

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-38-45

Куцев Л.А., *Саввин Н.Ю.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: n-savvin@mail.ru

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРИГИНАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ ТЕПЛООБМЕННИКА

Аннотация. Рассматривается современный способ исследования температурного поля нагретых тел. В качестве исследуемого объекта выступает гофрированная теплообменная пластина с оригинальной геометрией. Теплообменники являются одним из основных видов технологического оборудования в системах теплоснабжения. В статье приведено сравнение двух основных типов теплообменного оборудования: кожухотрубного и пластинчатого аппаратов. Дана характеристика тепловизионному прибору FLIR i50. Произведено сравнение стандартной теплообменной пластины и гофрированной пластины со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону на площадках между рифлениями. Применение оригинальных пластин позволяет увеличить эффективность теплообменного процесса за счет повышенной турбулизации теплоносителя. Установлена связь истинной температуры нагретого тела с яркостной температурой абсолютно черного тела. Проведены экспериментальные исследования, в результате которых, получено значение средней температуры нагретого тела. Эта величина необходима для дальнейшего расчета коэффициентов теплопередачи, которые, в свою очередь, являются определяющими при расчете основного параметра, характеризующего эффективность работы теплообменного оборудования – коэффициента теплопередачи. Установлено, что применение тепловизионного метода является оригинальным способом в исследовании теплообменных процессов, позволяющим показать реальное увеличение коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменного аппарата.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменный аппарат, коэффициент теплопередачи, тепловизор, турбулизация, сферические углубления.

Введение. Территория Российской Федерации является самой большой в мире и составляет 17125191 км² [1]. Теплоэнергетический комплекс нашей страны производит 70 % всей тепловой энергии (более 32 тыс. котельных) [2]. Традиционно наибольшее распространение получило централизованное теплоснабжение. Это связано с его очевидными преимуществами: низкий уровень эксплуатационных затрат, наличие возможности использования менее качественного топлива. Кроме того, особенно значимыми преимуществами выступают низкая степень загрязнения воздушного бассейна (полное или частичное отсутствие выбросов) и высокая степень поддержания санитарно-гигиенической обстановки в крупных городах [3].

Наряду с централизованным теплоснабжением, в последние десятилетия набирают обороты децентрализованные системы. Это связано с коттеджным строительством и ростом агломераций вокруг крупных городов. Так за последние 20 лет, спрос на оборудование для проектирования децентрализованных системы вырос на 65 % [4].

Материалы и методы. Основным оборудованием, применяемым в теплоснабжении, являются кожухотрубные и пластинчатые теплооб-

менные аппараты. Это обусловлено их явной экономической эффективностью, выражающейся в экономии энергии на подогрев теплоносителя (жидкость, газ) [5].

В настоящее время выросли продажи пластинчатых теплообменных аппаратов, которые пришли на смену кожухотрубным, имеющих большие габаритные размеры и, главное, низкий коэффициент теплопередачи [6]. Внешний вид кожухотрубного и пластинчатого теплообменных аппаратов представлен на рис. 1.

В настоящее время в Российской Федерации и развитых странах ЕС, США, Канада, Китай ведутся активные работы по повышению эффективности работы теплообменного оборудования [7–11].

В различных отраслях промышленности активно применяется тепловизионный метод дистанционного определения температуры, который позволяет обнаружить излучение в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра. На основе этого излучения создается объемное изображение, позволяющие определить перегреты или переохлажденные места. Основой работы тепловизионного прибора является определение температуры в одной точке температурного поля [12].

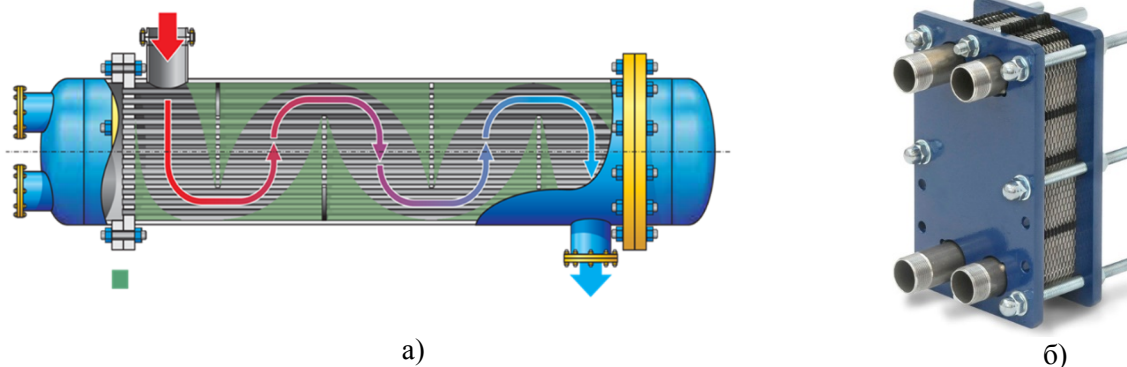


Рис. 1. Внешний вид теплообменного оборудования:
а – кожухотрубный теплообменник; б – пластинчатый теплообменник

Известно, что температурным полем называется совокупность значений температуры в данный момент времени во всех точках изучаемого пространства [13].

В общем случае уравнение температурного поля имеет вид:

$$t = F(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

где t – температура среды, $^{\circ}\text{C}$; x, y, z – координаты точки среды; τ – время, с.

Температурное поле, изменяющееся во времени, называется нестационарным и описывается зависимостью [14]:

$$t = F(x, y, z); \quad \partial t / \partial \tau = 0. \quad (2)$$

Одним из способов повышения эффективности работы пластинчатых теплообменных аппаратов является использование гофрированных пластин со сферическими углублениями.

Для исследования температурного поля нами был использован тепловизионный прибор (ТВИ) Flir i50 [15]. Схема тепловизора представлена на рис. 2.

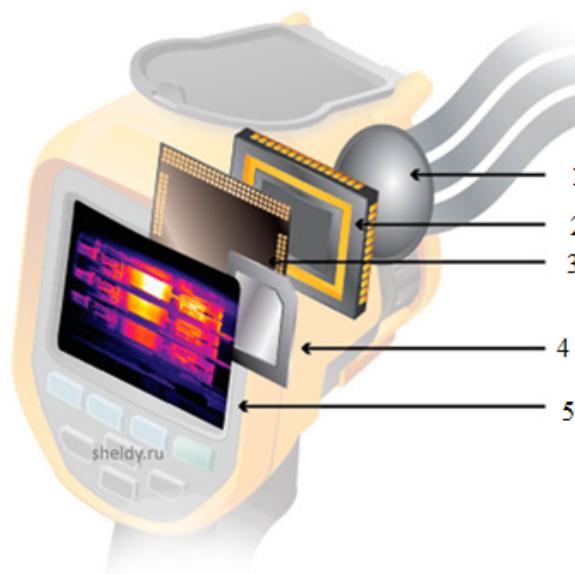


Рис. 2. Устройство тепловизора:
1 – линза; 2 – инфракрасный сенсор; 3 – процессор; 4 – память; 5 – экран

Принцип работы тепловизора основан на приеме инфракрасного излучения (7,5–13 мкм), исходящего от любого нагретого объекта, имеющего температуру от -20 до 350 $^{\circ}\text{C}$. Излучение улавливается оптической системой прибора, которая состоит из системы линз 1 и сенсора с фотоэлементами 2, после чего фокусируется на приемнике, в качестве которого выступает процессор 3, конвертирующим визуальный аналоговый

сигнал в электрический. Как правило, он выражается в виде изменения напряжения или сопротивления в цепи приемника. Инфракрасный снимок сохраняется в долговременную память 4 и выводится на экран 5 с частотой кадров 9 Гц [16].

Теплоотдача пластин с гофрированной поверхностью к настоящему времени исследована недостаточно.

Основная часть. Для сравнения двух нагретых пластин, обтекаемых потоком жидкости, воспользуемся методом парного сравнения. Данный способ является одним из инструментов оценки и выбора решений, широко используется в экспертных оценках при необходимости составлять приоритеты в процессе какой-либо деятельности или ранжирования различных объектов. Идея метода состоит в том, что попарно сравниваются каждые два объекта и определяется первенство одного из них [17].

Первым объектом исследования является гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону. В качестве второго объекта используется стандартная гофрированная пластина. Обе пластины имеют одинаковые геометрические размеры $300 \times 140 \times 3$ мм и V-образную форму гофр. Диаметр сферических углублений 0,6 мм. Температура пластин определялась рабочими условиями температуры теплоносителя.

Результаты экспериментов представлены на рис. 3.

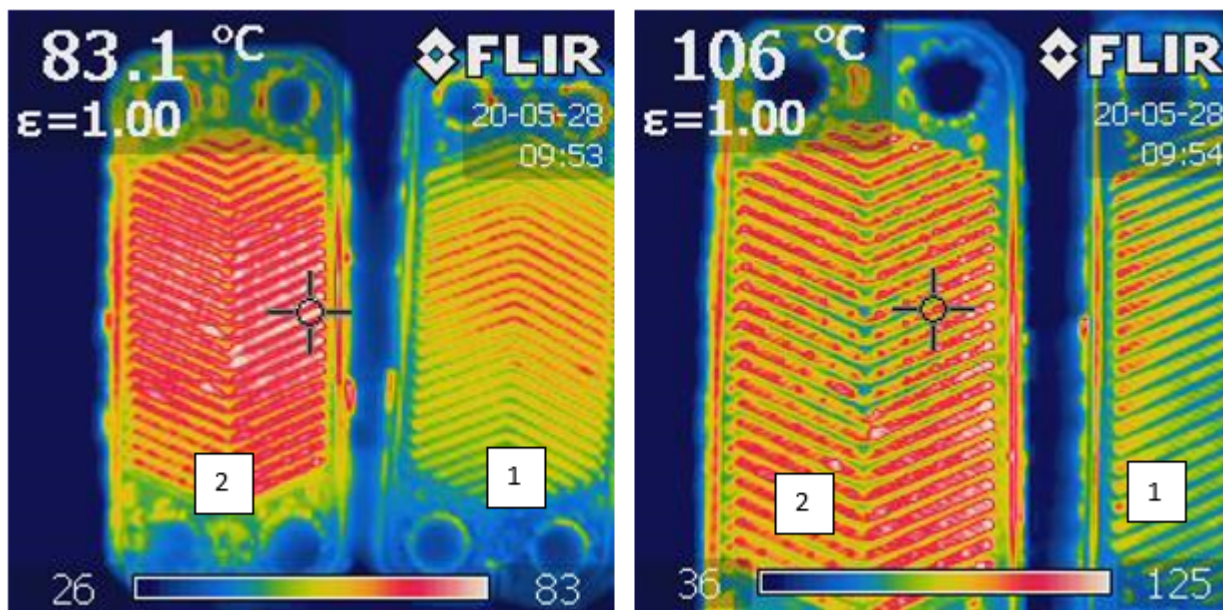


Рис. 3. Термограммы гофрированных пластин:

- 1 – гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону;
2 – стандартная гофрированная пластина

В результате исследования можно сделать вывод, что модифицированная гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону, обладает

большим спектром инфракрасного излучения (высокой температурой). Особенно наглядно это видно на рисунке 4, где отчетливо видно влияние углублений на распределение температуры.

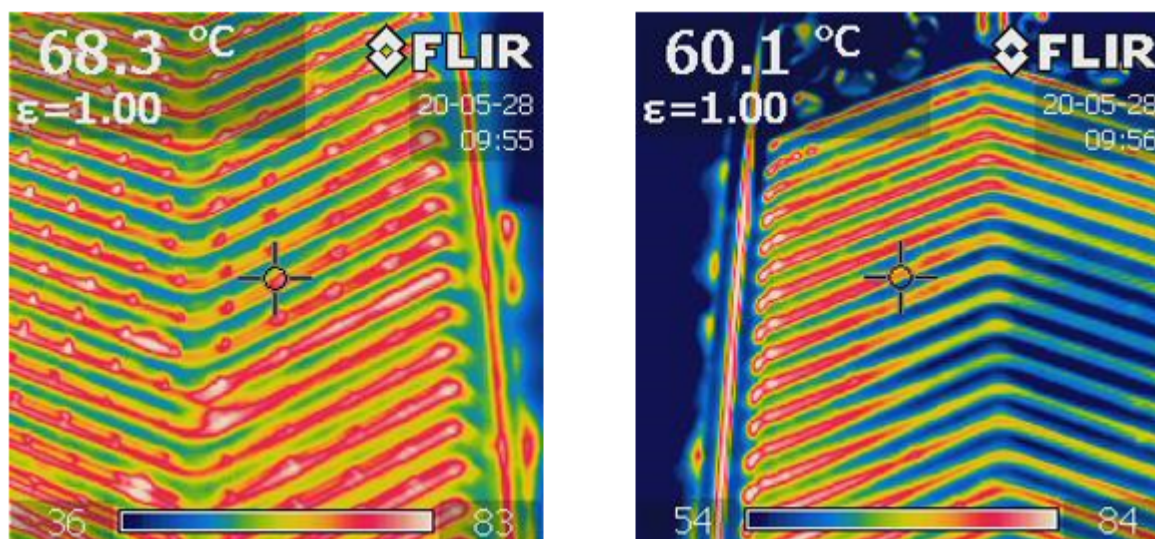


Рис. 4. Увеличенное изображение поверхности пластин

Из термограмм видно, что основной нагрев происходит в площадках, располагающихся между гофрами. Это еще раз подтверждает верность выбранного способа интенсификации теплообмена в пластинчатом теплообменном аппарате. Более высокое значение температуры обусловлено наличием сферических углублений, располагающихся по линейному закону на расстоянии $6-12r$, где r – радиус сферического углубления, м. Согласно фундаментальным исследованиям Жукаускаса [18], именно такое расстояние способствует формированию непрерывного турбулентного следа. В основу выбора данного метода интенсификации легли исследования сотрудников БГТУ им. В.Г. Шухова [19–21].

При использовании тепловизионного метода определяется локальная температура в точке для получения средней температуры нагретого тела, которая используется при расчете коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·°C).

В качестве начальных условий использовались:

- температура потока жидкости омываемой пластины была постоянной и равной 80 °C;
- продолжительность эксперимента 30 мин.

Расчет осуществлялся по известной методике, рассмотренной в [22]. Согласно [23] связь

истинной температуры нагретого тела с яркостной температурой абсолютно черного тела выражается следующим образом:

$$T = \frac{T_{\text{я}}}{1 + \frac{T_{\text{я}}}{T_*} \cdot \ln(K_{\text{я}})}, \quad (3)$$

где $T_{\text{я}}$ – яркостная температура абсолютно черного тела, °C; T_* – характеристическая температура, зависящая от длины волны светофильтра, °C; $K_{\text{я}}$ – коэффициент яркости.

Температура сферических углублений определялась по формуле:

$$T_{\text{сф}} = \frac{T_{\text{я}}}{1 + \frac{T_{\text{я}}}{T_*} \cdot \ln\left(\frac{K_{\text{я}}}{D}\right)}, \quad (4)$$

где D – отношение квадрата расстояния до тепловизора к квадрату радиуса углубления.

Таким образом, была определена средняя температура гофрированной поверхности с углублениями и без углублений. Результаты исследования представлены на рис. 5.

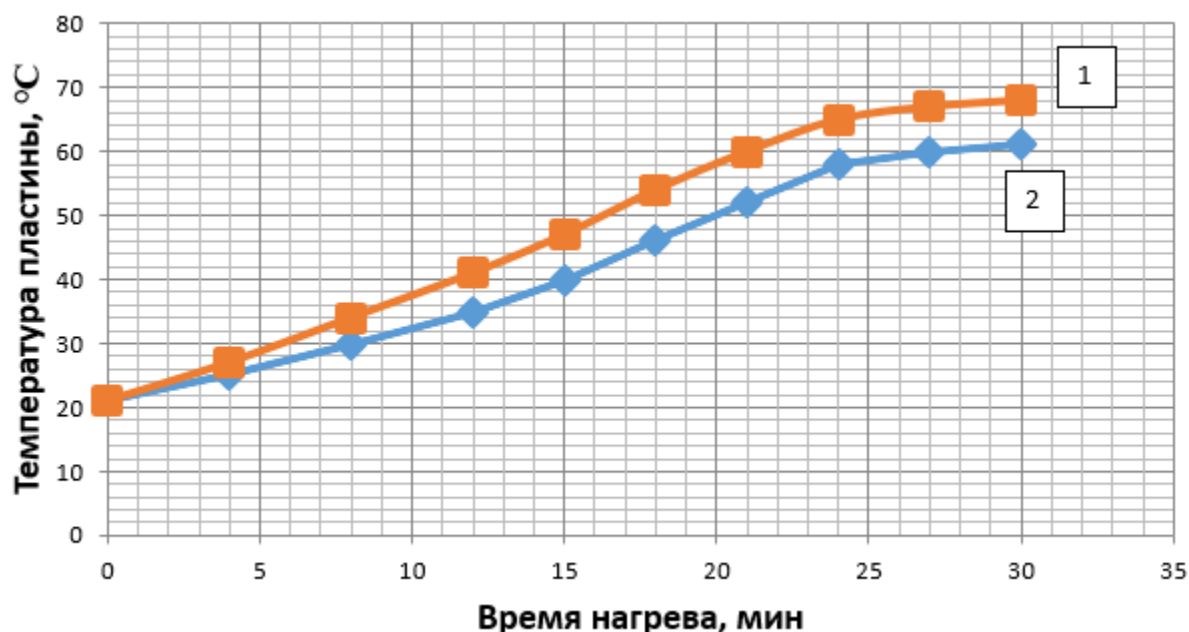


Рис. 5. График зависимости времени нагрева от температуры пластин:

- 1 – гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону;
2 – гофрированная пластина

Из графика видно, что гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону, нагревается быстрее, что способствует повышению эффективности теплообменного оборудования и, в конечном итоге, способствует увеличению коэффициента теплопередачи K , Вт/(м²·°C).

Расчетная формула для определения коэффициента теплопередачи K , Вт/(м²·°C) на основании «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» имеет вид:

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}, \quad (5)$$

где β – коэффициент, учитывающий уменьшение коэффициента теплопередачи из-за термического сопротивления накипи и загрязнений на пластине, в зависимости от качества воды принимается равным 0,7 – 0,85; α_1 – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C); α_2 – коэффициент теплоприемности, Вт/(м²·°C); $\delta_{ст}$ – толщина стенки пластины, м; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стали, Вт/(м²·°C).

Необходимо отметить, что в ламинарном подслое перенос теплоты от жидкости к пластине (и наоборот) характеризуется теплопроводностью. Соответственно, чем толще ламинарный подслой, тем меньше теплоты передается через него основному потоку. Отсюда можно сделать вывод, что уменьшение толщины ламинарного подслоя жидкости у стенки способствует повышению коэффициента теплоотдачи, который определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{l}, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности тела, Вт/(м²·°C); Nu – число Нуссельта; l – определяющий геометрический параметр поверхности (для пластины – длина, м).

Число Нуссельта Nu является единственным критерием подобия, при нахождении которого используется значение средней температуры, определенное практическим способом с помощью тепловизора FLIR i50.

Таким образом, применение тепловизионного метода является оригинальным способом в исследовании теплообменных процессов, позволяющим показать реальное увеличение коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменного аппарата.

Выводы.

1. Рассмотренный метод интенсификации теплообменных процессов – нанесение сферических углублений по линейному закону, приводит к увеличению турбулизации теплоносителя.

2. Экспериментально установлено, что сферические углубления, диаметром 0,6 мм, приводят к возникновению вихревой зоны, способствующей более эффективному перемешиванию теплоносителя.

3. Проведенное сравнение двух пластин для теплообменного аппарата подтверждает преимущество использования гофрированных пластин со сферическими углублениями.

4. Высокое значение коэффициента теплопередачи приведет к снижению стоимости теплообменного оборудования, уменьшению габаритных размеров (металлоемкости).

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сабитова Н.М. Бюджет и бюджетная политика субъекта Российской Федерации. М.: ИНФРА-М, 2017. 363 с.
2. Грабовой П.Г. Планирование и контроллинг в коммунальной сфере. Екатеринбург: РГППУ, 2010. 546 с.
3. Ливчак И.Ф., Кувшинов Ю.Я. Развитие теплоснабжения, климатизации и вентиляции в России за 100 последних лет. М.: Ассоциации строительных вузов, 2013. 778с.
4. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. М.: Новости теплоснабжения, 2013. 448 с.
5. Саввин Н.Ю., Никулин Н.Ю., Дралов А.В. Современное теплообменное оборудование для различных сфер промышленности и теплоэнергетики // Инженерные системы и городское хозяйство. сборник материалов научных трудов. Сер. "Инженерные системы и городское хозяйство". Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2020. С. 291–299.
6. Саввин Н.Ю., Куцев Л.А. Энергосберегающее теплообменное оборудование для различных сфер промышленности и теплоэнергетики // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2020. С. 200–203.
7. Wagh P., Pople M.U. Optimization of a Shell and Tube Condenser using Numerical Method // International Journal of Engineering Research and Applications. 2015. Vol. 7. Pp. 9–15.
8. Moretti R, Errera M., Couaillier V, Feyel F. Effect of the perforation design on the fluid flow and heat transfer characteristics of a plate fin heat exchanger // International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 126. Pp. 172–180.
9. Zarea H., Rezaeian M., Soltani M., Kashkooli F. A novel single and multi-objective optimization approach based on Bees Algorithm Hybrid with Particle Swarm Optimization (BAHPSO): Application to thermal-economic design of plate fin

heat exchangers // International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 129. Pp. 552–564.

10. Gulenoglu C., Akturk F., Aradag S., Sezer Uzol N., Kakac S. Experimental comparison of performances of three different plates for gasketed plate heat exchangers // International Journal of Thermal Sciences. 2014. No. 75. Pp. 249–256.

11. Segundo E., Viviana A., Cocco G., Coelho L. Thermodynamic optimization design for plate-fin heat exchangers by Tsallis JADE // International Journal of Thermal Sciences. 2016. No. 113. Pp. 136–144.

12. Вавилов В.П., Александров А.Н. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике. М.: НТФ "Энергопрогресс", 2003. 76 с.

13. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 736 с.

14. Соловьёв С.В. Тепловизионный контроль электроустановок в Белгородских электрических сетях // Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов. 2020. № 3. С. 19–24.

15. Дроздов В.А., Сухарев В.И. Термография в строительстве. М.: Стройиздат, 1987. 240 с.

16. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа, 2001. 550 с.

17. Исаев Р.А. Модифицированный метод парных сравнений для экспертной оценки параметров нечеткой когнитивной модели // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. № 2. С. 35–42.

18. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. 472 с.

19. Пат. 199344, Российская Федерация, МПК F28F 3/00. Пластина теплообменника / Л.А. Кушев, Н.Ю. Саввин, А.Ю. Феоктистов; заявл. 03.04.2020; опубл. 28.08.2020, Бюл. № 25. 5 с.

20. Nikulin N.Yu., Kushchev L.A., Feoktistov A. Yu. Determination of thermal parameters of a shell and tube heat exchanger with increased turbulization of the working fluid // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 812. 012004.

21. Savvin N.Yu., Kushchev L.A., Alifanova A.I. Modern methods of intensification of heat exchange processes in plate apparatuses // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. 012001.

22. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984. 247 с.

23. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. М.: Высшая школа, 1972. 316 с.

Информация об авторах

Кушев Леонид Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: leonidkushev@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Саввин Никита Юрьевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: n-savvin@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 15.11.2020

© Кушев Л.А., Саввин Н.Ю., 2021

Kushcev L.A., *Savvin N.Yu.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: n-savvin@mail.ru*

THERMAL IMAGING STUDIES OF THE ORIGINAL HEAT EXCHANGER PLATE

Abstract. A modern method for studying the temperature field of heated bodies is considered. The object under study is a corrugated heat exchange plate with an original geometry. Heat exchangers are one of the main types of process equipment in heat supply systems. The article presents a comparison of two main types of heat exchange equipment: shell-and-tube and plate devices. The FLIR i50 thermal imaging device is characterized. A comparison is made between a standard heat exchange plate and a corrugated plate with spherical recesses located linearly on the areas between the corrugations. The use of original plates can increase the efficiency of the heat exchange process due to increased turbulization of the coolant. The relationship between the true temperature of a heated body and the brightness temperature of a black body is established. Experimental studies are carried out, in result the value of the average temperature of the heated body is obtained. This value is necessary for further calculation of heat transfer coefficients, which, in turn, are decisive in calculating the main parameter that characterizes the efficiency of heat exchange equipment—the heat

transfer coefficient. The use of thermal imaging is the original way to study heat transfer processes, allowing to show the real increase of heat transfer coefficient of a plate heat exchanger.

Keywords: *plate heat exchanger, heat transfer coefficient, thermal imager, turbulization, spherical recesses.*

REFERENCES

1. Sabitova N.M. Budget and budget policy of the subject of the Russian Federation. [Byudzhet i byudzhetnaya politika sub"ekta Rossijskoj Federacii]. Moscow: INFRA-M, 2017. 363 p. (rus)
2. Grabovoi P.G. Planning and controlling in the municipal sphere. [Planirovanie i kontrolling v kommunal'noj sfere]. Yekaterinburg: RGPPU, 2010. 546 p. (rus)
3. Livchak I.F., Kuvshinov Yu.Ya. Development of heat supply, climate control and ventilation in Russia over the last 100 years. [Razvitie teplosnabzheniya, klimatizacii i ventilyacii v Rossii za 100 poslednih let]. Moscow: Associations of construction universities, 2013. 778c. (rus)
4. Yakovlev B.V. Improving the efficiency of heating and heat supply systems. [Povyshenie effektivnosti sistem teplofikacii i teplosnabzheniya]. Moscow: Heat supply news, 2013. 448 p.
5. Savvin N.Yu., Nikulin N.Yu., Dralov A.V. Modern heat exchange equipment for various industries and heat power engineering. [Sovremennoe teploobmennoe oborudovanie dlya razlichnyh sfer promyshlennosti i teploenergetiki]. Engineering systems and urban economy. collection of materials of scientific works. Ser. "Engineering systems and urban economy". Saint Petersburg state University of architecture and civil engineering. 2020. Pp. 291–299. (rus)
6. Savvin N.Yu., Kushchev L.A. Energy-Saving heat exchange equipment for various industries and heat power engineering. [Energoberegayushchee teploobmennoe oborudovanie dlya razlichnyh sfer promyshlennosti i teploenergetiki]. Materials of the III all-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 100th anniversary OF the Moscow state technical University named after M. D. Millionshchikov. Grozny state oil technical University named after academician M. D. Millionshchikov. 2020. Pp. 200–203. (rus)
7. Wagh P., Pople M.U. Optimization of a Shell and Tube Condenser using Numerical Method. International Journal of Engineering Research and Applications. 2015. Vol. 7. Pp. 9–15.
8. Moretti R, Errera M., Couaillier V, Feyel F. Effect of the perforation design on the fluid flow and heat transfer characteristics of a plate fin heat exchanger. International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 126. Pp. 172–180.
9. Zarea H., Rezaeian M., Soltani M., Kashkooli F. A novel single and multi-objective optimization approach based on Bees Algorithm Hybrid with Particle Swarm Optimization (BAHPSO): Application to thermal-economic design of plate fin heat exchangers. International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 129. Pp. 552–564.
10. Gulenoglu C., Akturk F., Aradag S., Sezer Uzol N., Kakac S. Experimental comparison of performances of three different plates for gasketed plate heat exchangers. International Journal of Thermal Sciences. 2014. No. 75. Pp. 249–256.
11. Segundo E., Viviana A., Cocco G., Coelho L. Thermodynamic optimization design for plate-fin heat exchangers by Tsallis JADE. International Journal of Thermal Sciences. 2016. No. 113. Pp. 136–144.
12. Vavilov V.P., Aleksandrov A.N. Infrared thermographic diagnostics in construction and power engineering. [Infrakrasnaya termograficheskaya diagnostika v stroitel'stve i energetike]. Moscow: NTF "Energoprogress", 2003. 76 p. (rus)
13. Tikhonov A.N., Samarsky A. A. Equations of mathematical physics. [Urvneniya matematicheskoy fiziki]. Moscow: Nauka, 1972. 736 p. (rus)
14. Solovyov S.V. thermal Imaging control of electrical installations in Belgorod electric networks. [Teplovizionnyj kontrol' elektroustanovok v Belgorodskih elektricheskikh setyah]. Modern methods of technical diagnostics and non-destructive testing of parts and components. 2020. No. 3. Pp. 19–24.
15. Drozdov V.A., Sukharev V.I. Thermography in construction. [Termografiya v stroitel'stve]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 240 p. (rus)
16. Kartashov E. M. Analytical methods in the theory of heat conduction of solids. [Analiticheskie metody v teorii teploprovodnosti tverdyh tel]. Moscow: Higher school, 2001. 550 p. (rus)
17. Isaev R.A. Modified method of pair comparisons for expert evaluation of parameters of a fuzzy cognitive model. [Modificirovannyj metod parnyh sravnenij dlya ekspertnoj ocenki parametrov nechetkoj kognitivnoj modeli]. Modern information technologies and it education. 2016. No. 2. Pp. 35–42. (rus)
18. Zhukauskas A.A. Convective transfer in heat exchangers. [Konvektivnyj perenos v teploobmennikah]. Moscow: Nauka, 1982. 472 p. (rus)
19. Kushchev L.A., Savvin N.Yu., Feoktistov A. Yu. Heat exchanger plate. Patent RF, no. 199344, 2020.
20. Nikulin N.Yu., Kushchev L.A., Feoktistov A.Yu. Determination of thermal parameters of a shell and tube heat exchanger with increased turbulization of the working fluid. IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing. 2020. Vol 812. Pp. 012004.

21. Savvin N.Yu., Kushchev L.A., Alifanova A.I. Modern methods of intensification of heat exchange processes in plate apparatuses. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. Pp. 012001.

22. Dulnev G.N. Heat and mass transfer in radio-electronic equipment. [Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре]. Moscow: Higher school, 1984. 247 p. (rus)

23. Yavorsky B.M., Detlaf A.A. Course of physics. [Kurs fiziki]. Moscow: Higher school, 1972. 316 p. (rus)

Information about the authors

Kushcev, Leonid A. DSc, Professor. E-mail: leonidkushev@gmail.com, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Savvin, Nikita Yu. Postgraduate student. E-mail: n-savvin@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 15.11.2020

Для цитирования:

Кушцев Л.А., Саввин Н.Ю. Тепловизионные исследования оригинальной пластины теплообменника // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 38–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-38-45

For citation:

Kushcev L.A., Savvin N.Yu. Thermal imaging studies of the original heat exchanger plate. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 38–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-38-45