

Кузьмин Сергей Иванович,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

Щербин Сергей Анатольевич,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: sshherbin@mail.ru

**КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА**

Kuzmin S.I., Shcherbin S.A.

**INTEGRATED OPTIMIZATION OF TUBULAR HEAT EXCHANGER**

**Аннотация.** Приведена методика анализа приведенных затрат трубчатого теплообменника с учетом его конструктивных и теплотехнических характеристик.

**Ключевые слова:** приведенные затраты, теплообменник, теплопередача, гидравлическое сопротивление.

**Annotation.** The technique analysis of the listed expenses of tubular heat-NIKA, given its constructive and thermal characteristics.

**Keywords:** given the cost, heat exchanger, heat transfer, hydraulic resistance.

Стоимость аппарата и затраты на его эксплуатацию зависят от интенсивности теплообмена. Причем, в силу особенностей физических процессов, влияющих на теплообмен, интенсификация работы аппарата сопровождается разнонаправленным изменением составляющих приведенных затрат.

Выявление рационального (наиболее выгодного) варианта конструкции аппарата предложено проводить на основании соотношения приведенных затрат теплообменника произвольной  $C_{пр.d}$  и базовой  $C_{пр.0}$  комплектаций:

$$\bar{C}_{пр} = \frac{C_{пр.d}}{C_{пр.0}} = \frac{C_{э.d}}{C_{э.0}} \cdot \left( \frac{1 + K \frac{C_{тр.d}}{C_{э.d}}}{1 + K \frac{C_{тр.0}}{C_{э.0}}} \right), \quad (1)$$

где  $C_{тр.d}$  и  $C_{тр.0}$  – капитальные затраты соответственно на аппарат произвольной и базовой комплектаций, руб.;  $C_{э.d}$  и  $C_{э.0}$  – эксплуатационные затраты соответственно на аппарат произвольной и базовой комплектаций, руб/год;  $K$  – коэффициент самоокупаемости, год<sup>-1</sup>.

Изменяющаяся часть капитальных затрат теплообменника в основном определяется стоимостью труб, которая в свою очередь зависит от необходимой поверхности теплообмена, обеспечивающей требуемую тепловую мощность  $Q$ .

Единовременные затраты на трубы можно выразить следующим образом:

$$C_{тр} = \pi \cdot r_{тр} \cdot d_w^2 \cdot (1 + r_{тр}) \cdot c_{тр} \cdot l_{тр} \cdot \rho_m, \quad (2)$$

где  $d_w$  – внутренний диаметр трубы, м;  $\delta$  – толщина стенки трубы, м;  $\rho_m$  – плотность материала трубы, кг/м<sup>3</sup>;  $l_{тр}$  – длина труб в аппарате, м;  $c_{тр}$  – стоимость трубы, руб./кг;  $r_{тр}$  – расчетный показатель для определенного типа труб.

Эксплуатационные затраты  $C_э$  (руб/год) выражаются затратами электроэнергии на перемещение теплоносителя по греющим трубкам и с учетом основных тех-

нических характеристик теплообменника получено выражение для отношения капитальных и эксплуатационных затрат для труб диаметром  $d_w$ :

$$\frac{C_{\text{тр.д}}}{C_{\text{э.д}}} = A \cdot \frac{d_w^{7-p} \cdot Q^{p-3} \cdot c_{\text{тр}}}{\Delta t_w^{p-3} \cdot c_{\text{эл}} \cdot \tau \cdot \rho_w^{p-2} \cdot \nu^p}, \quad (3)$$

где  $A = \pi^{-p} \cdot \eta \cdot 1,136 \cdot 17^{-p} \cdot r_{\text{тр}} \cdot (1 - r_{\text{тр}}) \cdot c_w^{3-p} \cdot \rho_m$ ;  $\Delta t_w$  – разность температур греющей среды, °C;  $\rho_w$  и  $c_w$  – плотность (кг/м<sup>3</sup>) и теплоемкость (Дж/(кг К)) греющей среды;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости греющей среды, м<sup>2</sup>/сек;  $p$  – показатель степени, зависит от режима течения среды.

Отношение эксплуатационных затрат произвольного  $C_{\text{э.д}}$  и базового  $C_{\text{э.0}}$  варианта составит:

$$\frac{C_{\text{э.д}}}{C_{\text{э.0}}} = \frac{R_{wv.d}}{R_{wv.0}} \cdot \frac{d_w^{p-5}}{d_{w.0}^{p-5}} \quad (4)$$

где  $R_{wv}$  – сопротивление теплопередачи трубы, Вт/(м К).

Соответственно выражение для относительных приведенных затрат теплообменника примет вид:

$$\bar{C}_{\text{пр}} = \frac{R_{wv.d}}{R_{wv.0}} \cdot \frac{d_w^{p-5}}{d_{w.0}^{p-5}} \cdot \left[ 1 + K \cdot A \cdot \frac{d_w^{7-p} \cdot Q^{p-3} \cdot c_{\text{тр}}}{\Delta t_w^{p-3} \cdot c_{\text{эл}} \cdot \tau \cdot \rho_w^{p-2} \cdot \nu^p} \right] : \left[ 1 + K \cdot A \cdot \frac{d_{w.0}^{7-p} \cdot Q^{p-3} \cdot c_{\text{тр}}}{\Delta t_{w.0}^{p-3} \cdot c_{\text{эл}} \cdot \tau \cdot \rho_{w.0}^{p-2} \cdot \nu^p} \right]. \quad (5)$$

Для вычисления коэффициентов теплоотдачи внутренней  $\alpha_w$  и наружной  $\alpha_v$  поверхностей труб с учетом [1] получены следующие уравнения:

$$\alpha_w = \left( \frac{2,436 \cdot Q}{(1,225 - 0,0163t_w + 0,000068t_w^2) \cdot d_w^{2,25} \cdot (\Delta t_w) \cdot (997,58 + 0,196 \cdot t_w - 0,00686 \cdot t_w^2)} \right)^{0,8} \cdot (8,314 - 0,115 \cdot t_w + 0,000485 \cdot t_w^2)^{0,48} \cdot (0,56 + 0,00215 \cdot t_w + 0,0000086 \cdot t_w^2), \quad (6)$$

$$\alpha_v = 95,57 \cdot (0,56 + 0,00215 \cdot t_v + 0,0000086 \cdot t_v^2) \cdot \left( \frac{t_v \cdot (0,768 + 0,0724 \cdot t_v - 0,0000248 \cdot t_v^2)}{(1 + 2r_{\text{тр}}) \cdot d_w \cdot (1,225 - 0,0163t_v + 0,000068t_v^2)^2} \right)^{0,25} \quad (7)$$

Таким образом, система из уравнений (1-7) определяет полное соотношение между капитальными и эксплуатационными затратами на трубчатый теплообменник, учитывая его конструктивные и теплотехнические характеристики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Теплотехнический справочник / Под. ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. Т. 2. - М., Энергия 1976.– 896 с.