

Емельянов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

Елисеев Сергей Яковлевич, кандидат химических наук,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

Соколов Денис Аркадьевич, курсант,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

Морозов Дмитрий Александрович, курсант,
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В РЕКУПЕРАТИВНОМ
ГАЗОЖИДКОСТНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ
INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN THE RECUPERATIVE
GAS-LIQUID HEAT EXCHANGER**

Аннотация. В статье представлена разработка газожидкостного теплообменного аппарата рекуперативного типа. Произведены расчеты для различных схем движения теплоносителя. Определены соответствующие значения критериев подобия и коэффициента теплопередачи при процессе теплообмена в рекуперативном газожидкостном теплообменнике.

Abstract. The article presents the development of a gas-liquid heat exchanger of the recuperative type. Calculations have been made for various flow patterns of the heat carrier. The relevant values of the similarity criterion and the heat transfer coefficient at the heat exchange process in a recuperative gas-liquid heat exchanger are determined.



Ключевые слова: теплообмен, теплопередача, теплоноситель, рекуперативный теплообменник, критерии подобия.

Keywords: heat transfer, heat transmission, heat carrier, regenerative heat exchanger, similarity criterion.

Теплообменные аппараты успешно используют в различных отраслях промышленности, а также применяют для реализации множества тепловых процессов, таких как охлаждение, нагревание, конденсация, кипение, сушка, увлажнение и т.д. На авиационной технике они устанавливаются в масляной системе, системе кондиционирования, топливной системе, а также используются для охлаждения турбины.

Для исследования процесса теплообмена разработана экспериментальная установка, представляющая собой газожидкостный теплообменный аппарат рекуперативного типа. Особенностью данной установки является то, что на ней есть возможность устанавливать теплообменники с различными материалами теплопередающей поверхности, различными площадями, чтобы проверить какой из них является наилучшим вариантом, а также менять скорость подачи теплоносителя. При проведении опыта на экспериментальной установке и выполнении расчетной части, используется рекуперативный теплообменный аппарат с цилиндрической конфигурацией внутренней поверхности теплообмена.

Работа экспериментальной установки осуществляется следующим образом: с помощью блока управления регулируется подача воды в нужном количестве, а также контролируются все параметры агрегатов и датчиков. На схеме красным цветом показано движение горячей воды. Она поступает из бака с горячей водой, где поддерживается постоянная температура при помощи нагревателя, вода из бака подкачивается циркуляционным насосом, далее она, идя по каналу, проходит через расходомер и датчик температуры, после чего попадает в теплообменники, которые охлаждаются вентилятором, затем холодная вода попадает обратно в бак. На экспериментальной установке



установлены регистраторы, с помощью которых записываются все полученные значения в ходе эксперимента.

Схема разработанной экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

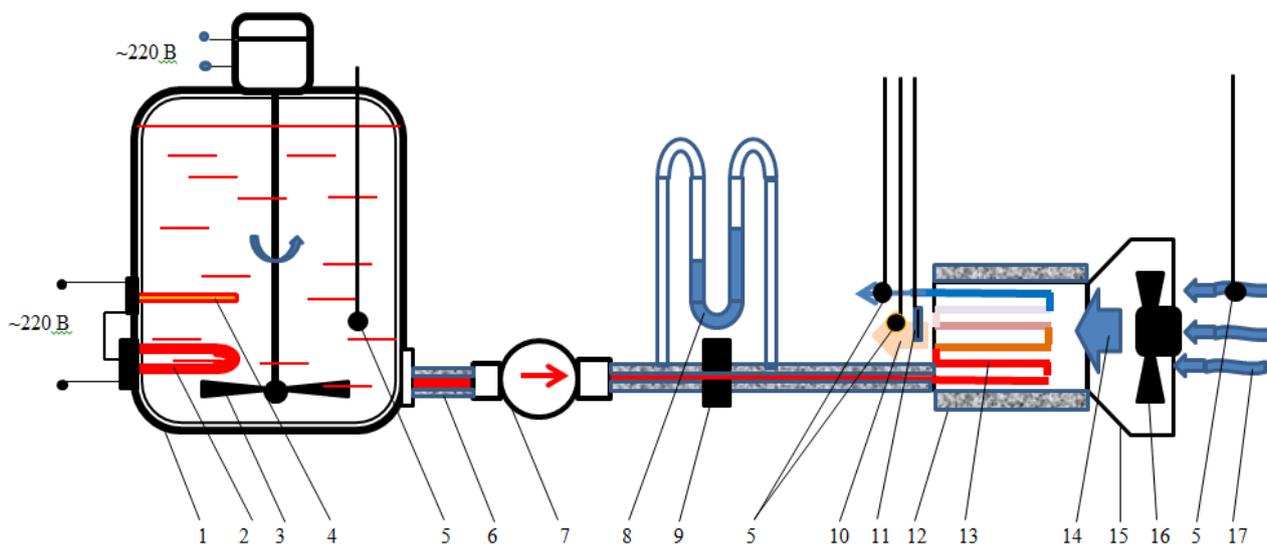


Рисунок 1 – Схема разработанной экспериментальной установки.

- 1 – бак с водой, 2 – ТЭН, 3 – мешалка, 4 – терморегулятор,
5 – датчики температур, 6 – канал подачи горячего теплоносителя, 7 – насос,
8 – жидкостной манометр, 9 – расходомерная шайба, 10 – поток воздуха на выходе из теплообменника, 11 – датчик расхода, 12 – короб теплообменника,
13 – теплообменник, 14 – поток воздуха на входе в теплообменник,
15 – направляющий переходник, 16 – вентилятор, 17 – окружающий воздух.

Основным уравнением для расчета любого теплообменника является уравнение теплопередачи [1]:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t$$

В это уравнение входит коэффициент k , который определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$



Сложность в определении k заключается в определении α , так как он является функцией многих параметров $\alpha = f(\lambda, \nu, \rho, \omega, c, l)$, и определить его таким путем практически невозможно. Поэтому коэффициент теплоотдачи α определяют через критерии подобия Re, Nu, Gr, Pr [2].

Для дальнейших расчетов, кроме теплофизических параметров теплоносителей, необходимы геометрические размеры поверхностей теплообмена.

Производятся расчеты для различных схем движения (противоток) горячего теплоносителя в медном теплообменнике витой конструкции [3]:

1. Определяющая температура теплоносителя находится из уравнения:

$$t_1 = (t_1' + t_1'')/2$$

2. Определяется площадь поперечного сечения внутренней трубки:

$$F_1 = \pi r^2$$

3. Находится скорость течения теплоносителя:

$$c_1 = M_1 \cdot F_1$$

4. Рассчитывается критерий Рейнольдса:

$$Re_1 = c_1 \cdot d_1 / \nu_1$$

Критерий $Re > 10000$, следовательно, режим движения теплоносителя турбулентный. Тогда определяем критерий Нуссельта при турбулентном режиме течения по критериальному уравнению для турбулентного режима [4]:

$$Nu = A \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43}$$

$$a_1 = Nu_1 \cdot \lambda_1 / d_1$$

В ходе проведения эксперимента были получены значения температур на входе и выходе теплообменника при прямоточном движении горячего теплоносителя. В качестве теплоносителей использовалась вода.

Проведя эксперимент и выполнив ряд расчетов, получились следующие результаты. Для медного теплообменника витой конструкции данные приведены в таблице 1.



Результаты эксперимента
для медного теплообменника витой конструкции

	Горячий теплоноситель		Холодный теплоноситель	
	Вх.	Вых.	Вх.	Вых.
$t, ^\circ\text{C}$	59,6	45,6	19,84	21,6
$M, \text{кг/с}$	0,025		0.034	
$c, \text{м/с}$	2,7		3,6	
$\alpha, \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$	16588		181	
$k, \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$	172,4			
$Q, \text{Вт}$	171			

Для алюминиевого теплообменника трубчатой конструкции данные приведены в таблице 2.

Результаты эксперимента
для алюминиевого теплообменника трубчатой конструкции

	Горячий теплоноситель		Холодный теплоноситель	
	Вх.	Вых.	Вх.	Вых.
$t, ^\circ\text{C}$	60,4	39,8	19	32
$M, \text{кг/с}$	0,022		0.034	
$c, \text{м/с}$	0,84		3,6	
$\alpha, \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$	5875		181	
$k, \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$	434,7			
$Q, \text{Вт}$	307,5			

Исходя из результатов исследования теплообмена в рекуперативном газожидкостном теплообменнике можно сделать вывод, что, не смотря, на то, что медь имеет коэффициент теплопроводности больше чем у алюминия,



коэффициент теплопередачи и отдаваемая теплота получились меньше из-за конструкции теплообменника. Медный теплообменник имеет витую конструкцию, а алюминиевый – трубчатую.

Исследован теплообмен в рекуперативном газожидкостном теплообменнике, определены соответствующие значения критериев подобия и коэффициента теплопередачи. Кроме того, разработана экспериментальная установка, позволяющая проводить исследования рекуперативного газожидкостного (воздух-вода) теплообменника с возможностью замены материала теплопередающей поверхности, изменения конструкции теплообменника и регулирования параметров теплоносителей.

Список литературы:

1. Бухмиров В.В. Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата / В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина, Ю.С. Солнышкова, М.В. Пророкова // ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – 2013. – 124 с.
2. Михайленко Е.В. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного аппарата / Е.В. Михайленко // УГТУ. – 2013. – 36 с.
3. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел // М.: Энергия. – 1975. – 488 с.
4. Кривель П.М. Техническая термодинамика и теплопередача / П.М. Кривель, А.А. Алексеев, А.В. Москвичев // Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». – 2020. – 300 с.

