

УДК 62-714: 621.184.54

А.А. ШЕВЕЛЕВ, канд. техн. наук; проф. НТУ «ХПИ», г. Харьков
А.Н. ТАРАСЕНКО, м.н.с. НТУ «ХПИ», г. Харьков
В.С. БАРВИНОК, студент НТУ «ХПИ», г. Харьков

ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХХОДОВОГО ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

На основі чисельного моделювання проведено параметричний аналіз перехідних процесів трубчатого двухходового теплообмінного апарату (ТА). Теплообмінний апарат розглядається як об'єкт з розподільними параметрами. Виконані рішення дозволили отримати перехідні характеристики ТА залежно від темпу зміни температури гріючого теплоносія для ряду характерних значень водяних чисел теплоносіїв.

On the basis of numeral design the self-reactance analysis of transients of tubular two-thread heat-exchange vehicle is conducted. A heat-exchange vehicle is examined as an object with distributive parameters. The executed decisions allowed to get transitional descriptions of heat-exchange vehicle depending on the rate of change of temperature of warming heat-carrying agent for the row of characteristic values of aquatic numbers of heat-carrying agents.

Воздухоподогреватели с приведенной схемой движения теплоносителей (рис. 1) условно можно отнести к прямоточным теплообменным аппаратам (ТА). Их применение позволяет исключить прогорание труб при температуре продуктов сгорания более 450 °С [1]. Из-за высокой температуры нагретого воздуха воздухоподогреватели с перекрестно-прямоточной схемой движения теплоносителей практически исключают низкотемпературную коррозию на поверхностях нагрева при работе парогенераторов на природном газе и даже на мазуте.

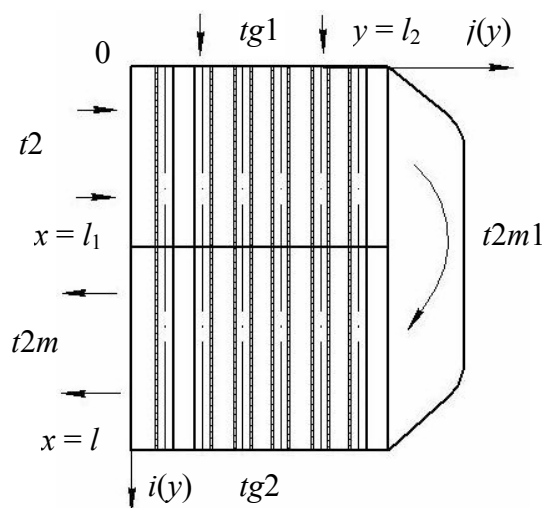


Рис. 1. Упрощенная схема двухходового трубчатого ТА

исследовалась в работах [3, 5], однако, в этих работах рассматривались теплообменники с параметрами теплоносителя, которые постоянны.

В данной работе рассматривается теплообменник, когда его параметры изменяются в зависимости от координаты и времени.

В литературе [2, 3] отсутствуют данные по исследованию динамики ТА с прямоточной схемой движения теплоносителей, как исключение являются некоторые работы авторов [2], которые были получены на основе явных численных методов, требующих проверки на устойчивость.

Целью настоящей работы является разработка методики для определения и анализа динамических характеристик двухходового ТА с перекрестным движением теплоносителей с применением численного метода, который базируется на неявных схемах бегущего счета [4].

Математическая модель задачи.

Модели теплообменников «газ-газ», как объектов с распределенными параметрами

Расчетным элементом является область трубы и межтрубного пространства размером Δx и Δy , где Δy соответствует продольному шагу S_2 .

Дифференциальные уравнения сохранения энергии для контрольного объема трубчатого ТА с перекрестным движением теплоносителей, можно выразить в форме:

– для теплоносителей

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} + A_1 \frac{\partial t_1}{\partial x} + B_1(t_1 - t) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial t_2}{\partial \tau} + A_2 \frac{\partial t_2}{\partial y} + B_2(t_2 - t) = 0; \quad (2)$$

– для стенки

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + C_1^*(t - t_1) + C_2^*(t - t_2) = 0, \quad (3)$$

где коэффициенты уравнений (1) – (3) определяются соотношениями:

$$A_1 = U_1; \quad (4)$$

$$A_2 = \frac{4 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot \left(1 - \frac{d_2}{S_1}\right) \cdot U_2}{4 \cdot S_1 \cdot S_2 - \pi \cdot d_2^2}; \quad (5)$$

$$B_1 = \frac{4 \cdot \alpha_1}{c_1 \cdot \rho_1 \cdot d_1}; \quad (6)$$

$$B_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \alpha_2}{(4 \cdot S_1 \cdot S_2 - \pi \cdot d_2^2) \cdot c_2 \cdot \rho_2}; \quad (7)$$

$$C_1^* = \frac{\alpha_1 \cdot d_1}{d \cdot \delta \cdot c \cdot \rho}; \quad (8)$$

$$C_2^* = \frac{\alpha_2 \cdot d_2}{d \cdot \delta \cdot c \cdot \rho}; \quad (9)$$

Для решения системы разностных уравнений (1)–(3) требуется начальные и граничные условия.

Начальные условия:

$$t_1(x, y, 0) = \varphi_1(x, y); \quad (10)$$

$$t_2(x, y, 0) = \varphi_2(x, y); \quad (11)$$

$$t(x, y, 0) = \varphi(x, y), \quad (12)$$

где φ_1 , φ_2 , φ – известные функции распределения температуры соответственно теплоносителей и труб в начальный момент времени.

В качестве граничных условий достаточно задать температуры теплоносителей на входе в ТА.

Граничные условия можно записать следующим образом:

1) для первого теплоносителя $\tau > 0$, $x = 0$, $0 \leq y \leq l_2$

$$t_1(0, y, \tau) = \varphi_1(y, \tau); \quad (13)$$

2) для второго теплоносителя при $\tau > 0$

– первый ход $y = 0$, $0 \leq x \leq l_1$

$$t_2(x, 0, \tau) = \varphi_2(x, \tau); \quad (14)$$

– второй ход $y = l_2$, $l_1 \leq x \leq l$

$$t_2(x, l_2, \tau) = \varphi_2(x, \tau); \quad (15)$$

где φ_1, φ_2 – известные функции изменения температуры теплоносителей на входе в ТА.

В данной работе рассматривался экспоненциальный закон изменения температуры первого теплоносителя при входе в аппарат.

При этом условии (13) будет записано

$$t_1(0, y, \tau) = (t_{\max} - t_n) [1 - \exp(-m_1 \cdot \tau)] + t_n \quad (16)$$

при скачкообразном изменении ($m_1 \rightarrow \infty$)

$$t_1(0, y, \tau) = t_{\max}. \quad (17)$$

То есть динамический процесс ТА для внезапного изменения температуры рассматривается как частный случай экспоненциального закона при $m_1 \rightarrow \infty$.

Численный алгоритм. Модифицированные разностные схемы бегущего счета для системы дифференциальных уравнений (1) – (3) могут быть записаны следующим образом [6]:

– для первого теплоносителя

$$\frac{t_{1,i,j}^{k+1} - t_{1,i,j}^k}{\Delta\tau} + A_1 \frac{t_{1,i,j}^{k+1} - t_{1,i-1,j}^{k+1}}{\Delta x} + B_1 (t_{1,i,j}^{k+1} - t_{i,j}^k) = 0, \quad (18)$$

$$0 < i \leq N, \quad 0 < j \leq N_2;$$

– для второго теплоносителя

$$\frac{t_{2,i,j}^{k+1} - t_{2,i,j}^k}{\Delta\tau} + A_2 \frac{t_{2,i,j}^{k+1} - t_{2,i,j-1}^{k+1}}{\Delta y} + B_2 (t_{2,i,j}^{k+1} - t_{i,j}^{k+1}) = 0, \quad (19)$$

$$0 < j \leq N_2, \quad 0 < i \leq N_1;$$

– тоже для разделительной стенки

$$\frac{t_{i,j}^{k+1} - t_{i,j}^k}{\Delta\tau} + C_1^* (t_{i,j}^{k+1} - t_{1,i,j}^{k+1}) + C_2^* (t_{i,j}^{k+1} - t_{2,i,j}^k) = 0, \quad (20)$$

$$0 < i < N, \quad 0 < j < N_2.$$

При решении на втором ходе нагреваемого теплоносителя выражение (13) следует изменить

$$\frac{t_{2,i,j}^{k+1} - t_{2,i,j}^k}{\Delta\tau} + A_2 \frac{t_{2,i,j+1}^{k+1} - t_{2,i,j}^{k+1}}{\Delta y} + B_2 (t_{2,i,j}^{k+1} - t_{i,j}^{k+1}) = 0, \quad (21)$$

$$0 \leq j \leq N_2 - 1, \quad N_1 + 1 \leq i \leq N.$$

Результаты численного эксперимента. Для исследования был выбран стальной трубчатый двухходовой по воздуху воздухоподогреватель из труб $\varnothing 40 \times 1,5$ мм. Дымовые газы проходят внутри труб. Воздух движется в межтрубном пространстве перпендикулярно движению газов (перекрестное движение). Концы труб закреплены в трубных досках. При помощи промежуточных трубных досок и перепускных коробов осуществлено двухходовое движение воздуха.

Коэффициенты теплообмена на стороне газов α_1 определялись по соотношениям для развитого движения газа в трубе. Для потока в межтрубном пространстве учитывалось изменение α_2 по рядам труб [7].

В расчетном исследовании температура продуктов сгорания при входе в воздухоподогреватель не превышала 500°C . Температура воздуха на входе принималась постоянной, равной 20°C .

Температура воздуха на входе во вторую ступень определялась как средняя температура на выходе из первой ступени.

Выполненные решения позволили получить переходные характеристики ТА в зависимости от темпа изменения температуры греющего теплоносителя для ряда значений водяных чисел теплоносителей. На рис. 2, 3 приведены результаты расчета двухходового воздухоподогревателя для одного из режимов переходных процессов.

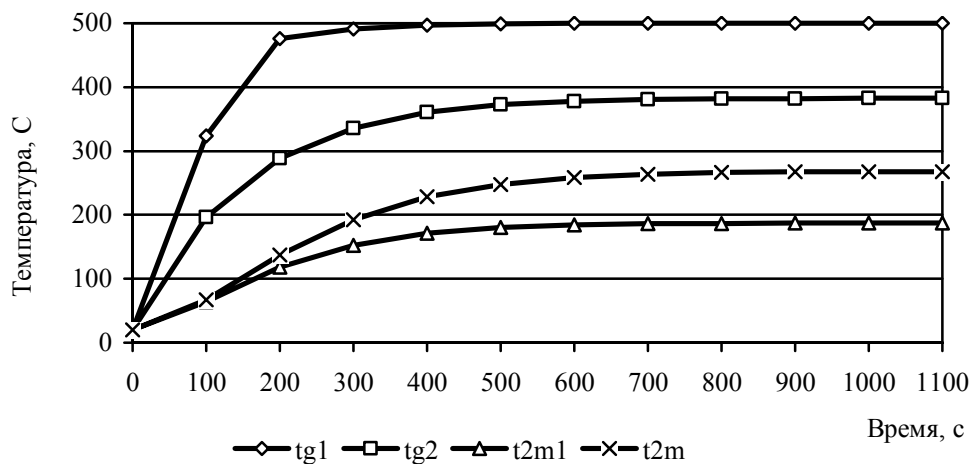


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителей ВП

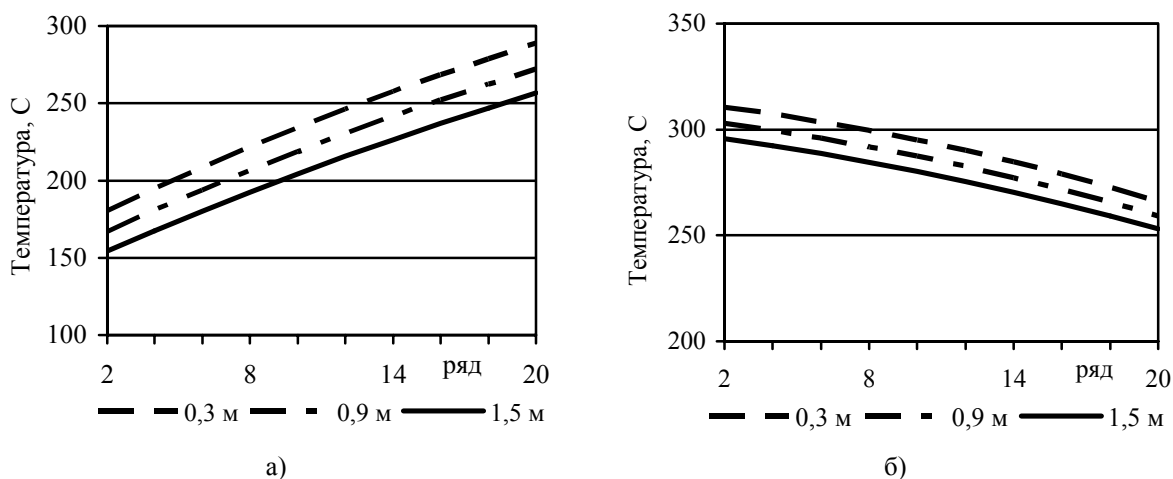


Рис. 3. Распределение температуры стенки труб 1 ступени (а) и 2 ступени (б) по высоте ВП

Список литературы: 1. Сидельковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий / Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юрнев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с. 2. Федоров В.И. Метод элементарных балансов для расчета нестационарных процессов поверхностных теплообменных аппаратов / В.И. Федоров, З.А. Марценюк. – Киев: Наукова думка, 1977. – 140 с. 3. Шевяков А.А. Управление тепловыми процессами с распределенными параметрами / А.А. Шевяков, Р.В. Яковлева. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 205 с. 4. Шевелев А.А. Эффективный численный метод определения динамических характеристик трубчатых теплообменных аппаратов / А.А. Шевелев, А.Н. Тарасенко // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. научн. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – № 3. – С. 163-167. 5. Девятков Б.Н. Теория и методы анализа управляемых распределенных процессов / Б.Н. Девятков, Н.Д. Демиденко. – Новосибирск: Наука, 1983. – 271 с. 6. Шокин Ю.И. Метод дифференциального приближения / Ю.И. Шокин, Н.Н. Яненко. – Новосибирск: Наука, 1985. – 372 с. 7. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

© Шевелев А.А., Тарасенко А.Н., Барвинок В.С., 2011
 Поступила в редколлегию 18.02.11