

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{71 - 20}{\ln \frac{71}{20}} = 65^0 C = 65 K.$$

3. Теперь нужно найти средние температуры потоков (толуола и воды). Используем известное правило: для потока, температура которого меняется на меньшее число градусов, берём средняя арифметическую температуру. А для второго потока используем формулу

$$\Delta t_{cp} = t_{cp1} - t_{cp2}.$$

В нашей задаче вода меняет температуру на 20°C, а толуол на 71°C. Следовательно, средняя температура воды будет равна

$$t_{cp2} = \frac{t_{2н} + t_{2к}}{2} = \frac{20 + 40}{2} = 30^0 C.$$

А средняя температура толуола

$$t_{cp1} = \Delta t_{cp} + t_{cp2} = 65 + 30 = 95^0 C \approx 80^0 C.$$

Мы округлили температуру до ближайшего кратного 10 значения, что упростит нахождение свойств, а на точность расчётов практически не повлияет.

4. Для найденных температур по справочнику находим значения удельных теплоёмкостей толуола и воды:

$$c_1 = 1982 \frac{Дж}{кг \cdot К};$$

$$c_2 = 4180 \frac{Дж}{кг \cdot К}.$$

5. Составляем уравнение теплового баланса, из которого определяем тепловую нагрузку на аппарат Q без учёта потерь теплоты в окружающую среду

$$Q = G_1 c_1 (t_{1н} - t_{1к}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2н}) =$$

$$= \frac{40 \cdot 1000}{3600} \cdot 1982 \cdot (111 - 40) = 1563577 Вт.$$

6. Требуемый расход охлаждающей воды массовый

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 (t_{2к} - t_{2н})} = \frac{1563577}{4180(40 - 20)} = 18,7 \frac{кг}{с}.$$

7. Объёмный расход охлаждающей воды

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{18,7}{996} = 0,01878 \frac{м^3}{с} = 67,6 \frac{м^3}{час}.$$

8. Требуемая площадь поверхности теплопередачи

$$F_{тр} = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{1563577}{550 \cdot 54} = 52,6 м^2$$

Ответ:

- требуемый расход воды $67,6 \text{ м}^3/\text{час}$,
- средняя разность температур для противотока 54°C , прямоток организовать невозможно;
- требуемая площадь поверхности теплопередачи $52,6 \text{ м}^2$.

Задача 2

Требуется подогреть 30 т/час этанола от 40°C до температуры кипения при атмосферном давлении. В качестве теплоносителя используется конденсат водяного пара давлением 3 ат (абс). Расход конденсата 20 т/час. Коэффициент теплопередачи равен $350 \text{ Вт}/(\text{кг}\times\text{К})$. Определить:

- конечную температуру конденсата;
- среднюю разность температур для прямотока и противотока;
- необходимую площадь поверхности теплопередачи.

Решение

Решение этой задачи основано на:

1. умении пользоваться справочным материалом;
2. умении составлять тепловой баланс;
3. знании основного уравнения теплопередачи;
4. умении рассчитывать среднюю движущую силу процесса передачи теплоты для прямотока и противотока.

Прежде всего определяем, какой конкретно процесс передачи теплоты происходит в данном случае. Согласно условию, горячий поток (конденсат водяного пара или попросту вода) охлаждается, а холодный поток (этиловый спирт) нагревается. По принятой на лекции классификации к этому процессу применимо **первое уравнение** теплового баланса. А средняя разность температур для прямотока и противотока будет иметь различные значения.

1. По таблице свойств водяного пара находим температуру конденсации водяного пара при абсолютном давлении 3 ат и, следовательно, температуру образовавшегося конденсата (горячей воды): $t_{1н} = 133^\circ\text{C}$.

2. температура кипения этилового спирта при атмосферном давлении согласно справочнику равна $t_{2к} = 78^\circ\text{C}$.

3. По справочнику найдём удельную теплоёмкость этанола при его примерной средней температуре 60°C :

$$c_2 = 2967 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

4. Составляем тепловой баланс и определяем тепловую нагрузку на аппарат Q (без учёта потерь теплоты в окружающую среду)

$$Q = G_1 c_1 (t_{1н} - t_{1к}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2н}) =$$

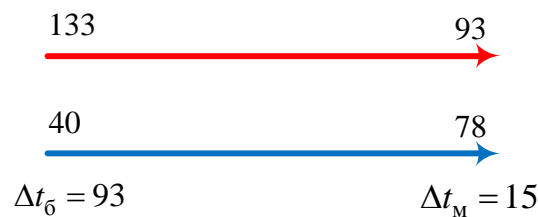
$$= \frac{30 \cdot 1000}{3600} \cdot 2967 \cdot (78 - 40) = 939550 \text{ Вт.}$$

5. Вычислим из предыдущего уравнения конечную температуру конденсата (воды) на выходе из аппарата

$$t_{1к} = t_{1н} - \frac{Q}{G_1 c_1} = 133 - \frac{939550}{\frac{20000}{3600} \cdot 4270} = 93^\circ \text{C.}$$

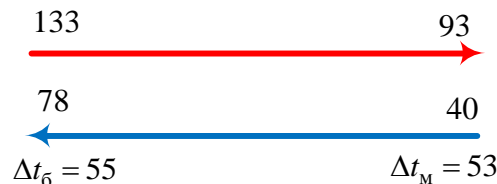
где $c_1 = 4270 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ - удельная теплоёмкость воды при 130°C (справочник).

6. Вычисляем среднюю разность температур для прямотока



$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{б} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{б}}{\Delta t_{м}}} = \frac{93 - 15}{\ln \frac{93}{15}} = 43^\circ \text{C} = 43 \text{ К.}$$

7. Вычислим среднюю разность температур для противотока



$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{б} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{б}}{\Delta t_{м}}} = \frac{55 - 53}{\ln \frac{55}{53}} = 54^\circ \text{C} = 54 \text{ К.}$$

8. Требуемая площадь поверхности теплопередачи при организации противотока

$$F_{тр} = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{939550}{350 \cdot 54} = 49,7 \text{ м}^2$$

Ответ:

- конечная температура парового конденсата на выходе из аппарата 93°C ;
- средняя разность температур для прямотока 43°C , для противотока 54°C ;
- требуемая площадь поверхности теплопередачи $49,7 \text{ м}^2$.

Задача 3

Требуется испарять этиловый спирт в количестве 15 т/час. Этанол в кипятильник подаётся при температуре кипения при атмосферном давлении. В качестве

теплоносителя используется водяной пар с абсолютным давлением 4 ат. Коэффициент теплопередачи равен $750 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$. Определить:

- расход водяного пара в кг/с;
- среднюю разность температур для прямотока и противотока;
- требуемую площадь поверхности теплопередачи.

Решение

Решение этой задачи основано на:

1. умении пользоваться справочным материалом;
2. умении составлять тепловой баланс;
3. знании основного уравнения теплопередачи;
4. умении рассчитывать среднюю движущую силу процесса передачи теплоты.

Сначала выясняем, какой поток получает теплоту, а какой её отдаёт. По условию задачи требуется испарять, т.е. переводить в пар этиловый спирт. Этот процесс требует подвода теплоты. Следовательно, этанол – это холодный поток, а водяной пар – горячий. Причём оба процесса протекают при постоянной температуре – изотермические. Согласно принятой в лекционном курсе классификации этот процесс описывается четвёртым уравнением теплового баланса.

1. По справочнику находим температуру конденсации насыщенного водяного пара давлением 4 ат (абс):

$$t_{1н} = t_{1к} = 143^{\circ} \text{C}.$$

2. По справочнику находим температуру кипения этилового спирта при атмосферном давлении

$$t_{2н} = t_{2к} = 78^{\circ} \text{C}.$$

3. Теплота испарения этанола при температуре $\sim 80^{\circ} \text{C}$ равна

$$r_2 = 851 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

4. Тепловая нагрузка на аппарат без учёта потерь теплоты в окружающую среду

$$Q = G_2 r_2 = \frac{15 \cdot 1000}{3600} \cdot 851 = 3546 \frac{\text{кДж}}{\text{с}} = 3546 \text{ кВт}.$$

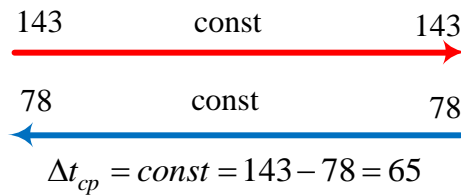
5. Согласно справочнику, удельная теплота конденсации водного пара давлением 4 ат (абс)

$$r_1 = 2141 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

6. Расход водяного пара без учёта потерь теплоты в окружающую среду

$$G_1 = \frac{Q}{r_1} = \frac{3546}{2141} = 1,7 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

7. Средняя разность температур в рассматриваемом случае не зависит от способа организации теплообмена и равна



$$\Delta t_{cp} = 143 - 78 = 65^{\circ}C = 65 \text{ K}.$$

8. Требуемая площадь поверхности теплопередачи (не забываем тепловую нагрузку перевести из кВт в Вт!)

$$F_{\text{тр}} = \frac{Q}{K\Delta t_{cp}} = \frac{3546 \cdot 1000}{750 \cdot 65} = 72,7 \text{ м}^2$$

Ответ:

- расход водяного пара без учёта потерь теплоты **1,7 кг/с;**
- средняя разность температур не зависит от способа организации теплообмена и равна **65°C = 65 К;**
- требуемая площадь поверхности теплопередачи **72,7 м².**

Задача 4

Требуется при атмосферном давлении конденсировать 30 т/час бензола. В качестве хладагента используется обратная вода, которая нагревается от 20°C до 45°C. Коэффициент теплопередачи равен 700 Вт/(м²×К). Определить:

- расход охлаждающей воды в м³/час;
- среднюю разность температур для прямотока и противотока;
- требуемую площадь поверхности теплопередачи.

Решение

Решение этой задачи основано на:

1. умении пользоваться справочным материалом;
2. умении составлять тепловой баланс;
3. знании основного уравнения теплопередачи;
4. умении рассчитывать среднюю движущую силу процесса передачи теплоты.

Сначала выясним, какой поток отдаёт теплоту, т.е. является горячим, а какой теплоту получает и, следовательно, является холодным. При конденсации, т.е. переходе вещества из состояния пара в жидкую фазу происходит выделение теплоты. Следовательно, бензол – это горячий поток. А вода – холодный. Далее, для рассматриваемого случая применимо второе уравнение теплового баланса (по классификации, изложенной в лекции). Кроме того, так как один процесс – конденсация бензола – является изотермическим, то противоток и прямоток дадут одинаковые значения средней разности температур.

1. Согласно справочнику температура конденсации (кипения) бензола при атмосферном давлении

$$t_{1н} = t_{1к} = 80^{\circ}C.$$

2. При этой температуре теплота конденсации составляет (справочник)

$$r_1 = 395 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

3. Тепловая нагрузка на аппарат согласно второму уравнению теплового баланса составляет

$$Q = G_1 r_1 = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2н}) = \frac{30 \cdot 1000}{3600} \cdot 395 = 3292 \text{ кВт}.$$

4. Удельная теплоёмкость воды при её средней температуре примерно $30^{\circ}C$ равна

$$c_2 = 4,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

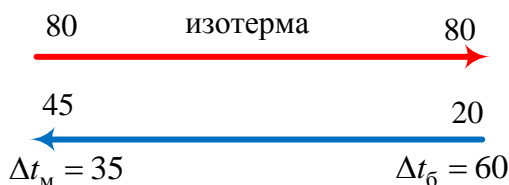
5. Массовый расход охлаждающей воды (тут можно оставить кВт и кДж, но помним об этом!)

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 (t_{2к} - t_{2н})} = \frac{3292}{4,18 \cdot (45 - 20)} = 31,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

6. Объёмный расход охлаждающей воды

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{31,5}{996} = 0,032 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 114 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}.$$

7. Средняя разность температур



$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}} = \frac{60 - 35}{\ln \frac{60}{35}} = 46^{\circ}C = 46 \text{ К}.$$

8. Требуемая площадь поверхности теплопередачи (не забываем тепловую нагрузку перевести из кВт в Вт!)

$$F_{тр} = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{3292 \cdot 1000}{700 \cdot 46} = 102,2 \text{ м}^2$$

Ответ:

- расход охлаждающей воды $114 \text{ м}^3/\text{час}$;
- средняя разность температур не зависит от способа организации теплообмена и равна $46^{\circ}C$;
- требуемая площадь поверхности теплопередачи $102,2 \text{ м}^2$.

Задача 5

4. Тепловая нагрузка на аппарат

$$Q = G_1 r_1 = \frac{500}{3600} \cdot 851 = 118,2 \text{ кВт.}$$

5. Требуемая площадь поверхности теплопередачи без учёта потерь теплоты в окружающую среду

$$F_{\text{тр}} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{118,2 \cdot 1000}{600 \cdot 47} = 4,19 \text{ м}^2.$$

Вывод: имеющийся теплообменный аппарат может быть использован для проведения процесса конденсации этилового спирта с расходом 500 кг/час.