

УДК 621.22.01

А. А. Олексюк, д-р техн. наук, проф., **А. М. Гущин**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Е. А. Бондарь, канд. техн. наук, **А. А. Бондарь**
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ДНР
ГОУ ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта», ДНР
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР
Тел: +38 (071) 3792920; E-mail: helen.bondar@inbox.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЕЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Рассмотрен расчет простейшего рекуперативного теплообменника, предложены расчетные зависимости для определения необходимых размеров теплообменника при известных начальных температурах греющего и нагреваемого теплоносителей и при заданных конечных температурах одного из теплоносителей. Решена обратная задача – определение конечных температур одного из теплоносителей при заданных начальных температурах теплоносителей и заданных размерах теплообменника.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, теплоноситель, температура.

A. A. Oleksyuk, A. M. Gushchin, Y. A. Bondar, A. A. Bondar

DETERMINATION OF FINAL TEMPERATURES OF HEAT CARRIERS RECOVERABLE HEAT EXCHANGER

The calculation of the simplest recuperative heat exchanger is considered, design dependencies are proposed for determining the necessary dimensions of the heat exchanger at known initial temperatures of the heating and heated fluids and at given final temperatures of one of the fluids. The inverse problem has been solved - determination of the final temperatures of one of the coolants at given initial temperatures of the coolants and given sizes of the heat exchanger.

Keywords: heat exchanger, heat carrier, temperature.

1. Введение

Рекуперативные теплообменники используются в различных отраслях техники, в частности при охлаждении машин.

Известные методики расчета рекуперативных теплообменников имеют различные температурные граничные условия теплоносителей. [1- 9].

Так, в работе [1] для получения расчетной зависимости, связывающей температуры теплоносителей с площадью теплообмена, использовано в качестве математической модели процесса теплообмена уравнение теплового баланса в форме:

$$k \cdot \Delta t \cdot dF = m_2 \cdot c_2 \cdot d(\Delta t), \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопередачи через разделяющую стенку от греющего к нагреваемому теплоносителю;

Δt - разность температур греющего и нагреваемого теплоносителей;

dF - элементарная площадка теплообмена;

m_2 - секундный массовый расход нагреваемого теплоносителя;

c_2 - удельная массовая теплоемкость нагреваемого теплоносителя;

$d(\Delta t)$ - изменение температурного напора между теплоносителями на участке dF .

Такое уравнение теплового баланса (1) справедливо для случая, когда температура греющего теплоносителя постоянна при движении его в теплообменнике.

Для случая, когда в теплообменнике изменяется температура обоих теплоносителей уравнение (1) использовать нельзя. Это вызывает необходимость получения новых зависимостей, отражающих реальные процессы теплообмена в теплообменнике.

2. Основное содержание и результаты работы

Для получения решений, отражающих реальные процессы в теплообменнике, использованы уравнения теплового баланса и расчетная схема простейшего противоточного рекуперативного теплообменного аппарата (рис.1).

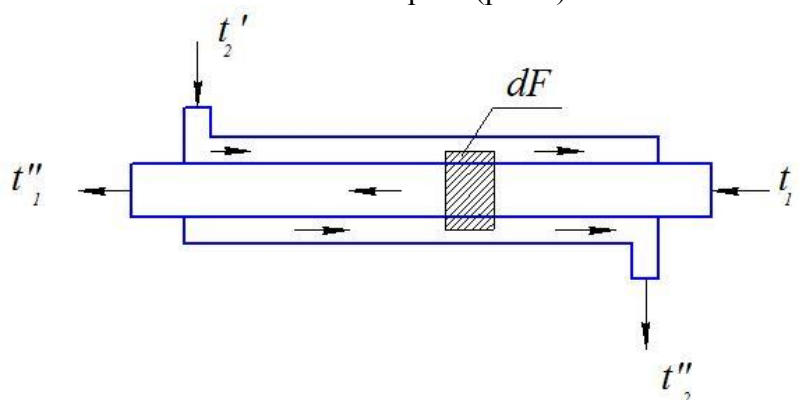


Рисунок 1. Расчетная схема противоточного рекуперативного теплообменника

- t'_1 - начальная температура горячего теплоносителя;
- t''_1 - конечная температура горячего теплоносителя;
- t'_2 - начальная температура нагреваемого теплоносителя;
- t''_2 - конечная температура нагреваемого теплоносителя.

За начало отсчета по длине теплообменника принята точка входа в теплообменник холодного теплоносителя и начало теплообмена его с горячим теплоносителем (рис. 1).

Выделим в теплообменнике элементарную площадку теплообмена dF . В пределах этой площадки будем считать, что вся теплота, использованная горячим теплоносителем, без потерь воспринимается холодным теплоносителем

$$dQ = m_1 \cdot c_1 \cdot dt_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot dt_2, \tag{2}$$

где dQ - количество теплоты в пределах элементарной площадки dF ;

m_1 - секундный массовый расход горячего теплоносителя;

c_1 - удельная массовая теплоемкость горячего теплоносителя;

dt_1 - изменение температуры горячего теплоносителя;

dt_2 - изменение температуры нагреваемого теплоносителя.

С другой стороны, количество передаваемой теплоты через площадку dF выражается соотношением:

$$dQ = k(t_1 - t_2) \cdot dF, \tag{3}$$

где t_1 - промежуточная температуры горячего теплоносителя;

t_2 - промежуточная температуры нагреваемого теплоносителя.

Уравнения (2) и (3) позволяют составить систему двух дифференциальных уравнений, решение которых позволит находить ответы для прямой и обратной задач в двухконтурном теплообменном аппарате.

3. Общий алгоритм и рекомендации

Из уравнений теплового баланса (2) и (3) составляем систему дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} m_1 c_1 \cdot dt_1 &= k \cdot dF(t_1 - t_2) \\ m_2 c_2 \cdot dt_2 &= k \cdot dF(t_1 - t_2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Систему уравнений (4) представим в другом виде

$$\left. \begin{aligned} dt_1 &= \frac{k \cdot dF}{m_1 c_1} (t_1 - t_2) \\ dt_2 &= \frac{k \cdot dF}{m_2 c_2} (t_1 - t_2) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Вычитанием уравнений в системе (5) получим

$$d(t_1 - t_2) = \left(\frac{1}{m_1 c_1} - \frac{1}{m_2 c_2} \right) k(t_1 - t_2) \cdot dF, \quad (6)$$

В уравнении (6) разность температур $(t_1 - t_2)$ представим как новую переменную

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = k \cdot \left(\frac{1}{m_1 c_1} - \frac{1}{m_2 c_2} \right) \cdot dF, \quad (7)$$

Уравнение (7) интегрируем в следующем виде

$$\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'} = k \cdot \left(\frac{1}{m_1 c_1} - \frac{1}{m_2 c_2} \right) \cdot F, \quad (8)$$

Соотношение между температурами t_1' , t_1'' , t_2' и t_2'' в уравнении (8) не могут быть произвольными. Они зависят от $m_1 \cdot c_1$ и $m_2 \cdot c_2$. Эту взаимосвязь можно установить с использованием уравнения (2), интегрируя его

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1' - t_1'') = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2'' - t_2') \quad (9)$$

Для совместного решения уравнений (8) и (9) одну из температур уравнения (9) подставим в уравнение (8). Если, например, из уравнения (9) находим температуру t_2''

$$t_2'' = t_2' + \frac{m_1 c_1}{m_2 c_2} (t_1' - t_1''), \quad (10)$$

Соотношение (10) подставляем в уравнение (8). После некоторых алгебраических преобразований получим следующую зависимость

$$\ln \frac{t_1' (1-b) - t_2' + b \cdot t_1''}{t_1'' - t_2'} = \frac{k \cdot F}{m_1 c_1} (1-b), \quad (11)$$

$$\text{где } b = \frac{m_1 c_1}{m_2 c_2}, \quad (12)$$

4. Цифровые модели. Из уравнения (11) непосредственно определяется необходимая площадь F . Для определения отдельных температур при известной площади теплообмена к уравнению (11) необходимо применить правило потенцирования, согласно которому получим соотношение

$$\frac{t_1' (1-b) + b \cdot t_1'' - t_2'}{t_1'' - t_2'} = \exp \left[\frac{kF}{m_1 c_1} (1-b) \right] \quad (13)$$

Из уравнения (12) можно определить одну из температур при известных двух других значениях температур. Однако, формулы (11) и (13) нельзя использовать при равенстве величин $m_1 c_1 = m_2 c_2$, то есть, когда $b=1$. Так, при определении величины F из уравнения (11) имеет место неопределенность вида $\frac{0}{0}$.

Для раскрытия этой неопределенности используем правило Лопиталья, согласно которому предел отношения их производных. Согласно этому правилу можно записать

$$\frac{\lim_{b \rightarrow 1} \ln \frac{t_1' (1-b) + b \cdot t_1'' - t_2'}{t_1'' - t_2'}}{(1-b)_{(b \rightarrow 1)}} = \frac{\lim_{b \rightarrow 1} \frac{d}{db} \ln \frac{t_1' (1-b) + b \cdot t_1'' - t_2'}{t_1'' - t_2'}}{\lim_{b \rightarrow 1} \frac{d}{db} (1-b)} \quad (14)$$

После определения производных в уравнении (14) и выполнения алгебраических преобразований получим соотношение

$$\frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'} = \frac{kF}{mc} \quad (15)$$

Полученное уравнение (15) можно использовать для определения необходимой поверхности теплообмена F или одной из температур теплоносителей для случая, когда $m_1 c_1 = m_2 c_2$.

5. Заключение

В результате проведенных исследований получены расчетные зависимости для определения конечных температур холодного и горячего теплоносителей и необходи-

мой площади теплообменника при заданных начальных температурах и конечной температуры одного из теплоносителей.

1) Для простейшего противоточного теплообменника получены расчетные зависимости для определения конечных температур теплоносителей и требуемой поверхности теплообменника.

2) Показано, что нельзя задавать одновременно конечные температуры обеих теплоносителей, так как они функционально связаны.

3) Доказано, что полученные расчетные зависимости для определения конечных температур теплоносителей имеют ограничения по области их применения. В частности, при условии $m_1c_1 = m_2c_2$ эти соотношения имеют неопределенность типа $\frac{0}{0}$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Теплотехника: учебник для вузов / А. П. Баскаков [и др.]; под ред. А. П. Баскакова. – 2-е изд, перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

2. Кудинов, В. И. Аналитические решения параболических и гиперболических уравнений тепломассопереноса [Текст]: учеб. пособие / В. И. Кудинов, В. А. Кудинов; под ред. Э. М. Карташова. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 390 с.

3. Лыков, А. В. Тепломассообмен: Справочник / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

4. Малов, Ю. И. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопроводности в цилиндрическом тепловыделяющем элементе [Текст] / Ю.И. Малов, Т. А. Нужненко // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2003. – № 2. – С. 20–27.

5. Математическая модель нестационарного охлаждения газов в теплообменном аппарате / Ю. В. Александров [и др.] // Авиационные двигатели. – 2018. – № 1. – С. 49–53.

6. Алифанов, А. В. Двумерное стационарное температурное поле системы ограниченных разнородных цилиндров, находящихся в идеальном тепловом контакте [Текст] / А. В. Алифанов, В. М. Голуб // Инж.- физ. журн. – 2003. – Т. 76. – № 1. – С. 173–177.

7. Мельников, В. В. Нестационарный теплообмен в полой составной цилиндре / В. В. Мельников // Прикладная механика и техническая физика. – 2005. – Т. 46. – №2. – С. 31–33.

8. Дрейцер, Г. А. Исследование структуры турбулентных течений, теплообмена и гидродинамики в условиях гидродинамической нестационарности [Текст] / Г. А. Дрейцер, В. М. Краев // Изв. РАН. Энергетика. – 2006. – № 4. – С. 131–144.

9. Malakhova, T. V., Dynnikov Y. A. Investigation of the heat transfer from oscillating cylinder by the VVD method / T. V. Malakhova, Y. A. Dynnikov // Сборник тезисов докладов Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Механика неоднородных жидкостей в полях внешних сил: Вихри и волны» – М.: 2011. – С. 32–32.

Поступила в редколлегию 13.05.2020 г.