

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

А.А. Бычкова, М.А. Дмитриенко, Г.С. Няшина

Научный руководитель: ассистент М.Н. Морозов
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет
 E-mail: tpu_chm@tpu.ru

В настоящее время существует тенденция модернизации теплообменного оборудования заключается в замене кожухотрубчатых аппаратов на пластинчатые. Пластинчатые теплообменные аппараты (ПТА) – вид теплообменников, где поверхность теплообмена изготовлена из тонкого листа (пластины), которые разделяют плоские каналы. По каналам протекают потоки жидкости или газа с разными температурами. Теплообмен происходит за счет конвекции и теплопередачи через стенку [1–2].

Моделирование ПТА осуществляется с помощью метода последовательных приближений. Для проверочного теплового расчета пакета пластин с каналами различной геометрической конфигурации существует методика, основанная на использовании метода ε -NTU [3], который оперирует с величинами, характерными для зарубежной методики расчета и основан на использовании значения средней логарифмической разности температур. ПТА можно рассматривать как совокупность одноходовых блоков пластин. Условия для всех каналов в таких блоках идентичны. В работе рассматривается компоновка с $n_1=20$ ходами для горячего теплоносителя и $n_2=19$ для холодного теплоносителя представлена на Рисунке 1. Площадь теплопередающей поверхности блока $F = (2 \cdot n_1 - 2) \cdot b \cdot l$, где b – ширина пластины, м; l – высота пластины, м.

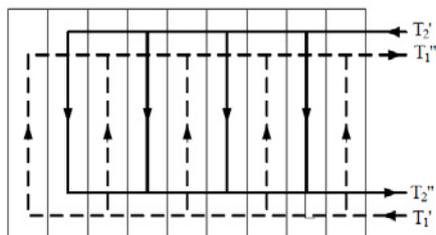


Рис. 1. Компоновка пластинчатого теплообменника:
 T_1', T_2' – температуры на входе горячего и холодного теплоносителей;
 T_1'', T_2'' – температуры на выходе горячего и холодного теплоносителей

В первом приближении, задавшись температурами теплоносителей на выходе, определим коэффициенты теплоотдачи α_1, α_2 и коэффициент теплопередачи k :

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

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); δ – толщина пластины, м.

При расчете критериальных формул для переходного течения необходимо знать температуры наружной и внутренней стенки T_{w1} и T_{w2} :

$$Nu_i = K_0 \cdot Pr_i^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_i}{Pr_{wi}} \right)^{0.25},$$

где K_0 – комплекс определяется по числу Рейнольдса Re_i ; Pr_i и Pr_{wi} – критерий Прандтля при определяющей температуре T_i и при температуре стенки T_{wi} .

В первом приближении T_{w1} и T_{w2} рассчитываются через средне логарифмическую разность температур (для противотока):

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{max} + \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}}, \text{ при } \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}} > 2.$$

Аппроксимация теплофизических характеристик выполнена по справочным данным [4]. Уточнение температур стенок производится с помощью уравнения для плотности теплового потока через стенку. Расхождение не должно превышать 5%:

$$q = k \cdot (T_1 - T_2),$$

где T_1 и T_2 – средние температуры теплоносителей.

После определения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи рассчитываются температуры горячей и холодной воды на выходе, для чего вычисляют водяные эквиваленты:

$$W_i = G_i \cdot c_{pi},$$

где G_i – расход воды, кг/с; c_{pi} – теплоемкость воды, кДж/кгК.

Безразмерный коэффициент теплопередачи (NTU) равен:

$$N = \frac{k \cdot F}{W_{min}}$$

Эффективность теплообменного аппарата для прототока находится с помощью формулы:

$$E = \frac{1 - e^{-N(1 - \frac{W_{min}}{W_{max}})}}{1 - \frac{W_{min}}{W_{max}} \cdot e^{-N(1 - \frac{W_{min}}{W_{max}})}}$$

Так как $W_1 = W_{min}$, то температуры T_1'' и T_2'' вычисляются:

$$T_1'' = T_1' - E \cdot (T_1' - T_2'); \quad T_2'' = T_2' + \frac{W_{min}}{W_{max}} \cdot E \cdot (T_1' - T_2')$$

На основе математических выражений реализована компьютерная модель в Matlab. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

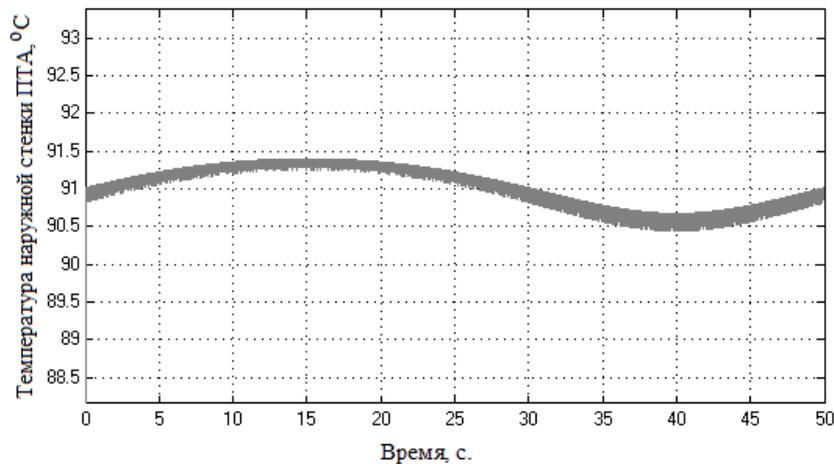


Рис. 2. Изменение температуры наружной стенки ТПА T_{w1}

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ (контракт 16-38-00628).

Список литературы

1. Wang L., Sunden B., Manglik R.M. PHEs. Design, applications and performance. – Southampton : WIT Press, 2007.
2. Shah R.K., Seculic D.P. Fundamentals of heat exchanger design. – New Jersey : Wiley and Sons, 2003. – 941 p.
3. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Арсеньева О.П. Пластинчатые теплообменники в промышленности. – Харьков : НТУ ХПИ, 2004. – 232 с.
4. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов: справочное руководство. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 357 с.