**3.1 Материальный баланс установки и рабочее флегмовое число**

Производительность колонны по дистилляту D и кубовому остатку W определим из уравне­ний материального баланса колонны:

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

25

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Разраб.

Горелов Д.А.

Провер.

Телеш В.В.

Реценз.

Н. Контр.

Телеш В.В.

Утверд.

Телеш В.В.

3 Расчет ректификационной колонны

Лит.

Листов

*19*

Кафедра ТПНП

где ,, – массовые доли для исходной смеси, дистиллата и кубовой жидкости соответственно, кг/кг смеси.

Отсюда находим:

Нагрузки ректификационной колонны по пару и жидкости определяются рабочим флегмовым числом R; его оптимальное значение Rопт можно найти путем технико-экономического расчета. Ввиду отсутствия надежной методики оценки Rопт используют оптимальные вычисления, основанные на определении коэффициента избытка флегмы (орошения).

где – минимальное флегмовое число.

где , – мольная доля легколетучего компонента в дистилляте и исходной смеси соответственно, кмоль/кмоль смеси;

– концентрация легколетучего компонента в паре, находящемся в равновесии с исходной смесью, кмоль/кмоль смеси.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

26

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Концентрацию легколетучего компонента в паре находят с использованием равновесной линии (рисунок 3.1).

Рисунок 3.1 – Диаграмма равновесия между жидкостью и паром

Пересчитываем составы фаз из массовых долей в мольные.

где , – молекулярные массы соответственно этанола и воды.

Аналогично найдем ; . С использование равновесной линии найдем при . Тогда минимальное флегмовое число равно:

Задавшись различными значениями коэффициентов избытка флегмы , определим соответствующие флегмовые числа. Графическим построением ступеней изменения концентраций между равновесной и рабочими линиями на диаграмме состав пара Y – состав жидкости X, находим число ступеней N (см. рисунки 3.2 – 3.7). По графику (рисунок 3.8) находим действительное флегмовое число.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

27

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Таблица 3.1 – Результаты расчёта рабочего флегмового числа

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| β | 1,05 | 1,40 | 1,50 | 1,85 | 2,55 | 3,30 |
| R | 1,26 | 1,68 | 1,8 | 2,22 | 3,06 | 3,96 |
| N | 13,00 | 8,00 | 8,00 | 7,00 | 6,00 | 6,00 |
| N(R+1) | 29,37 | 21,43 | 22,39 | 22,53 | 24,35 | 29,75 |



Рисунок 3.2 – График определения числа теоретических тарелок при флегмовом числе R1



Рисунок 3.3 – График определения числа теоретических тарелок при флегмовом числе R2

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

28

2ХТб1.2.07.030000ПЗ



Рисунок 3.4 – График определения числа теоретических тарелок при флегмовом числе R3



Рисунок 3.5 – График определения числа теоретических тарелок при флегмовом числе R4



Рисунок 3.6 – График определения числа теоретических тарелок при флегмовом числе R5

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

29

2ХТб1.2.07.030000ПЗ



Рисунок 3.7 – График определения числа теоретических тарелок при флегмовом числе R6

Рисунок 3.8 – График для определения действительного флегмового числа

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

30

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Принимаем R= 1,7, тогда .



Рисунок 3.9 – Рабочая линия при действительном флегмовом числе

Средние массовые расходы по жидкостям для верхней (Lв) и нижней (Lн) частей колонны определяют из следующих отношений:

где , – мольные массы дистиллята и исходной смеси; , – средние мольные массы жидкости в верхней и нижней частях колонны.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

31

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Мольную массу дистиллята можно принять равной мольной массе легколетучего компонента – этанола:

Средние мольные массы в верхней и нижней частях колонны соответственно равны:

где , – средний мольный состав жидкости соответственно в верхней и нижней частях.

Средние массовые потоки пара в верхней Gв и нижней Gн частях колонны

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

32

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Здесь и - средние мольные массы паров в верхней и нижней частях колонны:

где – мольная доля паров исходной смеси (см. рисунок 3,9).

По рисунку 3.1 определяем, что , , .

Тогда

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

33

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

**3.2 Определение скорости пара и диаметра колонны**

В качестве насадки выбираем керамические кольца Рашига 50х50х5 мм. Удельная поверхность насадки a = 87,5 м2/м3, свободный объем ε = 0,785 м3/м3, насыпная плотность ρнас = 530 кг/м3. Рабочую скорость можно принять на 20-30 % ниже скорости, при которой происходит захлебывание насадочных колонн.

Предельную фиктивную скорость пара, при которой происходит захлебывание насадочных колонн, определяют по уравнению:

где , – средние плотности жидкости и пара, кг/м3;

– динамическая вязкость жидкой фазы, мПас.

Определение плотности пара и жидкости в верхней и нижней частях при средних температурах и .

Средние температуры верхней и нижней части, а также питания определяются по рисунку 3.10.

Рисунок 3.10 *–* Определение средних температур по *t – x,y* диаграмме

Из рисунка 3.10 по средним составам фаз находим, что tв = 83 ºС (при уср. в), tн = 96,66 ≈ 97 ºС (при xср. н), tпит = 94 ºС (при xпит = xf = 0.0599).

Плотность паровой смеси верха колонны составит:

А плотность паровой смеси низа колонны:

где , – плотность соответственно этанола и воды. По справочным данным было найдено, что плотность этанола равна 731,9 при 83 ºС и 718,5 при 97 ºС, а плотность воды 969,9 при 83 ºС и 960,5 при 97 ºС. Тогда можно найти, что плотность жидкостной смеси верха колонны составит:

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

34

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

А плотность жидкостной смеси низа колонны составит:

Определение вязкости жидкости в верхней и нижней частях

где , – динамическая вязкость соответственно этанола и воды при соответственной температуре, мПас.

Откуда , .

Определение предельной скорости паров в верхней и нижней части колонны

Откуда

Примем рабочую скорость на 30 % ниже предельной. Тогда

*Определение диаметра ректификационной колонны*

Принимаем стандартный диаметр обечайки для всей колонны При этом действительные рабочие скорости будут равны:

Что составляет соответственно 53 и 67 % от предельных скоростей.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

35

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

**3.3 Определение высоты насадки**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

36

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Определение высоты насадки

где – общее число единиц переноса (ЧЕП) по паровой фазе; – общая высота единицы переноса, м.

Обычно этот интеграл определяют численными методами. Решим его методом графического интегрирования.

где – площадь, ограниченная кривой, ординатами и и осью абсцисс (см. рисунок 3.11); – масштабы осей координат.

Таблица 3.2 – Данные для графического определения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| x | y | y\* | 1/(y\*-y) | x | y | y\* | 1/(y\*-y) |
| xw | 0.0049 | 0.049 | 22.676 | 0.16 | 0.396 | 0.594 | 5.051 |
| 0.005 | 0.0055 | 0.05 | 22.47 | 0.18 | 0.409 | 0.616 | 4.831 |
| 0.01 | 0.035 | 0.1 | 15.385 | 0.2 | 0.422 | 0.637 | 4.651 |
| 0.02 | 0.095 | 0.18 | 11.765 | 0.25 | 0.453 | 0.68 | 4.405 |
| 0.03 | 0.155 | 0.245 | 11.111 | 0.3 | 0.485 | 0.707 | 4.505 |
| 0.04 | 0.215 | 0.307 | 10.87 | 0.35 | 0.516 | 0.726 | 4.762 |
| 0.05 | 0.274 | 0.357 | 12.048 | 0.4 | 0.547 | 0.74 | 5.181 |
| xf | 0.333 | 0.396 | 15.873 | 0.45 | 0.579 | 0.754 | 5.714 |
| 0.06 | 0.333 | 0.396 | 15.873 | 0.5 | 0.61 | 0.768 | 6.329 |
| 0.07 | 0.34 | 0.431 | 10.989 | 0.55 | 0.642 | 0.782 | 7.143 |
| 0.08 | 0.346 | 0.457 | 9.009 | 0.6 | 0.673 | 0.795 | 8.197 |
| 0.09 | 0.352 | 0.484 | 7.576 | 0.65 | 0.705 | 0.807 | 9.804 |
| 0.1 | 0.359 | 0.504 | 6.897 | 0.7 | 0.736 | 0.823 | 11.494 |
| 0.12 | 0.371 | 0.54 | 5.917 | 0.75 | 0.768 | 0.84 | 13.889 |
| 0.14 | 0.384 | 0.57 | 5.376 | xd | 0.798 | 0.859 | 16.393 |



Рисунок 3.11 – Графическое определение ЧЕП в паровой фазе

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

37

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Площадь под кривой найдем при помощи интегрирования сплайн-интерполяции в среде MathCAD.

Определение общей высоты переноса

где , – частные высоты единиц переноса соответственно в жидкой и паровой фазах; – средний коэффициент распределения в условиях равновесия для соответствующей части колонны.

Отношение нагрузок по пару и жидкости:

для верхней части колонны

для нижней части колонны

Где .

Определение высоты единиц переноса в жидкой фазе

где – коэффициенты [3, с. 233]; Z – высота слоя насадки одной секции, Z = 3 м.

Определение высоты единиц переноса в паровой фазе

где – коэффициент [3, с. 233, рис. 6.6, а].

где – коэффициент диффузии для жидкой и паровой фазы.

где – коэффициент поверхностного натяжения для верха и низа соответственно при температуре верха и низа колонны, [2, с. 16]. Для расчета и необходимо определить вязкость паров и коэффициенты диффузии в жидкой и паровой фазах. Вязкость паров для верхней части колонны (tв = 83 ºС):

Аналогично для нижней части колонны найдем (tн = 97 ºС):

Определение коэффициента диффузии

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

38

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

где – коэффициент, зависящие от свойств растворенного вещества и растворителя, ; – мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения [4, с. 288]; – вязкость жидкости при 20 [2, с. 15].

Откуда мПас.

Рассчитаем мольные объемы компонентов в жидком состоянии при температуре кипения.

Для этанола C2H6O:

Для воды H2O:

Определение температурного коэффициента

где – вязкость и плотность при 20 [2, с. 14-15].

Аналогично рассчитываем для нижней части колонны

Определение коэффициента диффузии в паровой фазе

где – средняя температура в соответствующей части колонны, К; – абсолютное давление в колонне, Па.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

39

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Аналогично рассчитываем для нижней части колонны

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

40

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Находим неизвестные коэффициенты [3, с. 233]: ; .

m - средний коэффициент распределения в условиях равновесия для соответствующей части колонны.

Таблица 3.3 – Определение коэффициента распределения mн

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| x | y\* | m |
| xw | 0.049 | 8,542 |
| 0.005 | 0.05 |
| 0.01 | 0.1 | 10,000 |
| 0.02 | 0.18 | 8,000 |
| 0.03 | 0.245 | 6,500 |
| 0.04 | 0.307 | 6,200 |
| 0.05 | 0.357 | 5,000 |
| xf | 0.396 | 3,945 |

Таблица 3.4 – Определение коэффициента распределения mв

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| x | y\* | m | x | y\* | m |
| xf | 0.396 | 3,500 | 0.3 | 0.707 | 0,860 |
| 0.07 | 0.431 | 0.35 | 0.726 | 0,540 |
| 0.08 | 0.457 | 2,600 | 0.4 | 0.74 | 0,380 |
| 0.09 | 0.484 | 2,700 | 0.45 | 0.754 | 0,280 |
| 0.1 | 0.504 | 2,000 | 0.5 | 0.768 | 0,280 |
| 0.12 | 0.54 | 1,800 | 0.55 | 0.782 | 0,280 |
| 0.14 | 0.57 | 1,500 | 0.6 | 0.795 | 0,260 |
| 0.16 | 0.594 | 1,200 | 0.65 | 0.807 | 0,240 |
| 0.18 | 0.616 | 1,100 | 0.7 | 0.823 | 0,320 |
| 0.2 | 0.637 | 1,050 | 0.75 | 0.84 | 0,340 |
| 0.25 | 0.68 | 0,860 | xd | 0.859 | 0,394 |

Где – угол наклона равновесной линии. Однако, как и m практически не являются постоянными величинами и изменяются с изменением концентрации растворенного вещества и температуры [5, с. 591].

Значения для нижней части колонны и - для верхней части определены арифметическим усреднением локальных значений m в интервалах изменения составов жидкости соответственно от до и от до .

Определение общей высоты насадки в колонне

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

41

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

С учётом того, что высота слоя насадки одной секции 3 м, общее число секций в колонне составляет 4 (2 секции в верхней части и 2 – в нижней).

Определение общей высоты колонны

где – общее число секций;

– высота промежутков между секциями насадки, в которых устанавливают распределители жидкости,

– соответственно высота сепарационного пространства над насадкой и расстояние между днищем колонны и насадкой [3, с. 235].

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

42

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

**3.4 Определение гидравлического сопротивления насадки**

Определение гидравлического сопротивления сухой насадки

где – коэффициент сопротивления сухой насадки;

– эквивалентный диаметр насадки [3, с. 196].

Определение критерия Рейнольдса для газа

Коэффициент сопротивления беспорядочно насыпанных кольцевых насадок рассчитаем по формуле для турбулентного режима (.

Гидравлическое сопротивление сухой насадки в верхней и нижней частях колонны равно:

Определение плотности орошения

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

43

2ХТб1.2.07.030000ПЗ

Гидравлическое сопротивление орошаемой насадки в верхней и нижней частях колонны

Определение общего гидравлического сопротивления орошаемой насадки