Borodenko, V. A.** Programming in the Turbo Basic environment (textbook). – Pavlodar : Kereku.– 2003 – 81 p.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

**Д. У. Суғиров¹, К. Ш. Ержанов², Н. А. Жайылхан³, М. К. Суйменова⁴,
К. М. Шайхиева⁵,*

^{1,2,3,4,5}Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Қазақстан Республикасы, Ақтау қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

ТЕГІС ҚҰБЫРЛАР ШОҒЫРЫНДА КОНВЕКТИВТІ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЖОҒАРЫЛАТУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ

Бұл мақаланың мақсаты жылу беруді қарқындатудың қолданыстағы әдістеріне шолу және жапырақты турбулизаторларды қолдану кезінде тиімділікті арттырудың математикалық моделін зерттеу болып табылады. Себебі, бұл турбулизаторларды ағынды каналға енгізу, бұл өндіріс, пайдалану жеңілдігі, сондай-ақ төмен пайдалану және өндірістік шығындар сияқты артықшылықтарына байланысты жылу беруді арттырудың ең жақсы әдістерінің бірі. Бұл шолуда соңғы онжылдықта кеңінен зерттелген жылу беруді қарқындандырудың пассивті және белсенді әдістері бар. Ол үшін шетелдік авторлардың ең жаңа жұмыстары мен зерттеулері пайдаланылды, олар егжей-тегжейлі талданды және қорытындыланды. Сондай-ақ, бұл жұмыста модельдеу нәтижелері эксперименттік қондырғыда тексерілген жапырақты

турбулизаторларды қолдану кезінде тегіс құбырлар жиынтығындағы конвективті қыздыру беттерінің жылу тиімділігін арттырудың математикалық моделі зерттеледі. Жылу алмастырғыш жүйелерінің жылу сипаттамаларын жоғарылату мұнай мен көмір бағасының тез өсуіне байланысты энергия көзін тиімді пайдалану үшін қажет. Бұл мақаланың өзектілігі жоғары өнімді жылу жүйелерінің дамуы жылу беруді арттыруға деген қызығушылықты арттырды. Атап айтқанда, белгілі бір экономикалық оқиғалар қолданыстағы қазандықтар мен ЖЭО-ны пайдалану және жаңғырту деңгейінің төмендеуіне, атап айтқанда жылу энергиясын өнеркәсіптік тұтынудың осу қарқынының баяулауына, экологиялық қауіпсіздікке, жылумен жабдықтаудың сенімділігі мен сапасына қойылатын талаптардың жоғарылауына, қолданыстағы және жаңа жылумен жабдықтау көздерінің өз отындары үшін қайта бағдарлануына, сондай-ақ күрт төмендеуіне әкеледі. жылумен жабдықтау объектілерін орталықтандырылған ұлттық қаржыландыру көлемі. Сондай-ақ, бұл жұмыста модельдеу нәтижелері эксперименттік қондырғыда тексерілген жапырақты турбулизаторларды қолдану кезінде тегіс құбырлар жиынтығындағы конвективті қыздыру беттерінің жылу тиімділігін арттырудың математикалық моделі зерттеледі.

Кілтті сөздер: турбулизация, жылу қазандықтары, жылу алмасудың жоғарылауы, ағынның үйкелісі, бұралған ағын.

**D. U. Sugirov¹, M. K. Suimenova², K. S. Yerzhanov³, K. M. Shaikhieva⁴, N. A. Zhayilkhan⁵*

^{1,2,3,4,5}Caspian University of Technology and Engineering named after Sh .Yesenova, Kazakhstan, Aktau

Material received on 15.12.22

DRAWING UP A MATHEMATICAL MODEL OF INCREASING CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN A BUNDLE OF SMOOTH PIPES

The purpose of this article is to review the existing methods of heat transfer intensification, and to study the mathematical model of increasing efficiency when using lobe turbulators. Since it is the introduction of turbulators into the flow channel that is one of the best methods of increasing heat exchange due to their advantages such as ease of manufacture, operation, as well as low operating and production costs. This review contains both passive and active methods of heat exchange intensification that have been extensively studied over the past decade. For

this purpose, the newest works and studies of mainly foreign authors were used, their detailed analysis was carried out and the results were summed up. Also, in this work, a mathematical model of increasing the thermal efficiency of convective heating surfaces in a bundle of smooth pipes with the use of lobe turbulators is investigated, the simulation results of which were tested on an experimental installation. Increasing the thermal characteristics of heat exchanger systems is necessary for the efficient use of an energy source, due to the rapid rise in oil and coal prices. The relevance of this article is that the development of high-performance thermal systems has increased interest in increasing heat transfer. In particular, certain economic events lead to the fact that the level of operation and modernization of existing boilers and thermal power plants is decreasing, in particular, the growth rate of industrial consumption of thermal energy is slowing down, there are increased requirements for environmental safety, reliability and quality of heat supply, there is a reorientation of existing and new sources of heat supply for their own fuels, as well as a sharp reduction the volume of centralized national financing of heat supply facilities. Also, in this work, a mathematical model of increasing the thermal efficiency of convective heating surfaces in a bundle of smooth pipes with the use of lobe turbulators is investigated, the simulation results of which were tested on an experimental installation.

Keywords: turbulence, heat boilers, increased heat transfer, flow friction, swirling flow.

Теруге 15.12.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4019

Сдано в набор 15.12.2022 г. Подписано в печать 30.12.2022 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4019

«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