Дано:



Материальный баланс колонны:



кг/с



Пересчет массовых % в мольные доли:



Тепловой баланс теплообменника:



По табл. XLVII (П.Р., 543)



По рис. XI (П.Р., 562)

кал/кг⋅с Дж/кг⋅К



Расход воды:

кг/с (Д., 32)



Ф/х свойства воды при т-ре 30С

кг/м3



Вт/(м⋅К)



Па⋅с



Среднелогарифмическая разность температур:



С



Ф/х cвойства cмеси метилового спирта и воды с массовой долей метилового спирта 7% при температуре 30 С

кг/м3 (т. 1-101, Перри, 51)



Коэффициент динамической вязкости смеси рассчитывается по уравнению Томаса (ф. 1-91, Перри, 26):

, где



,



температура смеси;



постоянная вязкости, определяемая путем суммирования атомных и структурных составляющих смеси.



Для смеси метиловый спирт-вода,

(т. 1-14, Перри, 26)



Таким образом,

Па⋅с



Коэффициент теплопроводности смеси органических жидкостей и воды с достаточной степенью точности можно посчитать по уравнению Краго (1-70, Перри, 22):

,



где относительная плотность смеси жидкостей по воде, равная в данном случае 0.99



Таким образом



Удельную теплоемкость растворов органических жидкостей можно посчитать по методу Джонсона и Хуанга с помощью аддитивных составляющих (т. 1-7, Перри, 15). Для смеси вода-метиловый спирт при содержании спирта 7% по массе, теплоемкость практически равна теплоемкости воды при т-ре 30 градусов, или равна

Дж/(кг⋅К) (р. XI, П.Р., 562)



Пустим спирт по трубам, а воду – в межтрубном пространстве.

Объемный расход спирта и воды:

м3/с (П.Р, 216)



м3/с (П.Р, 216)



Согласно т.4.8 (П.Р., 172) минимальное значение Kop для турбулентного режима составляет 250 Вт/(м⋅К)

Ориентировочная поверхность составляет:

м2 м2



В теплообменных трубах 25х2 мм по ГОСТ 15120-79 скорость течения спирта при Re1>10000 должна быть не менее:

м/c (П.Р, 216)



Проходное сечение трубного пространства должно быть не менее:

м2



Кожухотрубчатый холодильник наименьшего диаметра 159 мм с числом труб 13 имеет площадь 0.5⋅10-2 м2 (табл. 4.12, П.Р,215). Следовательно турбулентное течение спирта можно обеспечить только в аппарате с меньшим диаметром трубного пространства, т.е. в теплообменнике "труба в трубе".

*Вариант 1.* Теплообменник "труба в трубе" (ГОСТ 9930-78).

* 1. Рассмотрим аппарат, изготовленный из труб 89х4 мм (наружная) и 57х3.5 (внутренняя). Скорость спирта в трубах для обеспечения турбулентного движения должна быть не менее:

м/c (П.Р.,216)



Число параллельно работающих труб 57х3.5 мм, при этом

(П.Р.,217)



Примем n=2. Определим критерий Рейнольдса и скорость для спирта:

м/с (П.Р.,217)



(П.Р., 217)



Критерий Рейнольдса соответствует турбулентному движению.

Для воды:



(П.Р.,217)



где 0.024 – эквивалентный диаметр, равный 0.081-0.057

1.2. Составим схему процесса теплопередачи. По табл. 4.1 (П.Р., 151) находим, что теплоотдача для спирта и воды (турбулентный режим у обеих жидкостей) описывается ур. 4.17. (П.Р., 154)



Коэффициент примем равным 1.



Ввиду того, что температуры стенок со стороны спирта и воды пока неизвестны, примем сомножитель равным единице для обоих потоков.



а) Коэффициент теплоотдачи для спирта:

# Критерий Прандтля для спирта при 25.9 градусах

(П.Р., 217)



Критерий Нуссельта для спирта:



Коэффициент теплоотдачи от спирта к стенке:

Вт/(м2⋅К)



(П.Р., 217)

б) Коэффициент теплоотдачи для воды.

Критерий Прандтля для воды при 30 градусах.



Критерий Нуссельта для воды:



Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде:

Вт/(м2⋅К)



Термическое сопротивление стенки и загрязнений (табл. XXXI, П.Р.,531)

Примем коэффициент теплопроводности материала стенки, равным коэффициенту теплопроводности стали, то есть равным 46.5

м2⋅К/Вт



Величина тепловой проводимости 1860 выбрана из расчета загрязненной воды, так как смесь в трубе представляет собой воду с примесью органической жидкости.

Коэффициент теплопередачи:



Вт/(м2⋅К)



Поверхностная плотность теплового потока:

Вт/м2



1.3. Определим ориентировочно значения и , исходя из того, что



,



где сумма



Найдем:



(П.Р., 218)



Следовательно:



Введем поправку в коэффициенты теплоотдачи:

Критерий Прандтля для спирта при



Критерий Прандтля для воды при



Уточненный коэффициент теплоотдачи для спирта:



Уточненный коэффициент теплоотдачи для воды:



Исправленные значения :



Вт/(м2⋅К)



Вт/м2



Расчетная площадь поверхности теплопередачи:

м2



С запасом 10%: м2



Поверхность теплообмена одного элемента длиной 6 м.:

м2



Число элементов в каждой из двух секций (ветвей):

шт.



Общее число элементов:

шт.



*Вариант 2.* Кожухотрубчатый холодильник диаметром 159 мм с трубами 25х2 мм (ГОСТ 15120-79)

Скорость и критерий Рейнольдса для спирта:

м/с



Скорость и критерий Рейнольдса для воды:

м/с



где 0.9⋅10-2 - проходное сечение межтрубного пространства между перегородками по ГОСТ 15120-79.



где 0.025 – наружный диаметр труб, определяющий линейный размер при поперечном обтекании.

*Вариант 2* Кожухотрубчатый холодильник диаметром 159 мм с трубками 25х2 мм (ГОСТ 15120-79)

Скорость и критерий Рейнольдса для спирта:

м/с



Скорость и критерий Рейнольдса для воды:

м/с



где - проходное сечение межтрубного пространства между перегородками по ГОСТ 15120-79.



Для потока в трубах при Re1 < 10000 значение tcт.1. влияет на выбор расчетной формулы через произведение GrPr. Зададимся значениями температур стенки, исходя из того, что



Примем исходя из предыдущего расчета (теплообменник "труба в трубе")



а) коэффициент теплоотдачи для воды (Re2 = 8671.6)

При поперечном омывании потоком трубного пучка при Re > 1000 рекомендуется соотношение



Примем = 0.6 (157, П.Р.). Критерий Прандтля для спирта:



Тогда



Вт/(м2⋅К)



б) Коэффициент теплоотдачи для спирта (Re1 = 6873)

Для выбора расчетной формулы определим произведение (PrGr) при определяющей температуре – средней температуре пограничного слоя. (П.Р., 154)

С



Физические свойства спирта при температуре 27.5С:

кг/м3 (т. 1-101, Перри, 51)



Па⋅с



Дж/(кг⋅К) (р. XI, П.Р., 562)



Для определения Nu2 при данном соотношении и Re > 3500 воспользуемся табл. 4.4 (П.Р.,155)

В данных пределах критерий Нуссельта по формуле 4.28 (П.Р., 155)

,



где n = 0.11 при нагревании, n=0.25 при охлаждении. В нашем случае n=0.25.

динамический коэффицент вязкости смеси при температуре стенки.



В нашем случае можно принять равным динамическому коэффициенту вязкости при температуре смеси.



Вт/(м2⋅К)



Коэффициент теплопередачи:

Вт/(м2⋅К)



Поверхностная плотность теплового потока:

Вт/м2



Уточним значения



Окончательно и



Расчетная площадь поверхности теплопередачи:

м2.



С запасом 10% м2



Принимаем к установке аппараты длиной 3 м (ГОСТ 15120-79 (П.Р.,215).

Площадь поверхности теплообмена одного аппарата по среднему диаметру труб:

м2



Необходимое число аппаратов:



Примем N = 9. Запас поверхности при этом составляет:

%



Таким образом видно, что первый вариант теплообменника ("труба в трубе") имеет меньшую металлоемкость и большее число Рейнольдса по сравнению с кожухотрубчатым теплообменником.

Проведем расчет экономических параметров теплообменника "труба в трубе".

### Табл. 1. "Технические характеристики теплообменника"

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | | Трубное пространство | | Межтрубное пространство |
| Среда | Наименование | Метанол | | Вода |
| Токсичность | Токсична | | Нетоксична |
| Взрывоопасность | Невзрывоопасна | | Невзрывоопасна |
| Агрессивность | Агрессивна | | Неагрессивна |
| Температура | 93.5 (на входе) | | 40 (на выходе) |
| Рабочее давление, МПа | | |  |  |
| Емкость аппарата, м3 | | |  |  |
| Поверхность теплообмена, м2 | | | 2.81 | |

Материал деталей аппарата, соприкасающихся с метанолом – сталь Х18Н9Т ГОСТ 5632-72, остальных ст. 3 ГОСТ 380-71.

Материал герметизирующих прокладок – картон асбестовый ГОСТ 2850-58.

Материал прокладок в резьбовых соединениях – алюминий марок А95, А85, А8, А7, А6, А5, А0, А (ГОСТ 11069-64).

Число элементов в каждой из двух секций (ветвей):

шт.



Общее число элементов:

шт.



Таким образом, затраты на элементы теплообменника из расчета 100 руб. за элемент составят 1100 рублей. Масса аппарата "труба в трубе" – 2200 кг.