

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛООБМЕНА

1. Определение коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата

Для сушки продуктов используется горячий воздух, нагреваемый в газо-воздушном прямоточном теплообменнике дымовыми газами.

По результатам испытаний прямоточного теплообменника известно (см. в конце работы):

1. Начальная и конечная температуры воздуха:

$$t_{B1} = \text{_____} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{B2} = \text{_____} \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Начальная и конечная температуры дымовых газов:

$$t_{Г1} = \text{_____} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{Г2} = \text{_____} \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. Количество (расход) нагреваемого воздуха:

$$V_B = \text{_____} \text{ } \text{м}^3/\text{с}$$

4. Поверхность нагрева теплообменника:

$$F = \text{_____} \text{ } \text{м}^2$$

5. Теплоемкость воздуха не зависит от температуры

Определить:

1) Коэффициент теплопередачи теплообменника;

2) Построить график распределения температур вдоль поверхности теплообмена.



Рис. 1. График распределения температур вдоль поверхности теплообмена прямоточного теплообменника

Решение

1. Определим среднюю температуру воздуха на заданном участке нагрева:

$$t_{BCP} = \frac{t_{B1} + t_{B2}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

где t_{B1} и t_{B2} – начальная и конечная температуры воздуха, $^\circ\text{C}$.

2. Определим массу нагреваемого воздуха за 1 сек.:

$$m_B = V_B \cdot \rho_B, \text{ } \text{кг}/\text{с} \quad (2)$$

где ρ_B – плотность воздуха при средней температуре t_{BCP} , $\text{кг}/\text{м}^3$ (см. приложение 1)

3. Количество тепла, переданного от дымовых газов воздуху:

$$Q = m_B \cdot c_{PB} \cdot (t_{B2} - t_{B1}), \text{ кВт} \quad (3)$$

где c_{PB} – удельная теплоемкость воздуха при средней температуре t_{BCP} , кДж/кг·К (см. приложение 1)

4. Найдем средний температурный напор:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

где $\Delta t_B = t_{Г1} - t_{B1}$, $^\circ\text{C}$ – наибольшая разность температур;
 $\Delta t_M = t_{Г2} - t_{B2}$, $^\circ\text{C}$ – наименьшая разность температур.

5. Определим коэффициент теплопередачи k из выражения:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{CP} \quad (5)$$

$$k = \frac{Q \cdot 10^3}{F \cdot \Delta t_{CP}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (6)$$

где Q – количество теплоты, кВт.

6. Построить график распределения температур вдоль поверхности теплообмена (см. рис. 1)

2. Определение площади поверхности противоточного теплообменника

Пастеризация молока производится паром в противоточном теплообменнике

Известными величинами являются следующие (см. в конце работы):

1. Давление пара $P_H = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа.
2. Производительность пастеризатора по молоку
 $m = \underline{\hspace{2cm}}$ кг/с
3. Начальная и конечная температуры молока
 $t_{M1} = \underline{\hspace{2cm}}$ $^\circ\text{C}$
 $t_{M2} = \underline{\hspace{2cm}}$ $^\circ\text{C}$
4. Коэффициент теплопередачи теплообменника
 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ Вт/м²·К
5. Теплоемкость молока $C_M = 3,8$ кДж/кг·К

Определить:

- 1) Количество пара, необходимое для пастеризации;
- 2) Площадь поверхности нагрева теплообменника;
- 3) Построить график распределения температур вдоль поверхности теплообмена.

Решение

1. Определяем энергию, которую пар передает молоку:

$$Q_{II} = m \cdot C_M \cdot (t_{M1} - t_{M2}), \text{ кДж/с} \quad (1)$$

2. Определим количество пара, необходимое для пастеризации D_{II} из выражения:

$$Q_{II} = D_{II} \cdot (i_2 - i_1) \quad (2)$$

Отсюда получим:

$$D_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{i_2 - i_1}, \text{ кг/с} \quad (3)$$

где i_1 и i_2 - соответственно энтальпии конденсата и пара при заданном давлении пара, кДж/кг (см. приложение 2).

3. Определим удельный объем пара:

$$v'' = \frac{1}{\rho_{\Pi}}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (4)$$

где ρ_{Π} – плотность пара при заданном давлении пара, кг/м³ (см. приложение 2).

4. Определим объемный расход пара:

$$V_{\Pi} = D_{\Pi} \cdot v'', \text{ м}^3/\text{с} \quad (5)$$

5. Найдем температурный напор:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

где $\Delta t_B = t_{\Pi} - t_{M1}$, $^\circ\text{C}$ – наибольшая разность температур;

$\Delta t_M = t_{\Pi} - t_{M2}$, $^\circ\text{C}$ – наименьшая разность температур;

t_{Π} – температура пара при заданном давлении пара, $^\circ\text{C}$ (см. приложение 2).

6. Определим поверхность нагрева теплообменника F из выражения:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{CP} \quad (7)$$

Тогда получим:

$$F = \frac{Q_{\Pi} \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{CP}}, \text{ м}^2 \quad (8)$$

7. Построить график распределения температур вдоль поверхности теплообмена (см. рис. 2)

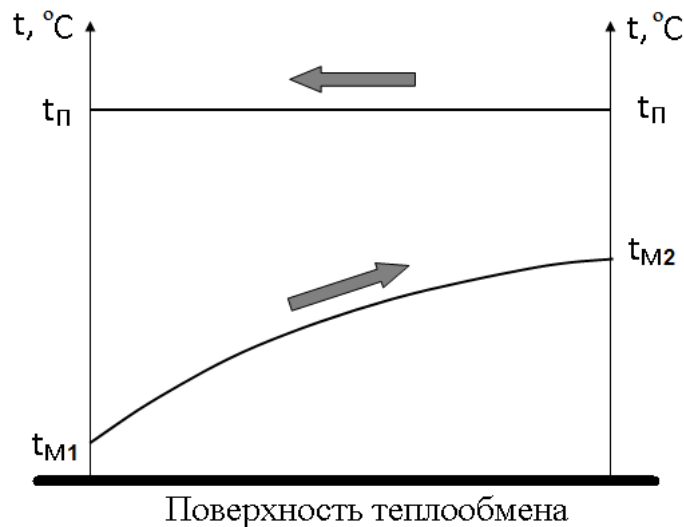


Рис. 2. График распределения температур вдоль поверхности теплообмена противоточного теплообменника

Физические свойства сухого воздуха ($p = 760$ мм рт. ст.) [4]

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $C_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ | $\lambda \cdot 10^{-2}, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$ | $a \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$ | $\mu \cdot 10^{-6}, \text{н}\cdot\text{с/м}^2$ | $\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$ |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|--|--|--|
| 0 | 1,293 | 1,005 | 2,44 | 18,8 | 17,2 | 13,28 |
| 10 | 1,247 | 1,005 | 2,51 | 20 | 17,6 | 14,16 |
| 20 | 1,205 | 1,005 | 2,59 | 21,4 | 18,1 | 15,06 |
| 30 | 1,165 | 1,005 | 2,67 | 22,9 | 18,6 | 16 |
| 40 | 1,128 | 1,005 | 2,76 | 24,3 | 19,1 | 16,96 |
| 50 | 1,093 | 1,005 | 2,83 | 25,7 | 19,6 | 17,95 |
| 60 | 1,060 | 1,005 | 2,9 | 27,2 | 20,1 | 18,97 |
| 70 | 1,029 | 1,009 | 2,96 | 28,6 | 20,6 | 20,02 |
| 80 | 1,000 | 1,009 | 3,05 | 30,2 | 21,1 | 21,09 |
| 90 | 0,972 | 1,005 | 3,13 | 31,9 | 21,5 | 22,1 |
| 100 | 0,946 | 1,009 | 3,21 | 33,6 | 21,9 | 23,13 |
| 120 | 0,898 | 1,009 | 3,34 | 36,8 | 22,8 | 25,45 |
| 140 | 0,854 | 1,013 | 3,49 | 40,3 | 23,7 | 27,8 |
| 160 | 0,815 | 1,017 | 3,64 | 43,9 | 24,5 | 30,09 |
| 180 | 0,779 | 1,022 | 3,78 | 47,5 | 25,3 | 32,49 |
| 200 | 0,746 | 1,026 | 3,93 | 51,4 | 26 | 34,85 |

Параметры водяного пара в состоянии насыщения (по давлениям)

| Давление пара, $P_H, \text{МПа}$ | Температура пара $t_H, ^\circ\text{C}$ | Плотность пара, $\rho_H, \text{кг/м}^3$ | Удельная энтальпия, кДж/кг | |
|----------------------------------|--|---|----------------------------|------------|
| | | | Конденсата i' | Пара i'' |
| 0,10 | 99,63 | 0,59 | 417,51 | 2675,7 |
| 0,11 | 102,32 | 0,645 | 428,84 | 2680,0 |
| 0,12 | 104,81 | 0,7 | 439,36 | 2683,8 |
| 0,13 | 107,13 | 0,754 | 449,19 | 2687,4 |
| 0,14 | 109,32 | 0,808 | 458,42 | 2690,8 |
| 0,15 | 111,37 | 0,862 | 467,13 | 2693,9 |
| 0,16 | 113,32 | 0,916 | 475,38 | 2696,3 |
| 0,17 | 115,17 | 0,969 | 483,22 | 2699,5 |
| 0,18 | 116,93 | 1,023 | 490,70 | 2702,1 |
| 0,19 | 118,62 | 1,076 | 497,35 | 2704,6 |
| 0,20 | 120,23 | 1,129 | 504,7 | 2706,9 |
| 0,22 | 123,27 | 1,234 | 517,6 | 2711,3 |
| 0,25 | 127,43 | 1,391 | 535,4 | 2717,2 |
| 0,30 | 133,54 | 1,65 | 561,4 | 2725,5 |
| 0,35 | 138,38 | 1,907 | 584,3 | 2732,5 |
| 0,40 | 143,62 | 2,163 | 604,7 | 2738,8 |
| 0,45 | 147,92 | 2,416 | 623,2 | 2743,8 |
| 0,50 | 151,35 | 2,668 | 640,1 | 2748,5 |
| 0,55 | 155,47 | 2,919 | 655,8 | 2752,7 |
| 0,60 | 158,34 | 3,169 | 670,4 | 2756,4 |
| 0,70 | 164,96 | 3,666 | 697,1 | 2762,9 |

Варианты исходных данных к заданию №1

(вариант уточнить у преподавателя)

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $t_{B1}, ^\circ\text{C}$ | 5 | 5 | 10 | 10 | 15 | 15 | 20 | 20 | 25 | 25 |
| $t_{B2}, ^\circ\text{C}$ | 100 | 70 | 80 | 110 | 120 | 90 | 105 | 75 | 95 | 85 |
| $t_{Г1}, ^\circ\text{C}$ | 490 | 480 | 470 | 460 | 500 | 440 | 430 | 420 | 410 | 400 |
| $t_{Г2}, ^\circ\text{C}$ | 240 | 320 | 250 | 280 | 300 | 270 | 260 | 230 | 200 | 220 |
| $V_B, \text{м}^3/\text{с}$ | 12 | 14 | 18 | 20 | 24 | 16 | 22 | 25 | 12 | 14 |
| $F, \text{м}^2$ | 170 | 140 | 150 | 180 | 160 | 170 | 160 | 150 | 140 | 190 |
| Варианты 11-20 | | | | | | | | | | |
| Вариант | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $t_{B1}, ^\circ\text{C}$ | 7 | 7 | 12 | 12 | 18 | 18 | 22 | 22 | 30 | 30 |
| $t_{B2}, ^\circ\text{C}$ | 115 | 120 | 80 | 90 | 70 | 110 | 100 | 90 | 115 | 105 |
| $t_{Г1}, ^\circ\text{C}$ | 450 | 510 | 460 | 480 | 440 | 490 | 480 | 450 | 490 | 470 |
| $t_{Г2}, ^\circ\text{C}$ | 240 | 330 | 300 | 310 | 250 | 320 | 250 | 260 | 300 | 270 |
| $V_B, \text{м}^3/\text{с}$ | 18 | 24 | 16 | 20 | 12 | 22 | 14 | 18 | 25 | 22 |
| $F, \text{м}^2$ | 200 | 140 | 190 | 150 | 160 | 180 | 170 | 210 | 200 | 190 |

Варианты исходных данных к заданию №2

(вариант уточнить у преподавателя)

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| $P_H, \text{МПа}$ | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,2 | 0,21 |
| $m, \text{кг/с}$ | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | 0,45 | 0,55 | 0,65 |
| $t_{M1}, ^\circ\text{C}$ | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| $t_{M2}, ^\circ\text{C}$ | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 78 | 83 | 88 | 93 |
| $k, \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 |

| Вариант | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $P_H, \text{МПа}$ | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,2 | 0,21 |
| $m, \text{кг/с}$ | 0,25 | 0,35 | 0,15 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,25 | 0,7 | 0,65 |
| $t_{M1}, ^\circ\text{C}$ | 25 | 30 | 10 | 5 | 15 | 20 | 25 | 30 | 5 | 10 |
| $t_{M2}, ^\circ\text{C}$ | 87 | 90 | 85 | 73 | 80 | 70 | 75 | 93 | 78 | 80 |
| $k, \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ | 2100 | 2200 | 2300 | 1100 | 1700 | 1300 | 2000 | 2100 | 1500 | 1800 |