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.