

# ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ПРОЦЕСИ, АПАРАТИ ТА УСТАНОВКИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

## Задача 1

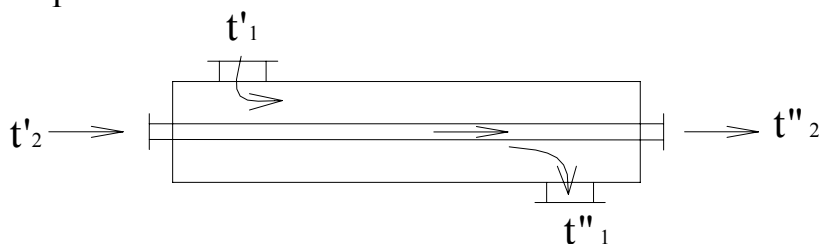
Визначить поверхню нагрівання рекуперативного газоповітряного теплообмінника при прямоїтчній і протитічній схемах руху теплоносіїв, якщо об'ємна витрата повітря, нагрівається, при нормальних умовах дорівнює  $V_2$ , середній коефіцієнт теплопередачі від продуктів згоряння до повітря  $k$ , початкові і кінцеві температури продуктів згоряння і повітря відповідно  $t'_1$ ,  $t''_1$ ,  $t'_2$ ,  $t''_2$ . Зобразіть графіки зміни температур теплоносіїв для обох випадків.

Остання цифра шифру	$V_2, 10^3, \text{ м}^3/\text{год}$	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Передостання цифра шифру	$t'_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t''_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t'_2, \text{ }^\circ\text{C}$	$t''_2, \text{ }^\circ\text{C}$
0	1	18	0	600	400	20	300
1	2	19	1	625	425	15	325
2	3	20	2	650	450	25	350
3	4	21	3	675	475	30	375
4	5	22	4	700	500	10	400
5	6	23	5	725	525	12	425
6	7	24	6	750	550	18	450
7	8	25	7	775	575	28	475
8	9	26	8	800	600	32	500
9	10	27	9	575	375	8	275

## Розв'язання

1. Визначимо температурні напори на вході і на виході із апарату.

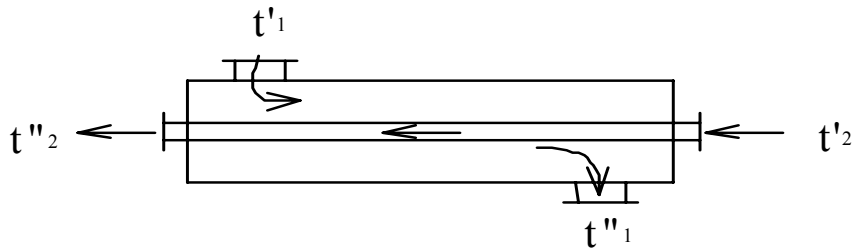
При прямоїтчній:



$$\Delta t' = t'_1 - t'_2;$$

$$\Delta t'' = t''_1 - t''_2.$$

При протитічній:



$$\Delta t' = t'_1 - t''_2;$$

$$\Delta t'' = t''_1 - t'_2.$$

2. Визначимо середньо логарифмічний температурний напір при обох схемах руху теплоносіїв.

При прямотечії:

$$\Delta t = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}.$$

При протитечії значення  $\Delta t$  визначається за цією ж формулою, проте у зв'язку з відмінністю  $\Delta t'$  та  $\Delta t''$  при різних схемах руху теплоносіїв значення  $\Delta t$  будуть різні.

3. Загальний тепловий потік, який одержує повітря, визначимо за формулою:

$$Q = \frac{V_2 \rho_2}{3600} \cdot c_{p_2} (t''_2 - t'_2), \text{ [кВт]}$$

де  $\rho_2$  - густина повітря при нормальних умовах,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho_2 = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$c_{p_2}$  ізобарна теплоємність повітря при нормальних умовах

$$(c_{p_2} = 1,01 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}});$$

3600- коефіцієнт переведення годин у секунди.

4. Визначимо потрібну поверхню нагрівання при обох системах руху теплоносіїв.

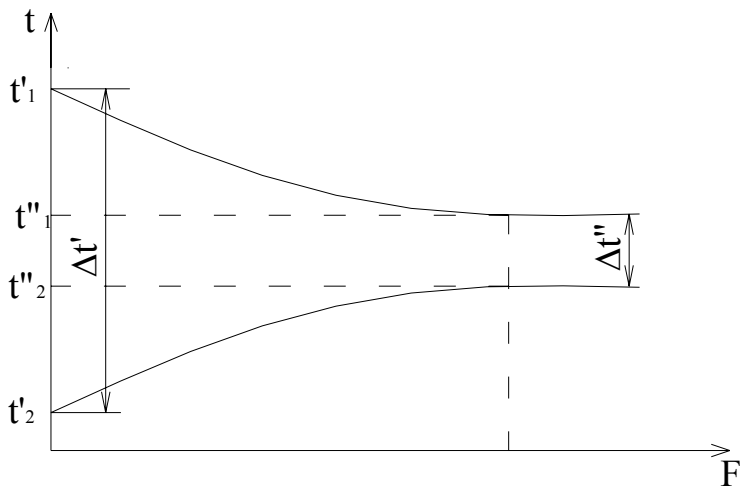
При прямотечії:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t}, \text{ [м}^2\text{]}$$

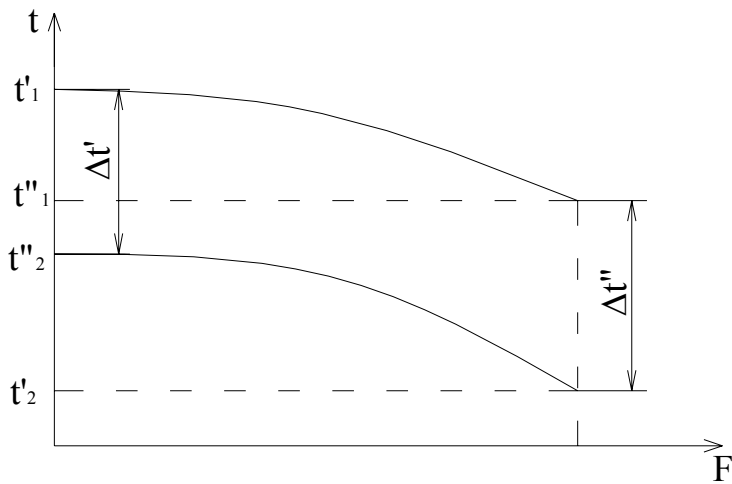
При протитечії поверхню нагрівання визначають за цією ж формулою.

При виконанні розрахунків необхідно слідкувати за розмірностями величин.

5. Зобразимо графік руху теплоносіїв для обох випадків.  
При прямиотечії



При протитечії



На графіках руху теплоносіїв повинні бути вказані числові значення величин  $t'_1, t''_1, t'_2, t''_2, \Delta t', \Delta t''$  F.

За отриманими значеннями F для різних систем руху теплоносіїв зробити висновок відносно теплової ефективності кожної системи.

## Задача 2

Визначення поверхні нагрівання водяного економайзера. Визначить площу поверхні нагрівання водяного економайзера при прямотічній та прититічній схемах руху теплоносіїв, якщо температура димових газів на вході  $t'_1$ , витрата газів  $G_1$ , теплоємність газів  $c_{p1}=1,045 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ , температура води на вході  $t'_2$ , витрата води  $G_2$ , теплоємність води  $c_{p2}=4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ , кількість тепла, що передається,  $Q$ , коефіцієнт теплопередачі від газів до води  $k$ . Наведіть графіки зміни температур при обох схемах руху.

Остання цифра шифру	$t'_1$ °C	$G_1$ т/год	$t'_2$ °C	Передостання цифра шифру	$G_2$ т/год	$Q \cdot 10^6$ Вт	$k$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$
0	350	180	100	0	90	15	87
1	370	210	110	1	100	16	85
2	390	240	120	2	110	17	83
3	410	270	130	3	120	18	81
4	430	300	140	4	130	19	79
5	450	330	150	5	140	20	77
6	470	360	160	6	150	21	75
7	490	390	170	7	160	22	73
8	510	420	180	8	170	23	71
9	530	450	190	9	180	24	69

### Розв'язання

Визначаємо температуру води на виході:

$$Q = G_2 c_{p2} (t''_2 - t'_2);$$

$$G_2 = 180 \frac{\text{т}}{\text{год}} = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ кг}}{3600 \text{ с}} = 50 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

$$24 \cdot 10^6 = 50 \cdot 4,19 \cdot 10^3 (t''_2 - 190);$$

$$t''_2 = 190 + 115 = 305^\circ\text{C}.$$

Визначимо температуру газів на виході:

$$Q = G_1 c_{p1} (t'_1 - t''_1)$$

$$Q = 450 \cdot \frac{10^3}{3600} \cdot 1,045 \cdot 10^3 (530 - t''_1)$$

$$t''_1 = 530 - 184 = 346^\circ\text{C}$$

Визначимо температурні напори на вході і на виході апарату:  
при прямотечії

$$\Delta t' = t_1' - t_2' = 530 - 190 = 340^\circ\text{C} = 340^\circ\text{C} = \Delta t_\delta$$

$$\Delta t'' = t_1'' - t_2'' = 346 - 305 = 41^\circ\text{C} = \Delta t_M$$

при протитечії

$$\Delta t' = t_1' - t_2'' = 530 - 190 = 305^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C} = \Delta t_M$$

$$\Delta t'' = t_1'' - t_2' = 346 - 190 = 156^\circ\text{C} = \Delta t_M$$

Визначимо середньо логарифмічний температурний напір при обох схемах руху теплоносіїв:

при прямотечії

$$\Delta t = \frac{\Delta t_\delta - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_\delta}{\Delta t_M}} = \frac{340 - 41}{\ln \frac{340}{41}} = 141^\circ\text{C}$$

при протитечії

$$\Delta t = \frac{\Delta t_\delta - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_\delta}{\Delta t_M}} = \frac{156 - 25}{\ln \frac{156}{25}} = 71^\circ\text{C}$$

Визначаємо потрібну поверхню нагрівання при обох схемах руху теплоносіїв:

при прямотечії

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} = \frac{24 \cdot 10^6}{69 \cdot 141} = 2467 \text{ м}^2$$

при протитечії

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} = \frac{24 \cdot 10^6}{69 \cdot 71} = 4899 \text{ м}^2$$

### Задача 3

Визначіть кінцеві температури теплоносіїв і кількість переданого тепла у пластинчастому водоводяному теплообміннику при прямоїчній і протитічній схемах руху теплоносіїв, якщо початкові температури теплоносіїв  $t'_1$  і  $t'_2$ , поверхня нагрівання  $F$ , значення коефіцієнту теплопередачі  $k$ , витрати теплоносіїв  $G_1$  і  $G_2$ , теплоємності теплоносіїв  $c_1$  і  $c_2$ . Розрахунок виконайте з використанням чисельного розв'язку на ЕОМ, використанням формул теплового балансу, теплопередачі і середньологарифмічної різниці температур. Усі отримані результати порівняйте і зробіть відповідні висновки.

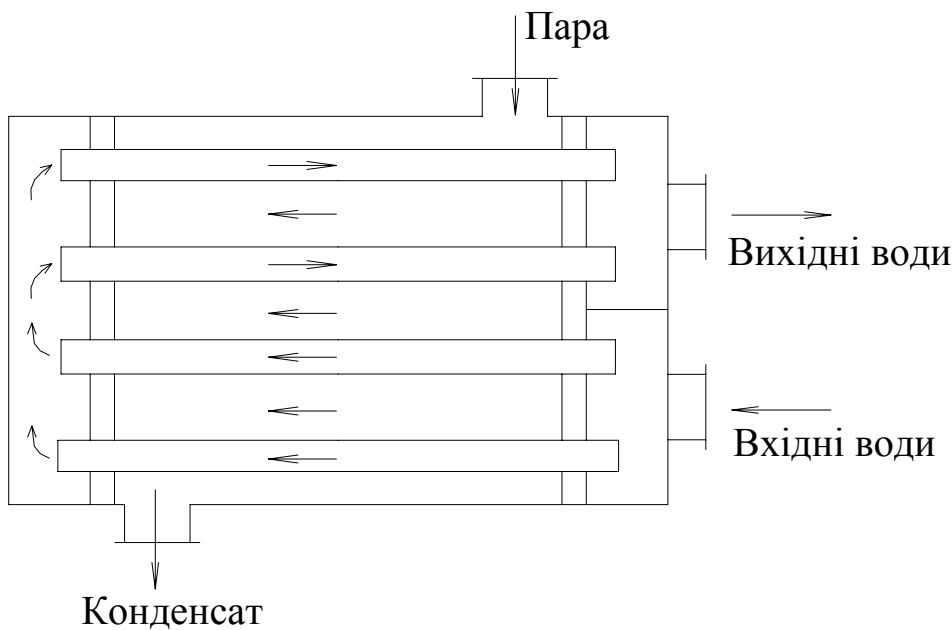
Остання цифра шифру	$t'_1$ °C	$F$ $m^2$	$G_1$ $л/хв$	$c_1$ $\frac{кДж}{кг \cdot ^\circ C}$	Передостання цифра шифру	$t'_2$ °C	$k$ $\frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C}$	$G_2$ $л/хв$	$c_2$ $\frac{кДж}{кг \cdot ^\circ C}$
0	100	0,4	1	4,18	0	10	200	10	4,19
1	110	0,6	2	-//-	1	11	210	9	-//-
2	120	0,8	3	-//-	2	12	220	8	-//-
3	130	1	4	-//-	3	13	230	7	-//-
4	140	1,2	5	-//-	4	14	240	6	-//-
5	150	1,4	6	-//-	5	15	250	5	-//-
6	160	1,6	7	-//-	6	16	260	4	-//-
7	170	1,8	8	-//-	7	17	270	3	-//-
8	180	2	9	-//-	8	18	280	2	-//-
9	190	2,2	10	-//-	9	19	290	1	-//-

### Розв'язання

Задача розв'язується за методикою розв'язку задач 1 та 2 і з обов'язковим застосуванням чисельного методу розв'язку з використання ЕОМ.

#### Задача 4

Визначить гідравлічний опір горизонтального кожухотрубного двоходового ( для води ) пароводяного підігрівника. Розміри трубок  $d = 15,5 / 18$  мм,  $l = 4300$ . Середня температура води  $t = 80^\circ\text{C}$ , швидкість руху води  $w = 1,47$  м/с. Визначить потужність, яка витрачається на транспортування води по теплообміннику.



#### Розв'язання

Приймаємо абсолютну шорсткість стінок  $\delta = 0,1$  мм, Визначаємо відносну шорсткість

$$\varepsilon = \frac{\delta}{r} = \frac{2\delta}{d} = \frac{2 \cdot 0,1}{15,5} = 0,0129$$

Граничне значення  $Re_{cp}$  визначаємо за наближеною формулою, яку запропонував М. А. Міхеєв:

$$Re_{cp} = \frac{100}{\varepsilon} = \frac{100}{0,0129} = 7700$$

Число Рейнольдса при кінематичній в'язкості води при  $t = 80^\circ\text{C}$   
 $\nu = 0,36 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{1,47 \cdot 0,0155}{0,36 \cdot 10^{-6}} = 63000$$

Оскільки у нашому випадку  $Re > Re_{cp}$ , то коефіцієнт опору тертя не залежить від значення  $Re$  і визначається за наближеною формулою:

$$\lambda = 0,1 \sqrt[4]{\varepsilon} = 0,1 \cdot \sqrt[4]{0,0129} = 0,033$$

Для визначення втрат із-за місцевих опорів скористаємося довідковою таблицею.

Значення коефіцієнтів місцевих опорів  $\zeta$  в охолоджувачах і підігрівниках рідин.

Місцевий опір	Коефіцієнт
Вхідна або вихідна камера (удар і поворот)	1,5
Поворот на $180^\circ$ всередині камери при переході із одного пучка трубок в інший	2,5
Поворот на $180^\circ$ при переході із однієї серії в іншу через коліно	2
Поворот на $180^\circ$ через перегородку в міжтрубному просторі	1,5
Поворот на $180^\circ$ в U-подібній трубці	0,5
Огинання перегородок, що підтримують трубки	0,5
Вхід в міжтрубний простір	1,5
Вхід в трубний простір і вихід із нього	1
Круглі змійовики	0,5
Вентиль прохідний $d=50$ мм при повному відкритті	4,6
Вентиль прохідний $d=400$ мм при повному відкритті	7,6
Засувка нормальна	0,5-1,0
Кран прохідний	0,6-2,0
Кутник $90^\circ$	1-2

Вибираємо наступні значення коефіцієнтів місцевих опорів:

Вхідна камера  $\zeta_1 = 1,5$ ;

Вхід в трубний опір  $\zeta_2 = 1$ ;

Поворот між ходами  $\zeta_3 = 2,5$ ;

Вихід із трубок  $\zeta_4 = 1,0$ ;

Вихідна камера  $\zeta_5 = 1,5$ ;

Гідравлічний опір підігрівника при  $\rho = 970 \text{ кг/м}^3$  становить:

$$\Delta p_{mo} = \Delta p_{tr} + \Delta p_{mo} = \frac{\lambda \cdot l \cdot n \cdot w^2 \cdot \rho}{d_e \cdot 2} + \sum \zeta \frac{w^2 \cdot \rho}{2} =$$

$$= \left( \frac{0,033 \cdot 4,3 \cdot 2}{0,0155} + 7,5 \right) \cdot \frac{1,47 \cdot 970}{2} = 26950 \text{ Па} .$$

де,  $l$  довжина однієї трубки;

$n$  число трубок.

Коефіцієнт 2 після  $l$  поставлений у зв'язку з тим, що у нас є 2 трубки.

Остання цифра шифру	Внутрішній діаметр трубок $d$ , мм	Середня температура води $t$ , °C	Число трубок в одному ході $n$ , штук	Передостання цифра шифру	Довжина трубок $l$ , мм	Швидкість руху води $w$ , м/с	Число ходів теплообмінника для води $m$ , штук
0	5	10	2	0	500	1	1
1	6	20	4	1	1000	1,1	2
2	7	30	6	2	1500	1,2	1
3	8	40	8	3	20000	1,3	2
4	9	50	10	4	550	1,4	1
5	10	60	12	5	600	1,5	2
6	11	70	14	6	700	1,6	1
7	12	80	16	7	800	1,7	2
8	13	90	18	8	900	1,8	1
9	14	10	20	9	950	1,9	2

Кінематична в'язкість води  $\nu$ ,  $\frac{m^2}{c}$ .

$t$ , °C	20	40	60	80
$\nu$ , $\frac{m^2}{c}$ , $\cdot 10^{-6}$	1	0,65	0,47	0,36

Залежність густини води від температури.

$t$ , °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\rho$ , $\frac{kg}{m^3}$	1000	1000	998	996	992	988	983	978	972	965	958