

Определение необходимой поверхности теплообмена реактора 6 м³.

Исходные данные:

1. Рабочая среда: этиленгликоль;
2. Теплоноситель: насыщенный пар 2,5 ат = 0,25 МПа.
3. Объем реактора: $V = 6 \text{ м}^3$;
4. Масса этиленгликоля: $m = 4200 \text{ кг}$;
5. Плотность этиленгликоля: $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$;
6. Удельная теплоемкость этиленгликоля: $c = 2422 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;
7. Время проведения процесса: $\tau = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ с}$;
8. Начальная температура этиленгликоля: $T_1 = 10^\circ\text{C}$;
9. Конечная температура в реакторе: $T_2 = 60^\circ\text{C}$;
10. Змеевик: $\text{Ø}57 \times 3,5$

1. Расчетная поверхность теплообмена определяется как [1]:

$$F = \frac{q}{K \cdot \Delta t_{\text{cp}}}$$

где q – тепловая нагрузка, Вт;

K – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

Δt_{cp} – средняя разность температур теплоносителей, К.

2. Тепловая нагрузка определяется как [1]:

$$q = \frac{Q}{\tau}$$

где Q – количество теплоты, подводимой при данном режиме, Дж;

$\tau = 3600 \text{ с}$ – время проведения процесса.

3. Количество тепла, необходимое на нагрев реакционной смеси:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t = 2422 \cdot 4200 \cdot 50 = 508620 \text{ кДж}$$

где $c = 2422 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ – удельная теплоемкость этиленгликоля;

$m = 4200 \text{ кг}$ – масса этиленгликоля в реакторе;

$\Delta t = T_2 - T_1 = 60 - 10 = 50^\circ\text{C}$.

$$q = \frac{508620}{3600} = 141283 \text{ Вт}$$

4. Средняя разность температур, при нагревании среды конденсирующимся паром [1]:

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_H - t_K}{\ln \frac{t_{II} - t_H}{t_{II} - t_K}} = \frac{60 - 10}{\ln \frac{125 - 10}{125 - 60}} = 200^\circ\text{C}$$

где $t_K = T_2 = 60^\circ\text{C}$ – конечная температура этиленгликоля;

- $t_H = T_1 = 10^\circ\text{C}$ – начальная температура этиленгликоля;

- $t_{II} = 125^\circ\text{C}$ – температура конденсации пара при 2,5 ат.

5. Коэффициент теплопередачи определяется как [ф. 4.77, 4]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_H}{d_{BH}} + \sum r_3}$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи этиленгликоля, $\text{Вт}\cdot\text{м}^2/\text{К}$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи коэффициент теплоотдачи насыщенного пара, $\text{Вт}\cdot\text{м}^2/\text{К}$;

$\delta = 3,5$ мм – толщина стенки змеевика реактора;

λ – теплопроводность стенки змеевика, $\text{Вт}\cdot\text{м}/\text{К}$;

для стали марки 12Х18Н10Т:

- при 100°C : $\lambda = 16$ $\text{Вт}\cdot\text{м}/\text{К}$;

- при 200°C : $\lambda = 18$ $\text{Вт}\cdot\text{м}/\text{К}$;

- при 125°C :

$$\lambda = 16 + 5 \frac{18 - 16}{20} = 16,5 \frac{\text{Вт}\cdot\text{м}}{\text{К}}$$

$$r_3 = r_1 + r_2 = 18 \cdot 10^{-5} + 35 \cdot 10^{-5} = 53 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

$r_1 = 18 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – термическое сопротивление загрязнений стенок (таблица 19 [1], принимаем для пара);

$r_2 = 35 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – термическое сопротивление загрязнений стенок (таблица 19 [1], принимаем для хладагента);

6. Коэффициент теплоотдачи этиленгликоля при перемешивании мешалкой определяется в соответствии с ф. 4.45 [2]:

$$\alpha_1 = Nu \frac{\lambda_1}{d_M}$$

где $\lambda_1 = 24,9$ $\text{Вт}\cdot\text{м}/\text{К}$ – теплопроводность этиленгликоля [3];

$d_m = 1600$ мм – диаметр окружности, ометаемой мешалкой (принимается для стандартной якорной мешалки реактора $6,3 \text{ м}^3$);

Nu – коэффициент Нуссельта, определяемый в соответствии с ф. 4.45 [2]:

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0,14} \cdot \Gamma^{-1}$$

где $C=0,87$; $m = 0,62$ – для аппаратов со змеевиками;

μ , $\mu_{ст}$ – динамическая вязкость этиленгликоля при температуре 20°C и при температуре 60°C соответственно:

$\mu = \rho \cdot \nu$, где ν – кинематическая вязкость этиленгликоля;

- $\nu = 19,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость этиленгликоля при температуре 20°C ;
- $\mu = 19,17 \cdot 10^{-6} \times 1100 = 21,087 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамическая вязкость этиленгликоля при температуре 20°C ;
- $\nu_{ст} = 4,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость этиленгликоля при температуре 60°C ;
- $\mu_{ст} = 4,75 \cdot 10^{-6} \times 1100 = 5,225 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамическая вязкость этиленгликоля при температуре 60°C [3].

$\Gamma = D/d_m = 1800/1600 = 1,125$ (где $D = 1800$ мм – диаметр аппарата, принимаем условно исходя из габаритных размеров типового реактора $6,3 \text{ м}^3$);

$Pr = 93$ – число Прандтля при плотности этиленгликоля $1100 \text{ кг}/\text{м}^3$ [3];

Re – число Рейнольдса, определяемое в соответствии с ф. 4.45 [2]:

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d_m^2}{\mu} = \frac{1100 \cdot 1,5 \cdot 1,6^2}{21,087 \cdot 10^{-3}} = 200000$$

где $n = 90$ об/мин – $1,5$ об/с – скорость вращения якорной мешалки.

$$Nu = 0,87 \cdot 200000^{0,62} \cdot 93^{0,33} \cdot \left(\frac{21,087 \cdot 10^{-3}}{5,225 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} \cdot 1,125^{-1} = \frac{0,87 \cdot 1934 \cdot 4,46 \cdot 1,22}{1,125} \\ = 8138$$

$$\alpha_1 = 8138 \frac{24,9}{1,6} = 126 \cdot 10^3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

7. Среднее значение коэффициента теплоотдачи при конденсации пара на поверхности горизонтальной круглой трубы определяется в соответствии с ф. 4.49 [2]:

$$\alpha_2 = Nu \frac{\lambda_2}{d}$$

где $\lambda_2 = 264 \text{ Вт} \cdot \text{м} / \text{К}$ – теплопроводность пара [4];

$d = 0,057 \text{ мм}$ – наружный диаметр трубы змеевика;

Nu – коэффициент Нуссельта, определяемый в соответствии с ф. 4.49 [2]:

$$Nu = c(Ga \cdot Pr \cdot K\phi)^n$$

где $c = 0,728$ – при конденсации на поверхности горизонтальных труб;

$n = 0,25$.

$Pr = 1,1$ – число Прандтля для пара температурой 125°C [4];

$$Ga = \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho^2}{\mu} = \frac{9,8 \cdot 1,8^3 \cdot 1,3^2}{13,045 \cdot 10^{-6}} = 7,4 \cdot 10^6$$

где $\mu_{\text{п}} = 13,045 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамическая вязкость пара при температуре 125°C [4];

$g = 9,8 \text{ м} / \text{с}$ – ускорение свободного падения;

$\rho_{\text{п}} = 1,3 \text{ кг} / \text{м}^3$ – плотность пара при температуре 125°C [4];

$$K\phi = \frac{r}{c_p \cdot \Delta t} \frac{2188,55 \cdot 10^3}{2231,5 \cdot 65} = 15$$

где $r = 2188,55 \text{ кДж} / \text{кг}$ – теплота фазового превращения пара при температуре 125°C [4];

$c_p = 2231,5 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ – удельная теплоемкость пара [4];

$\Delta t = T_{\text{конд.}} - T_{\text{ст.}} = 125 - 60 = 65^\circ \text{C} (\text{К})$;

$$Nu = 0,728(7,4 \cdot 10^6 \cdot 1,1 \cdot 15)^{0,25} = 76,5$$

$$\alpha_2 = 76,5 \frac{264}{0,057} = 350 \cdot 10^3 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

8. Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{126 \cdot 10^3} + \frac{1}{350 \cdot 10^3} + \sum \frac{1}{2 \cdot 16,5} \ln \frac{0,057}{0,050} + 18 \cdot 10^{-5}}$$
$$= \frac{1}{0,007 \cdot 10^{-3} + 0,003 \cdot 10^3 + 0,0017 + 0,000053} = 556 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

9. Расчетная поверхность теплообмена определяется как [1]:

$$F = \frac{141283}{556 \cdot 200} = 1,3 \text{ м}^2$$

Приблизительный расчет необходимого количества витков змеевика реактора 6 м³

В соответствии с вышеизложенным расчетом змеевик реактора изготавливается из трубы Ø57×3,5 стали марки 12Х18Н10Т.

Необходимая длина трубы: $L = F/d = 1,3/0,057 = 22,8$ м.

Допустим змеевик располагается в реакторе по окружности диаметром $D=1750$ мм (между стенкой и мешалкой), тогда длина одного витка змеевика составит:

$$l = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 1,75 = 5,495 \text{ м};$$

Необходимое количество витков змеевика: $n = L/l = 22,8/5,495 = 4$ витка.

Используемая литература:

1. Щенникова О.Б. Расчет и выбор оборудования химико-фармацевтической промышленности. Часть 1. Расчет и выбор химических реакторов. Санкт-Петербург, 2005 г.
2. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. (Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.). Ленинград «Химия», 1987г.
3. Электронный ресурс HighExpert.ru. Информация для инженеров. Физические свойства этиленгликоля и глицерина:
4. Электронный ресурс thermalinfo.ru. Свойства газов. Теплофизические свойства водяного пара: плотность, теплоемкость, теплопроводность.

Примечание: ниже на рисунке представлена ориентировочная конструкция реактора с предварительным расположением штуцеров, по согласованию с заказчиком конструкция реактора, а также расположение, количество и размеры штуцеров могут быть изменены.

Схема реактора 6 м³

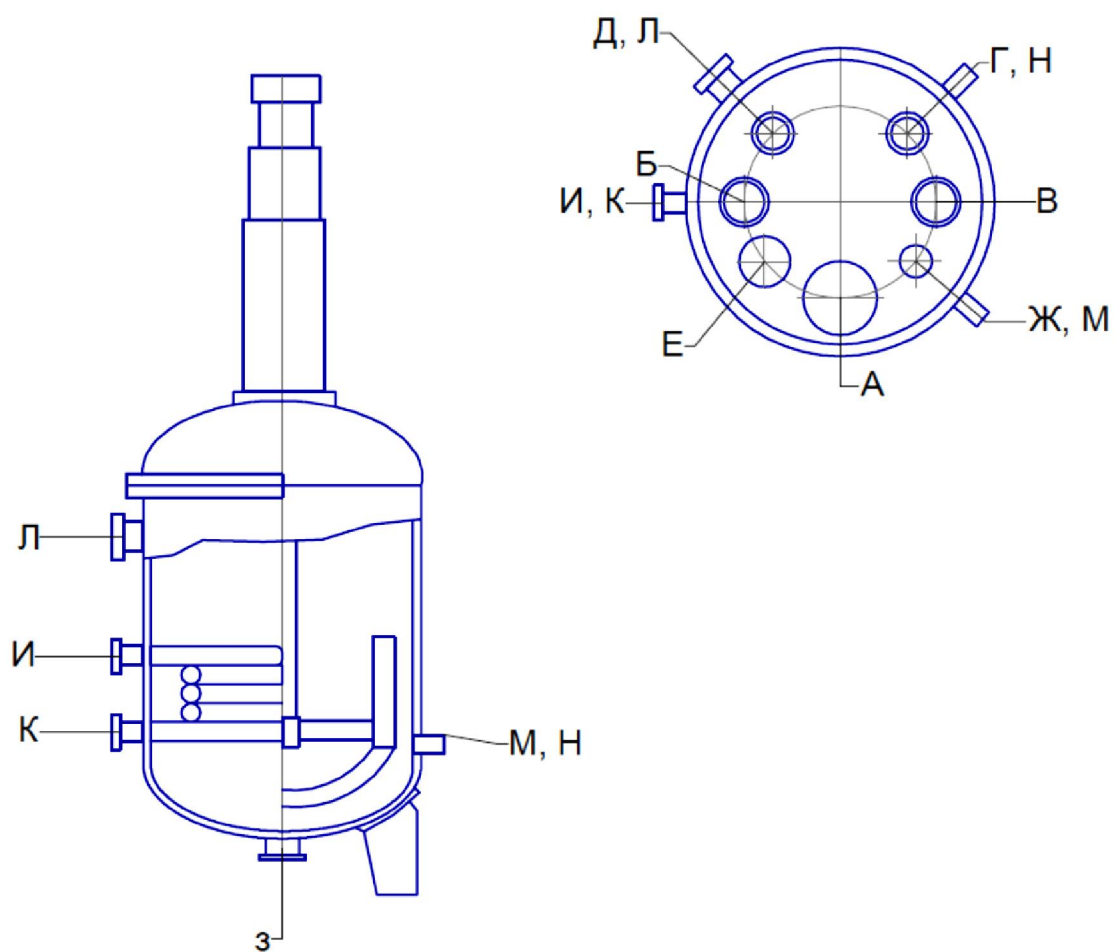


Таблица штуцеров	
А - Ду 400	Люк
Б - Ду 80	Технологический
В - Ду 80	Технологический
Г - Ду 50	Воздушка
Д - Ду 50	Резервный
Е - Ду 100	Окно смотровое
Ж	Для установки термопреобразователя
З - Ду 80	Выход продукта
И - Ду 50	Вход пара
К - Ду 50	Выход конденсата
Л - Ду 50	Перелив
М	Для датчика гидростатического давления
Н	Для датчика гидростатического давления