

УДК 532.5:621.694

Золотоносков А.Я. – аспирант

Золотоносков Я.Д. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Zolotonosov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АППАРАТЫ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ» В ТЕХНОЛОГИИ НАГРЕВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

АННОТАЦИЯ

В работе предложено техническое решение по модернизации узла нагрева трансформаторного масла в системе маслохозяйства ОАО «Казаньоргсинтез». Проведены расчеты теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с теплообменными элементами «конфузор-диффузор». Дана оценка энергетической эффективности таких аппаратов и определен их экономический эффект.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модернизация, теплообменный аппарат типа «труба в трубе», теплообменный элемент «конфузор-диффузор», энергетическая эффективность.

EQUIPMENT TYPE «PIPE IN PIPE» IN HEATING TECHNOLOGY TRANSFORMER OIL

Zolotonosov A.Ya. – post-graduate student

Zolotonosov Ya.D. – doctor of technical sciences, professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

ABSTRACT

We offer technical solutions to modernize the site of heating of transformer oil in the system of oil economy «Kazanorgsintez». Calculations of heat exchangers such as «Tube in Tube» with heat transfer elements «confuser-diffuser». The estimation of the energy efficiency of such devices and is defined by their economic effect.

KEYWORDS: modernization, heat exchanger type «pipe in pipe», heat exchanger element «confuser-diffuser», energy efficiency.

На основании ранее проведенных теоретических исследований [1] предлагается модернизация технологии нагрева трансформаторного масла в системе маслохозяйства ОАО «Казаньоргсинтез», путем замены четырех электронагревателей мощностью 45 кВт каждый теплообменными аппаратами типа «труба в трубе» с криволинейными теплообменными элементами «конфузор-диффузор» с оребренной проточной частью.

Произведем расчет теплообменных аппаратов для нагрева трансформаторного масла.

Температурная схема теплообменника при противотоке:

$$\begin{array}{ccc} 110 & \longleftarrow & 110 \\ & & \\ 25 & \longrightarrow & 65 \\ & & \\ \overline{\Delta t_{\bar{\theta}}} & & \overline{\Delta t_M} \end{array}$$

Отношение $\frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M} = \frac{85}{45} = 1.88 > 1.8$, поэтому среднюю разность температур за время

нагрева можно рассчитать по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M}} = \frac{85 - 45}{\ln \frac{85}{45}} = 62.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Средняя температура трансформаторного масла:

$$t_T = t_n - \Delta t_{cp} = 110 - 62.5 = 47.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определяем расход тепла на подогрев 1.95 т/ч трансформаторного масла от 25 до 65 °С при средней удельной теплоёмкости трансформаторного масла $c = 1.903 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К):

$$Q = \frac{1950}{3600} 1.903 \cdot 10^3 (65 - 25) = 41300 \text{ Вт}$$

Расход пара на подогрев трансформаторного масла:

$$D = \frac{Q}{r} = \frac{41300}{2234 \cdot 10^3} = 0.018 \text{ кг/с} = 66.6 \text{ кг/ч.}$$

Принимаем за базовый конфузorno-диффузорный теплообменный элемент выполненный в виде усеченных прямых конусов, эквивалентный диаметр которого $d_э = 0.0892$ м.

Расчеты показывают, что в этом случае требуемая площадь поверхности теплообмена равна

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{41300}{588 \cdot 47.5} = 1.47 \text{ м}^2, \text{ а длина теплообменника } L = \frac{F}{f} l = \frac{1.4}{0.0472} \cdot 0.165 = 5.13 \text{ м.}$$

Получим размеры профиля канала. Профиль канала вычерчивается дугами окружностей (для диффузора и конфузора).

Координаты центра окружности (а, b) и радиус R для диффузора рассчитываем по уравнениям:

$$a = \frac{A^2 - m^2(1 + tg^2 a_\partial)}{2(A - m(1 + tg^2 a_\partial))}, \quad b = r_0 + m \cdot tg a_\partial + \frac{1}{tg a_\partial} \left(m - \left(\frac{A^2 - m^2(1 + tg^2 a_\partial)}{2(A - m(1 + tg^2 a_\partial))} \right) \right),$$

$$R = \frac{\sqrt{1 + tg^2 a_\partial}}{tg a_\partial} \left(m - \left(\frac{A^2 - m^2(1 + tg^2 a_\partial)}{2(A - m(1 + tg^2 a_\partial))} \right) \right), \text{ где } A = tg a_\partial (r_0 - r'_0) + m(1 + tg^2 a_\partial).$$

Подставляя значения $a_\partial = 11^\circ$, $r_0 = 40$, $r'_0 = 45.35$, $m = 27.5$, вычислим координаты центра окружности (а, b) и радиус окружности R, определяющих профиль стенки канала в диффузоре. Расчеты показывают, что $a = 13.7$ мм, $b = 117.3$ мм, $R = 73.3$ мм.

Координаты центра окружности (a_1 , b_1) и радиус R_1 для конфузора находим из системы уравнений:

$$\begin{cases} R_1^2 = a_1^2 + (56.7 - b_1)^2, \\ R_1^2 = (55 - a_1)^2 + (45.2 - b_1)^2, \\ R_1^2 = (110 - a_1)^2 + (45.2 - b_1)^2. \end{cases}$$

Откуда $R_1 = 272.4$ мм, $a_1 = 82.5$ мм, $b_1 = 316.2$ мм.

На рис. 1 представлен профиль криволинейного теплообменного элемента типа «конфузор-диффузор», рассчитанный по предложенной методике.

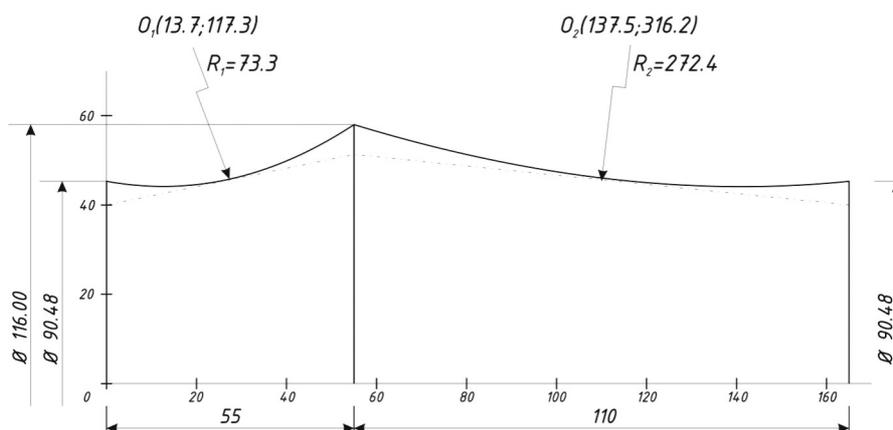


Рис. 1. Криволинейный теплообменный элемент типа «конфузор-диффузор»

Определим критерий Nu для случая криволинейного теплообменного элемента типа «конфузор-диффузор»:

$$Nu = 1,216 N^{0,48} Re^{0,43} \left(\frac{d_{э\kappa\beta}}{L_1 + L_2} \right)^2 Pr^{0,43} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{см}} \right)^{0,25} =$$

$$= 1,216 (116,8)^{0,48} (1144)^{0,43} \left(\frac{0,092}{0,115 + 0,60} \right)^2 (135,5)^{0,43} 1,66^{0,25} = 650,$$

где L_1 и L_2 – длина дуги плоской кривой, образующей соответственно стенки диффузора и конфузора, $d_{э\kappa\beta}$ – эквивалентный диаметр модуля «конфузор-диффузор»,

откуда $a_T = \frac{650 \cdot 0,1082}{0,092} = 764,5 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$

Определим коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_T} + \sum r_{CT} + \frac{1}{\alpha_n}} = \frac{1}{\frac{1}{764,5} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{21000}} = 641 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Требуемая площадь поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{41300}{641 \cdot 47,5} = 1,36 \text{ м}^2.$$

Тогда длина теплообменника $L = \frac{F}{f} l = \frac{1,4}{0,057} \cdot 0,165 = 3,9 \text{ м}.$

Проведём расчет коэффициента теплопередачи для криволинейного теплообменного элемента типа «конфузор-диффузор» с оребренной проточной частью, «холодная» сторона

которого оребрена, и коэффициент оребрения $j = \frac{F_2}{F_1} = 1,45$ (рис. 2).

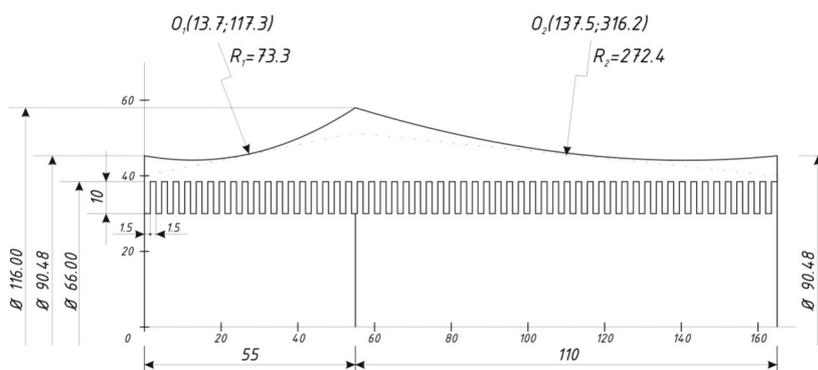


Рис. 2. Теплообменный элемент «конфузор-диффузор» с криволинейными стенками и оребрѐнной проточной частью

Определим критерий Nu для случая криволинейного теплообменного элемента с оребрѐнной проточной частью:

$$Nu = 0,418 N^{0,5} Re^{0,43} \left(\frac{v}{d_{экв}} \right)^{0,40} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{см}} \right)^{0,25} = 0,418 (75,5)^{0,5} (831)^{0,43} \cdot (1,12)^{0,40} \cdot (135,5)^{0,43} \cdot 1,66^{0,25} = 645,4,$$

где v – расстояние между ребрами в средней части длины диффузора.

Требуемая площадь поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{41300}{859.8 \cdot 47.5} = 1.01 \text{ м}^2$$

Тогда длина теплообменника $L = \frac{F}{f} l = \frac{1.01}{0.0826} \cdot 0.165 = 2.0 \text{ м}.$

Проведѐм оценку тепловой эффективности по методике, предложенной М.В. Кирпичевой и Глазером, при единичном температурном напоре ($\Delta t = 1$) [2].

Таблица

Оценка энергетической эффективности теплообменных устройств типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью «конфузор-диффузор»

Тип теплообменника «конфузор-диффузор»	Количество переданного тепла Q , Вт	Затраты энергии N , Вт	Энергетический коэффициент E
с криволинейными стенками и оребрѐнной проточной частью	1119.6	0.021	53314
с криволинейными стенками	1039	0.022	47227
с прямыми стенками	1011.8	0.044	22996

На рис. 3 представлена модернизированная схема технологического процесса нагрева и осушки трансформаторного масла.

