

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*В. Л. Осокин, доцент кафедры «Механика» ГОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»;*

*С. Б. Красиков, директор ГОУ НПО «Профессиональный лицей № 41»*

**Аннотация.** Проведенный математический анализ теплообмена в электронагревателе – основном рабочем элементе тэнового подогревателя воды [1, 2] позволил, прежде всего, получить математическую модель теплообмена в электронагревателе и, как следствие, подготовить методику инженерного теплового расчета подогревателей воды.

**Ключевые слова:** элемент, электрод, оборудование, стенд.

### PRACTICAL REALIZATION OF RESULTS OF THEORETICAL RESEARCHES

*V. L. Osokin, docent of the chair «Mechanic» GOU VPO «Nizhniy Novgorod state engineer–economic institute»;*

*S. B. Krasikov, the director of GOU NPO «Professional lycée № 41»*

**Annotation.** The carried out mathematical analysis of heat exchange in an electro heater – the basic working element of heaters water heater has allowed to receive, first of all, mathematical model of heat exchange in electro heater and, as consequence, to prepare a methodology for engineering thermal design of water heaters.

**Key words:** element, electrode, equipment, stand

Мощность, необходимая для нагрева воды, рассчитывается по формуле (Вт)

$$P = \frac{GC_p \Delta t_a \psi}{3,6 \tau}, \quad (1)$$

где  $G$  – масса нагреваемой среды, кг;  $C_p$  – удельная теплоемкость нагреваемой среды, кДж/(кг·°С) (табл.6) в [3]; перепад между температурами нагретой и абсолютной величиной нагреваемой среды, определяемый по формуле

$$\Delta t_a = t_a - |t_n|; \quad (2)$$

3,6 – тепловой эквивалент электрической энергии, кДж/(Вт·ч);  $\tau$  – время, за которое требуется нагреть среду на величину  $\Delta t_a$ , ч;  $\psi$  – коэффициент, учитывающий увеличение мощности на тепловые потери, практические значения которого приведены для различного ЭТО ниже:

**Виды подогревателей**  $\psi$

Подогреватели воды проточные скоростные.....1,01

Подогреватели воды емкостные толстостенные .1,08.

Подогреватели воды емкостные тонкостенные...1,20

Рассчитав необходимую для нагрева воды мощность, приступают к выбору и расчету потребного количества ЭН, их размещению и определению габаритов подогревателя

Окончательно габариты подогревателей определяют в зависимости от их типа. Так, размеры емкостных подогревателей зависят от необходимого разового нагрева объема воды, а габариты проточных подогревателей – от количества и размеров ЭН или гидравлических характеристик изделия.

Определив габариты подогревателя, прочность деталей и плотность их соединений, необходимо вычислить температуру его поверхности и КПД.

Температуру наружной поверхности рассчитывают по формулам ( $^{\circ}\text{C}$ ):

для плоской стенки:

$$t_{\text{стП}} = \frac{K_{\text{п}} \Delta t_{\text{сд}}}{\alpha_{\text{п}}} + t_{\text{сд}}; \quad (3)$$

для цилиндрической стенки:

$$t_{\text{стц}} = \frac{K_{\text{ц}} \Delta t_{\text{сд}}}{\pi L_{\text{ц}} \alpha_{\text{ц}}} + t_{\text{сд}}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{ц}}$  и  $K_{\text{п}}$  – соответственно коэффициенты теплопередачи плоской и цилиндрической стенок,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$  и  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $t_{\text{сд}}$  – температура среды, окружающей изделие, в частном случае может быть  $t_{\text{сд}} = t_{\text{н}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha_{\text{п}}$ ,  $\alpha_{\text{ц}}$  – соответственно суммарные коэффициенты теплоотдачи плоской и цилиндрической стенок,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $L_{\text{ц}}$  – длина цилиндра, м;  $\Delta t_{\text{сд}}$  – перепад между температурой, окружающей изделие, и нагреваемой в нем среды ( $^{\circ}\text{C}$ ):

$$\Delta t_{\text{сд}} = t_{\text{а}} - t_{\text{сд}}. \quad (5)$$

Величины  $\alpha_{\text{п}}$  и  $\alpha_{\text{ц}}$  при практических расчетах ЭТО по заданной температуре его наружной, поверхности выражаются уравнениями: для плоской стенки (по Нуссельту) [ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ]:

$$\alpha_{\text{п}} = 9,75 + 0,07(t_{\text{д}} - t_{\text{сд}}), \quad (6)$$

для цилиндрической стенки (по Хельману и Коху):

$$\alpha_{\text{ц}} = 9,40 + 0,052(t_{\text{д}} - t_{\text{сд}}), \quad (7)$$

где  $t_{\text{д}}$  – температура наружной поверхности, допустимая по условиям эксплуатации, °С.

Коэффициент теплопередачи для плоской стенки определяется из формулы:

$$\frac{1}{K_{\text{п}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (8)$$

для цилиндрической стенки из формулы:

$$\frac{1}{K_{\text{п}}} = \frac{1}{D_{\text{в}} \alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{2 \lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{D_{\text{ст}}}{D_{\text{в}}} + \frac{1}{D_{\text{ст}} \alpha_{\text{н}}}, \quad (9)$$

где  $\delta_{\text{ст}}$  – толщина теплопередающей стенки, м;  $\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи нагреваемой в подогревателе среды, который при некоторых практических расчетах судового ЭТО можно вычислять по формулам Шака, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Коэффициент турбулентного потока жидкости в цилиндрических подогревателях

$$\alpha_{\text{в}} = f(\text{Ш})v^{0,85}. \quad (10)$$

Здесь  $f(\text{Ш})$  – функция Шака, значения которой при нагревании воды

$$3080 (1 + 0,014) t_{\text{в}};$$

$v$  – средняя скорость движения воды в подогревателе, м/с.

Определить температуру наружной поверхности электрических подогревателей по формулам (2) и (3) можно по известным  $t_{\text{ст}}$ ,  $P$  и  $v$ .

Рассчитанная температура наружной поверхности изделия сравнивается с заданной или допустимой для подогревателей данного типа. Если полученная расчетная температура поверхности подогревателя больше заданной или допустимой, следует заменить материал корпуса (в случае небольшой разницы) или изолировать подогреватель, ввести в его конструкцию защитный кожух и повторить расчет (в случае значительной разницы и невозмож-

ности замены материала). Изменяя параметры теплоотдающей поверхности, материал и толщину корпуса, вводя теплоизоляцию и кожухи, можно добиться необходимых результатов. Однако следует по возможности избегать введения дополнительных элементов в конструкции подогревателей, так как они значительно увеличивают их габариты, массу и стоимость. Поэтому теплоизоляционные материалы в конструкциях подогревателей следует применять только в обоснованных случаях. Например, для уменьшения тепловых потерь емкостных подогревателей, в которых среда в нагретом состоянии должна сохраняться значительное время без подогрева, или подогревателей, температура, температура наружных поверхностей которых без теплоизоляции превышает допустимые нормы.

Расчет температуры наружной поверхности подогревателей, имеющих тепловую изоляцию и кожухи, ведется по формулам (2) ... (8) с введением в формулы (7) и (8) дополнительных слагаемых:

$$\frac{1}{K_{\Pi}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta'_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta'_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}; \quad (11)$$

$$\frac{1}{K_{\Pi}} = \frac{1}{D_{\text{в}} \alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{2 \lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{D_{\text{ст}}}{D_{\text{в}}} + \frac{1}{2 \lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_{\text{ст}}} + \dots + \frac{1}{2 \lambda_n} \ln \frac{D_n}{D_{n-1}} + \frac{1}{D_{\text{н}} \alpha_{\text{н}}}, \quad (12)$$

где  $\delta'_1, \dots, \delta'_n$  – толщина изоляции, кожуха и т. д., м;  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  – коэффициент теплопроводности материалов изоляции, кожуха и т. д., Вт/(м·°С);  $D_1, \dots, D_n$  – средние диаметры слоя изоляции, кожуха и т. д., м.

Тепловыделения (тепловые потери) с нагретой поверхности определяются по формуле (Вт)

$$\phi_{\Pi} = \alpha F_{\text{ПВ}} (t_{\text{ПВ}} - t_{\text{сд}}), \quad (13)$$

где  $F_{\text{ПВ}}$  – площадь теплоотдающей поверхности, м<sup>2</sup>;  $t_{\text{ПВ}}$  – температура теплоотдающей поверхности, в частных случаях:

$$t_{\text{пв}} = t_{\text{ст}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тепловые потери изделия, имеющего несколько различно ориентированных поверхностей, равны (Вт):

$$\phi_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n \phi_{\text{п}_i} = \sum_{i=1}^n \alpha_i F_{\text{пв}_i} (t_{\text{пв}_i} - t_{\text{сд}_i}), \quad (14)$$

где  $n$  – число теплоотдающих поверхностей.

Теплоотдача в среду, охлаждающую изделие, определяется по формуле (Вт):

$$\phi_{\text{пв}} = \frac{Y' \gamma C_p \Delta t'_{\text{сд}}}{3,6}, \quad (15)$$

где  $Y'$  – расход воздуха через изделие, м<sup>2</sup>/ч;  $\Delta t'_{\text{сд}}$  – перепад температур между температурой охлаждающей среды и температурой среды, окружающей ЭТО (°C):

$$\Delta t'_{\text{сд}} = t_{\text{н.ср}} - t_{\text{сд}}. \quad (16)$$

Чтобы рассчитать КПД изделия, сначала определяют тепловые потери по формулам (Вт):

для плоской стенки:

$$\phi_{\text{п}_\Pi} = K_{\text{п}} F_{\text{п}} (t_{\text{пв}} - t_{\text{сд}}); \quad (17)$$

для цилиндрической стенки:

$$\phi_{\text{п}_\text{ц}} = K_{\text{ц}} L_{\text{ц}} (t_{\text{пв}} - t_{\text{сд}}), \quad (18)$$

где  $F_{\text{п}}$  – площадь плоской стенки (поверхности), м<sup>2</sup>.

Расчетный КПД в общем случае определяется из отношения утилизируемой части мощности к потребному количеству энергии для нагрева воды по формуле:

$$\eta = \frac{P - \sum_{i=1}^n \phi_{\text{п}_\text{ц}}}{P}. \quad (17)$$

КПД ЭПВ не должен быть менее 95 %. В том случае, когда расчетный КПД окажется меньше допустимого, следует ввести в конструкцию изделия тепловую изоляцию,

увеличить первоначально принятую ее толщину или применить другой теплоизоляционный материал с меньшим коэффициентом теплопроводности и повторить расчет.

Разработанная методика использована: при создании ЭПВ для вновь созданного стенда; при обработке результатов исследований, а также включена в работу [4].

### *Список литературы*

1. Оболенский, Н. В. Теоретические исследования процесса нагрева в элементных электрических подогревателях воды (ЭВП) / Н. В. Оболенский, В. Л. Осокин // Труды V Межвузовской научно-технической конференции «Актуальные вопросы пищевой промышленности: модернизация и интеграция (8 июня 2010 г.)» – Н.Новгород: Филиал ГОУ ВПО МГУТУ в г.Н.Новгород, 2010–06–08. С. 105 ... 117.

2. N. V. Obolenski., V. L. Osokin. Mathematical modeling of heat exchangers for electric water heater // Materiały na konferencje «Problemy intensyfikacji produkcji zwierawy z uwzględnieniem poprawy struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych. ochrony, środowiska i standardów UE (14 – 15 września 2010 r.)», – Warszawa: Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentfch. S.185 ... 191.

3. Оболенский, Н. В. Справочник по судовому электротермическому оборудованию. – Л.: Судостроение, 1985. – 272 с.

4. Оболенский, Н. В. Осокин В. Л. Практикум по теплотехнике: Учебное пособие / НГИЭИ, Княгинино, 2010. – 236 с.