

УДК. 621

С. Ю. АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, генеральный директор

И. П. ФЕДОРОВ, главный метролог

КП «Харьковские тепловые сети», г. Харьков

С. В. МЕЛЬНИЧЕНКО, зам. гл. инженера

Октябрьский филиала КП «Харьковские тепловые сети», г. Харьков

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

*В статье описан алгоритм определения фактической величины термического сопротивления в период эксплуатации теплообменников для их своевременной промывки с целью снижения затрат на поддержание заданных температурных показателей.*

*У статті описано алгоритм визначення фактичної величини термічного опору в період експлуатації теплообменників для їх своєчасного промивання з метою зниження витрат на підтримку заданих температурних показників.*

### Введение

Для каждого из пространств теплообменного аппарата, существуют свои определенные особенности расчета гидравлического сопротивления, обусловленные спецификой конструкции и условиями взаимодействия потока и канала, что напрямую связано с интенсивностью теплопередачи. Интенсивность теплопередачи (тепловой поток) пропорциональна разности температур греющего и нагреваемого веществ. Кроме того, она зависит от термического сопротивления пленок рабочих тел, находящихся в контакте с поверхностью теплообмена, и термического сопротивления стенки. Вследствие образования твердых отложений на поверхностях теплообменника (накипи) термическое сопротивление возрастает.

Определение фактической величины термического сопротивления особенно необходимо в период эксплуатации теплообменников для их своевременной промывки. Так как именно несвоевременная промывка теплопередающих поверхностей теплообменника приводит к необоснованному увеличению затрат на поддержание заданных температурных показателей.

Для определения термического сопротивления в качестве исходных данных необходимо иметь фактические температуры теплоносителей на входе и выходе из теплообменника и расход хотя бы одного из теплоносителей. Получив необходимые данные при испытании теплообменника можно приступить к расчетам по нижеприведенному алгоритму:

### Алгоритм определения термического сопротивления на поверхностях пластин (трубок) в теплообменном аппарате (ТА)

1. Определяем теплофизические свойства теплоносителей при средних температурах:

$\rho$  – плотность,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$c_p$  – удельная теплоёмкость,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;

$\nu$  – кинематическая вязкость,  $\frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$ ;

$Pr$  – критерий Прандтля;

2. Определяем количество тепла в единицу времени, передаваемое в ТА и расход греющего теплоносителя:

$$Q_{\text{в}} = \frac{C_{\text{уд}} \cdot G_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} (t_{\text{гр}} - t_{\text{ин}})}{3,6} \text{ , кВт};$$

$$G_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot 3,6}{C_{\text{удт}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot (T1 - T2)};$$

$G_{\text{в}}, G_{\text{т}}$  – объёмные расходы нагреваемой воды и греющего теплоносителя,  $\frac{\text{м}^3}{\text{час}}$ .

Далее определяем скорости воды и теплоносителя в каналах для пластинчатых ТА или скорость воды в трубках и скорость теплоносителя в межтрубном пространстве для кожухотрубных ТА:

$$w_{\text{к}} = \frac{G}{3600 \cdot f_{\text{к}} \cdot m}; \text{ где}$$

$G$  – расход теплоносителя или воды,  $\frac{\text{м}^3}{\text{час}}$ ;

$f_{\text{к}}$  – площадь сечения одного канала,  $\text{м}^2$ ;

$m$  – число каналов в пакете;

$w_{\text{к}}$  – скорость движения рабочей среды в каналах,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$$w_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{в}}}{3600 \cdot f_{\text{тр}}} \text{ – скорость воды в трубках } \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$f_{\text{тр}}$  – площадь живого сечения трубок,  $\text{м}^2$ ;

$$w_{\text{м.пр}} = \frac{G_{\text{т}}}{3600 \cdot f_{\text{м.пр}}} \text{ – скорость теплоносителя в межтрубном пространстве } \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$f_{\text{м.пр}}$  – площадь межтрубного пространства,  $\text{м}^2$ ;

3. Рассчитываем коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке пластины (трубки):

Для пластинчатых ТА:

$$\alpha_{\text{т}} = \frac{Nu_{\text{т}} \cdot \lambda_{\text{т}}}{d_{\text{э}}} \text{ – коэффициент теплоотдачи, } \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}};$$

$$Nu_{\text{т}} = c \cdot Re_{\text{т}}^n \cdot Pr_{\text{т}}^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_{\text{т}}}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \text{ – критерий Нуссельта}; \quad [1]$$

коэф-ты  $c$  и  $n$  зависят от типоразмера пластины и выбираются по таблице [1]

$$Re_{\text{т}} = \frac{w_{\text{т}} \cdot d_{\text{э}}}{\nu_{\text{т}}} \text{ – критерий Рейнольдса};$$

$d_{\text{э}}$  – эквивалентный диаметр канала, определяется конструктивно, м;

Для кожухотрубных ТА:

$$\alpha_{\text{т}} = 1,163 \cdot (1400 + 18 \cdot T_{\text{ср}} - 0,035 \cdot T_{\text{ср}}^2) \cdot \frac{w_{\text{м.пр}}^{0,8}}{d_{\text{э}}^{0,2}}; \quad [2]$$

$$d_{\text{э}} = \frac{D_{\text{в}}^2 - z \cdot d_{\text{н}}^2}{D_{\text{в}} + z \cdot d_{\text{н}}} \text{ – эквивалентный диаметр межтрубного пространства, м};$$

$D_{\text{в}}$  – внутренний диаметр водоподогревателя, м;

$d_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубок, м;

$z$  – число трубок в водоподогревателе;

$T_{\text{ср}}$  – средняя температура теплоносителя в межтрубном пространстве,  $\text{°C}$ ;

4. Рассчитываем коэффициент теплоотдачи от стенки пластины (трубки) к воде:  
 Для пластинчатых ТА:

$$\alpha_{\text{в}} = \frac{Nu_{\text{в}} \cdot \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{в}}};$$

$$Nu_{\text{в}} = c \cdot Re_{\text{в}}^n \cdot Pr_{\text{в}}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{в}}}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0,25};$$

$$Re_{\text{в}} = \frac{W_{\text{в}} \cdot d_{\text{в}}}{\nu_{\text{в}}};$$

Для кожухотрубных ТА:

$$\alpha_{\text{в}} = 1,163 \cdot (1400 + 18 \cdot t_{\text{ср}} - 0,035 \cdot t_{\text{ср}}^2) \cdot \frac{W_{\text{ТР}}^{0,8}}{d_{\text{в}}^{0,2}}; \quad [2]$$

$d_{\text{в}}$  – внутренний диаметр трубок, м;

$t_{\text{ср}}$  – средняя температура воды в трубках, °C;

5. Средний температурный напор:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{в}} - \Delta t_{\text{н}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{в}}}{\Delta t_{\text{н}}}}, \quad \text{°C};$$

6. Зная поверхность теплообмена и средний температурный напор, определяем коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{Q \cdot 10^3}{F \cdot \Delta t_{\text{ср}}}; \quad [1]$$

$k$  – коэффициент теплопередачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;

$F$  – поверхность ТА,  $\text{м}^2$ ;

7. Из коэффициента теплопередачи выражаем термическое сопротивление отложений на стенках пластин (трубок):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{т}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{з}}};$$

$$R_{\text{з}} = \frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_{\text{т}}} - \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}};$$

$R_{\text{з}}$  – термическое сопротивление отложений,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ;

$\delta_{\text{ст}}$  – толщина пластины (трубки), м;

$\lambda_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопроводности материала стенок,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$ ;

Теперь, зная термическое сопротивление отложений на стенках пластин (трубок) можно приступить к поверочному расчету. Целью расчета является определение расхода теплоносителя, необходимого для нагрева горячей воды и температуры теплоносителя на выходе из ТА.

#### Алгоритм поверочного теплового расчета

В качестве исходных данных мы имеем термическое сопротивление загрязнений,

температуру греющего теплоносителя на входе в ТА, расход и температуры нагреваемого теплоносителя на входе и выходе из ТА.

1. Решение можно найти только методом последовательных приближений. Изначально задаемся температурой теплоносителя на выходе из ТА. Производим вычисления, описанные в пунктах (1) – (5) предыдущего расчета.

2. Определяем коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_T} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_B} + R_z};$$

3. Определяем количество тепла, переданное в ТА от теплоносителя к воде:

$$Q_{ТП} = \frac{k \cdot F \cdot \Delta t_{ср}}{10^3}; \text{ кВт}$$

4. В случае если количество тепла, посчитанное по тепловому балансу  $Q_B$  (рассматривается в п. 2 предыдущего расчета) отличается более чем на 5 % от количества тепла, посчитанного по уравнению теплопередачи  $Q_{ТП}$  задаемся новым значением температуры теплоносителя на выходе из ТА и повторяем расчеты, описанные в пунктах (1) – (3).

$$\eta = \left| \frac{2 \cdot (Q_B - Q_{ТП})}{Q_B + Q_{ТП}} \right| \cdot 100\%;$$

Когда решение найдено и нам известны расход греющего теплоносителя, необходимого для нагрева горячей воды и температура теплоносителя на выходе из ТА можем приступить к гидравлическому расчету.

5. Общее гидравлическое сопротивление секции пластин для среды:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{L_{пр}}{\alpha_{лр}} \cdot \rho \cdot \frac{W^2}{2} \cdot z \text{ (Па)}, \text{ где}$$

$\xi = \frac{A}{R_{э.п.л.э.}}$  – коэффициент общего гидравлического сопротивления единицы относительной длины канала;

Величина  $A$  определяется по таблице и зависит от типоразмера пластин [1];

$L_{пр}$  – приведенная длина канала, м;

Местное гидравлическое сопротивление штуцера:

$$\Delta P_{шт} = \varepsilon \frac{W_{шт}^2}{2} \rho \text{ (Па)};$$

$\varepsilon$  – коэффициент местного сопротивления;

Для кожухотрубных ТА:

Потери давления внутри трубок составят,  $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ : при длине секции 4м

$$\Delta P_{тр} = 0,075 \cdot W_{тр}^2 \cdot n;$$

при длине секций 2м

$$\Delta P_{тр} = 0,048 \cdot W_{тр}^2 \cdot n;$$

где

$W_{тр}$  – скорость воды в трубках,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$n$  – число секций;

Потери давления в межтрубном пространстве,  $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$

$$\Delta P_{\text{нпр}} = 0,1 \cdot A \cdot w_{\text{нпр}}^2 \cdot n;$$

где

$w_{\text{нпр}}$  – скорость воды в межтрубном пространстве;

$n$  – число секций;

$A$  – вспомогательная величина, принимается по табл. 14.16 [2]

По результатам поверочного расчета делаем выводы об эффективности работы теплообменника и необходимости очистки теплопередающих поверхностей. Ориентировочное расчетное значение термического сопротивления загрязнений при нормальных условиях эксплуатации около  $0,0002 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$  с каждой стороны пластины для водопроводной воды в качестве рабочей среды.

### Программное обеспечение для расчета теплообменных аппаратов

Так как поверочный расчет включает в себя достаточно емкие и сложные расчеты, то для облегчения процесса обработки данных, полученных при испытаниях теплообменников, была написана программа «Расчет ТА».

На данном этапе имеется возможность ее применения для пластинчатых теплообменных аппаратов (ТА) РС – 0,5Р, Р – 0,3 и Н – 0,1, а также для водоводяных скоростных секционных водоподогревателей по ОСТ 34-588-68. В дальнейшем в нее будут добавлены критериальные уравнения для расчета и других типов ТА (например AlfaLaval, ДАН).

В программе реализованы, как расчет одного отдельно взятого теплообменника, так и теплообменников подключенных по параллельной, смешанной и последовательной схеме. Для тех случаев, когда в обратном трубопроводе квартальной сети высокое давление и нет возможности весь теплоноситель пропускать через первую ступень в программе предусмотрен расчет, учитывающий допустимое падение давления на первой ступени ТА.

Программа состоит из двух частей. Первая часть сводится к определению термического сопротивления отложений ( $R_z$ ), т. е. к испытанию теплообменных аппаратов. После определения  $R_z$ , во второй части программы можно рассчитать расход теплоносителя, необходимый для нагрева горячей воды и температуру теплоносителя на выходе из ТА (поверочный тепловой расчет).

Для определения термического сопротивления отложений в качестве исходных данных необходимо иметь фактические температуры теплоносителей на входе и выходе из теплообменника, расход горячей воды, тип теплообменника, количество пластин и число ходов теплоносителей. Когда внесены все исходные данные (если что-то не внесено, программа напомним), следует нажать кнопку «Добавить».

Программа вычислит расход теплоносителя, отношение расходов, тепловую мощность ТА, средний температурный напор, коэффициент теплопередачи, эффективность и, наконец, термическое сопротивление отложений. Все данные заносятся в таблицу.

Если возникла необходимость удалить все данные расчетов, необходимо нажать кнопку «Очистить».

Программа не будет производить расчеты, если в качестве исходных данных будут заданы заведомо некорректные данные или данные, которые могут привести к нереальным результатам (например, температура горячей воды больше температуры теплоносителя на входе в ТА или если в результате вычислений получится отрицательное значение  $R_z$ ). И выдаст мигающее сообщение: «Убедитесь, что введенные данные корректны».

Испытания пластинчатых ТА v2.0

Пластиначатые  
Кожухотрубные  
Т.А.  
Поверочный расчет, пластинчатые Т.А.  
Поверочный расчет, кожухотрубные Т.А.

**Исходные данные:**  
 Температура теплоносителя на входе в ТА, T1 °C: 68  
 Температура теплоносителя на выходе из ТА, T2 °C: 53  
 Температура горячей воды, t<sub>гв</sub> °C: 58  
 Температура холодной воды, t<sub>хв</sub> °C: 9,8  
 Расход холодной воды, G<sub>хв</sub> м<sup>3</sup>/час: 15,43  
 Поверхность теплообмена, F м<sup>2</sup>: 56

Тип теплообменника: PC 0,5-P  
 количество пластин: 112  
 Число ходов: по т.н. 2 по воде 2

**Добавить  
Очистить  
Печать  
Выход**

№ п/п	T1	T2	t <sub>гв</sub>	t <sub>хв</sub>	G <sub>хв</sub>	G <sub>тн</sub>	G <sub>хв</sub> /G <sub>тн</sub>	Q, Вт	dT, °C	k, Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	E	R, м <sup>2</sup> ·°C/Вт
1	68,0	53,0	58,0	9,8	15,34	49,24	0,31	857424,0	22,7	674,8	0,83	0,0007548
								Ср. значения		674,8	0,83	0,0007548

**Теплоноситель:** ρ = 982,8 кг/м<sup>3</sup> w = 0,17 м/с  
 Ср = 4,179 кДж/(кг·°C) Re = 3349,9  
 ν\*10<sup>6</sup> = 0,475 м<sup>2</sup>/с Nu = 76,5  
 lambda = 0,651 Вт/(м·°C) alpha = 5184,7 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)  
 Pr = 3,01

**Вода:** ρ = 994,3 кг/м<sup>3</sup> w = 0,05 м/с  
 Ср = 4,174 кДж/(кг·°C) Re = 654,8  
 ν\*10<sup>6</sup> = 0,748 м<sup>2</sup>/с Nu = 32,9  
 lambda = 0,618 Вт/(м·°C) alpha = 2119,9 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)  
 Pr = 5,02

Испытания пластинчатых ТА v2.0

Пластиначатые  
Кожухотрубные  
Т.А.  
Поверочный расчет, пластинчатые Т.А.  
Поверочный расчет, кожухотрубные Т.А.

**Исходные данные:**  
 Температура теплоносителя на входе в ТА, T1 °C: 68  
 Температура теплоносителя на выходе из ТА, T2 °C: 53  
 Температура горячей воды, t<sub>гв</sub> °C: 58  
 Температура холодной воды, t<sub>хв</sub> °C: 9,8  
 Расход холодной воды, G<sub>хв</sub> м<sup>3</sup>/час: 600  
 Поверхность теплообмена, F м<sup>2</sup>: 56

Тип теплообменника: PC 0,5-P  
 количество пластин: 112  
 Число ходов: по т.н. 2 по воде 2

**Убедитесь, что введенные данные корректны**

**Добавить  
Очистить  
Печать  
Выход**

№ п/п	T1	T2	t <sub>гв</sub>	t <sub>хв</sub>	G <sub>хв</sub>	G <sub>тн</sub>	G <sub>хв</sub> /G <sub>тн</sub>	Q, Вт	dT, °C	k, Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	E	R, м <sup>2</sup> ·°C/Вт
1	68,0	53,0	58,0	9,8	15,34	49,24	0,31	857424,0	22,7	674,8	0,83	0,0007548
								Ср. значения		674,8	0,83	0,0007548

**Теплоноситель:** ρ = 982,8 кг/м<sup>3</sup> w = 6,44 м/с  
 Ср = 4,179 кДж/(кг·°C) Re = 130262,1  
 ν\*10<sup>6</sup> = 0,475 м<sup>2</sup>/с Nu = 1107,2  
 lambda = 0,651 Вт/(м·°C) alpha = 75035,7 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)  
 Pr = 3,01

**Вода:** ρ = 994,3 кг/м<sup>3</sup> w = 1,98 м/с  
 Ср = 4,174 кДж/(кг·°C) Re = 25461,3  
 ν\*10<sup>6</sup> = 0,748 м<sup>2</sup>/с Nu = 476,7  
 lambda = 0,618 Вт/(м·°C) alpha = 30680,6 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)  
 Pr = 5,02

В конечном итоге вычисляются средние значения коэффициента теплопередачи, термодинамической эффективности и термического сопротивления отложений. Если среднее значение термического сопротивления составляет от 0 до  $0,0002 \frac{m^2 \cdot C}{W}$ , то ячейка с результатом закрасится в зелёный цвет (теплообменник чистый), если от 0,0002 до 0,0004  $\frac{m^2 \cdot C}{W}$ , то в оранжевый (термическое сопротивление отложений в пределах нормы), если больше 0,0004 – то в красный (следует обратить на это внимание, т.к. термическое сопротивление выше нормативного значения для водопроводной воды  $0,0002 \frac{m^2 \cdot C}{W}$  с одной и другой стороны пластины).

Для проведения поверочного расчета исходные данные следующие:

1. Фактическая температура теплоносителя на входе в ТА;
2. Рассчитанное в первой части программы термическое сопротивление загрязнений;
3. Температура горячей воды;
4. Фактическая температура холодной воды;
5. Фактический расход холодной воды на нужды ГВС;

Неизвестными величинами остаются расход теплоносителя, необходимый для нагрева горячей воды и температура теплоносителя на выходе из ТА.

Задавая температуру на выходе из ТА, методом последовательных приближений программа рассчитает неизвестные величины, а также просчитает потери напора в теплообменнике. Если они составляют больше 5 м.в.ст., цвет шрифта меняется на красный.

**Исходные данные:**

Температура теплоносителя на входе в ТА, T1 °C: 68

Термическое сопротивление отложений, R м<sup>2</sup>·°C/Вт: 0,0007548

Температура горячей воды, t<sub>гв</sub> °C: 58

Температура холодной воды, t<sub>хв</sub> °C: 9,8

Расход холодной воды, G<sub>хв</sub> м<sup>3</sup>/час: 15,43

Поверхность теплообмена, F м<sup>2</sup>: 56

Тип теплообменника: РС 0,5-Р

Количество пластин: 112

Число ходов: по т.н. 2, по воде 2

Точность расчета:  грубый (2% шаг 0,5 °C)

**Количество приближений - 84**

**Двухступенчатая схема**

**Теплоноситель:** ρ = 983 кг/м<sup>3</sup>, Ср = 4,179 кДж/(кг·°C), ν·10<sup>6</sup> = 0,477 м<sup>2</sup>/с, λ = 0,65 Вт/(м·°C), Pr = 3,02, w = 0,16 м/с, Re = 3184,5, Nu = 73,9, α = 5006,8 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)

**Вода:** ρ = 994,3 кг/м<sup>3</sup>, Ср = 4,174 кДж/(кг·°C), ν·10<sup>6</sup> = 0,748 м<sup>2</sup>/с, λ = 0,618 Вт/(м·°C), Pr = 5,02, w = 0,05 м/с, Re = 654,8, Nu = 32,9, α = 2118,1 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)

T2	52,3
Бтн	47,05
Гхв/Бтн	0,33
Q, Вт	857424,0
dT, °C	22,5
k, Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	681,7
E	0,83

Параметр	Вода	Теплоноситель
w шт., м/с	0,14	0,42
Rшт., м.в.ст.	0	0,03
Rкан., м.в.ст.	0,1	0,65
Rсум., м.в.ст.	0,1	0,67

График: T, °C vs t, сек. dt = 22,5 °C. Точки: (0, 68,0), (t, 52,3), (t, 9,8).

Кнопки: **Рассчитать**, **Очистить**, **Печать**, **Выход**

Если необходимо произвести расчеты для теплообменников, подключенных по параллельной, смешанной или последовательной схеме, необходимо нажать кнопку «Для

расчета режимных карт». После этого необходимо заполнить поля с исходными данными, описать теплообменник первой и второй ступени и выбрать схему включения ТА. Затем нажимаем кнопку «Расчитать» и программа методом последовательных приближений с выбранным шагом рассчитывает расходы и температуры теплоносителя и воды в ключевых точках, а также тепловую мощность, коэффициент теплопередачи, температурный напор, термодинамическую эффективность, соотношение расходов и потери давления по средам в каждой ступени.

Для того, чтобы учесть потери напора на 1-й ступени и через неё пропустить лишь часть теплоносителя, устанавливаем флажок «учитывать гидравлику» и указываем допустимое падение давления на ней в м.в.ст. Для того чтобы уменьшить шаг расчетов в 5 раз без изменения точности расчета следует установить флажок «точнее». Чтобы прервать выполнение расчетов необходимо установить флажок «прервать». Кнопки «Очистить», «Печать» и «Заккрыть» говорят сами за себя.

**Исходные данные:**  
 Температура теплоносителя на входе в ТА,  $T_1$  °C: 68  
 Термическое сопротивление отложений,  $R$  м<sup>2</sup>·°C/Вт: 0,0007548 - 1-я ст. 0,0007548 - 2-я ст.  
 Температура горячей воды,  $t_{гв}$  °C: 58  
 Температура холодной воды,  $t_{хв}$  °C: 9,8  
 Расход холодной воды,  $G_{хв}$  м<sup>3</sup>/час: 15,43  
 Поверхность теплообмена,  $F$  м<sup>2</sup>: 56 - 1-я ст. 56 - 2-я ст.  
 Тип теплообменника 1-я ст.: PC 0,5-P  
 Тип теплообменника 2-я ст.: PC 0,5-P  
 Количество пластин: 112  
 Число ходов: по т.н. 2 по воде 2

**Точность расчета:**  
 грубый (3% шаг 0,4 °C)  
 средней точности (2% шаг 0,3 °C)  
 точный (1% шаг 0,2 °C)

**Схема подключения ТА:**  
 параллельная  
 смешанная  
 последовательная

**Одноступенчатая схема:**  
 68 - расход т.н. на нужды отопления,  $G_{кв}$  т/час  
 41 - т-ра в обратном тр-де из квартала  $T_{2кв}$ , °C  
 учитывать гидравлику  
 5 - потери давления на ТА 1 ст, м.в.ст

**Количество приближений - 944**  прервать

**Схематическое изображение:**  
 1-я ст.:  $Q=64418,4$ ,  $k=35$ ,  $dt=32,8$ ,  $E=0,1$ ,  $dG=0,14$   
 2-я ст.:  $Q=792702,1$ ,  $k=679,3$ ,  $dt=20,8$ ,  $E=0,82$ ,  $dG=0,38$

Расчет двух ступеней производится также как и расчет одной ступени за тем лишь отличием, что число приближений заметно увеличивается, т. к. неизвестной является температура подогретой воды между ступенями.

Также увеличивается число итераций при учете потерь давления на ТА 1-й ступени, из-за корректировки расхода теплоносителя через нее.

После проведения расчетов можно сделать выводы об эффективности работы теплообменника(ов), о необходимости очистки теплопередающих поверхностей, достаточности поверхностей теплообмена, правильности компоновки ТА и др.



### Список литературы

1. РТМ-26-01-36-70 «Теплообменники пластинчатые. Методы тепловых и гидромеханических расчетов» (руководящий технический материал) Москва – 1971;
2. «Справочник строителя. Монтаж внутренних санитарно-технических устройств» Москва, стройиздат 1984 г. под. ред. канд. техн. наук И. Г. Староверова. Издание третье, переработанное и дополненное

### AUTOMATION OF HEAT EXCHANGER RESISTANCE COMPUTATION DURING OPERATION

S. Yu. ANDREEV, Candidate of Engineering, director general

I. P. FEDOROV, main metrologist

S.V. MELNICHENKO, deputy of main engineer

*This paper describes an algorithm for determining the actual value of the thermal resistance of heat exchangers during operation for their timely washing in order to reduce the costs of maintaining the specified temperature values.*

1. РТМ-26-01-36-70 «Теплообменники пластинчатые. Методы тепловых и гидравлических расчетов» (руководящий технический материал) Москва – 1971.

2. «Справочник строителя. Монтаж внутренних санитарно-технических устройств», Москва, стройиздат 1984 г. под. ред. канд. техн. наук И. Г. Староверова. Издание третье, переработанное и дополненное.

Поступила в редакцию 10.10 2013 г.