

Материальный и тепловой балансы бинарной ректификации.

Расчет числа теоретических ступеней.

Программа предназначена для определения расходов дистиллята и кубового остатка, тепловых нагрузок дефлегматора и кипятильника, а также требуемого числа теоретических ступеней для непрерывного процесса ректификации бинарных смесей. Число теоретических ступеней рассчитывается двумя способами: во-первых, приближенно, на основе допущения о постоянстве мольных расходов, и точно – с учетом изменений расходов фаз по ступеням и определением этих расходов с помощью материального и теплового балансов для каждой ступени.

Исходная смесь может подаваться на ректификацию в любом виде: в виде жидкости, нагретой до температуры кипения или при другой температуре, в виде пара или в виде паро-жидкостной смеси. При этом питание, подаваемое в виде пара, может отличаться по составу от питания, подаваемого в жидком виде.

Состав фаз в данной программе характеризуется концентрацией более летучего из компонентов (в масс. или мольн. д.). При этом под более летучим компонентом подразумевается компонент, концентрация которого в равновесном паре превышает его концентрацию в жидкости в диапазоне составов, встречающихся в данной ректификационной колонне.

Ввод исходных данных

В качестве исходных данных вводятся:

- 1) названия и молекулярные массы компонентов разделяемой смеси;
- 2) равновесные данные; данные по изобарному (при том давлении, при котором рассчитывается ректификация) паро-жидкостному равновесию вводятся в виде таблицы значений $x - y - t$ (концентрации в паре и жидкости – в мольных долях, температура в °С). Число вводимых равновесных точек не менее 8 и не более 20. Вводимые данные по равновесию должны более-менее равномерно характеризовать диапазон концентраций от состава кубового остатка до состава дистиллята; для азеотропных систем желательно ввести азеотропный состав (если он известен) или близкий к нему.
- 3) Термодинамическое состояние исходной смеси (агрегатное состояние и температура), ее массовый расход и состав в массовых долях.
- 4) Составы дистиллята и кубового остатка в массовых долях;
- 5) Флегмовое число;
- 6) Данные по теплотам смешения; вводятся при одной определенной температуре (в °С) в виде таблицы значений $x - \Delta H_{см}$ (концентрация – в мольных долях, теплоты смешения – в кДж/моль). Число вводимых точек не менее 5 и не более 20. Источником данных по теплотам смешения может служить справочник: В.П. Белоусов, А.Г. Морачевский, М.Ю. Панов, “Тепловые свойства растворов неэлектролитов”, Химия, 1981 г.

При отсутствии данных по теплотам смешения, а также для систем близких к идеальным (например, состоящих из гомологов), для которых величины теплот смешения малы, данные по теплотам смешения не вводятся. Их величины принимаются равными нулю.

- 7) данные по теплоемкостям обоих компонентов бинарной смеси в газообразном состоянии; значения

теплоемкостей вводятся при нескольких температурах в виде таблицы значений $t - c$

(температура в

°С, теплоемкость -- в кДж/(кг К)).

Диапазон температур должен соответствовать диапазону температур в проектируемой ректификационной колонне. Температуры, при которых вводятся значения теплоемкостей для каждого компонента, могут быть разными. Если данные по теплоемкостям имеются только при одной температуре – вводится теплоемкость только при этой температуре (одна точка).

- 8) данные по теплотам испарения компонентов бинарной смеси; вводятся при нескольких температурах в виде таблицы значений $t - r$ (температура в °С, теплоты испарения -- в кДж/кг).
- 9) данные по теплоемкости растворов в жидком виде при различной концентрации и нескольких температурах; при вводе этих данных сначала вводятся значения температур, при которых будут вводиться теплоемкости растворов (не более 5 температур). Если имеются данные по одной только температуре – вводятся данные при этой температуре. Затем последовательно для каждой температуры вводятся теплоемкости растворов в виде таблицы значений $X - C$ (концентрация – в мольных долях, теплоемкость - в кДж/(кг К)). Число вводимых точек не менее 2 и не более 20. В число вводимых данных могут входить значения теплоемкостей чистых компонентов (соответствующих $x = 0$ и $x = 1$). Одним из источников данных по теплоемкостям растворов может служить упомянутый выше справочник Белоусова и др.

При вводе всех данных предусмотрена перед началом расчета возможность их проверки и исправления неправильно введенных цифр.

Все данные вводимые в виде таблиц, т.е. в виде функциональной зависимости, могут вводиться в произвольном порядке. При выполнении программы они сортируются в порядке возрастания аргумента функции.

Результаты расчетов

Кроме расходов дистиллята и кубового остатка, тепловых нагрузок дефлегматора и кипятильника (определяемых без учета потерь), требуемого числа теоретических ступеней и номера теоретической ступени на которую следует подавать питание, после выполнения программы на печать выводится:

- 1) суммарный расход питания (если оно вводится и в виде пара и в виде жидкости);
- 2) средний состав питания в массовых долях (если оно вводится и в виде пара и в виде жидкости);
- 3) состав питания, дистиллята и кубового остатка в мольных долях;
- 4) температура дистиллята, кубового остатка и исходной смеси (если она вводится в виде жидкости нагретой до температуры кипения);
- 5) энтальпия питания, дистиллята и кубового остатка; за начало отсчета при определении энтальпий принята температура, при которой вводятся данные по теплотам смешения – эта температура вводится (в °С) при вводе теплот смешения. Если теплоты смешения не используются при выполнении данной программы -- за начало отсчета энтальпий принимается 0 °С.
- 6) коэффициент φ , характеризующий термодинамическое состояние питания ректификационной колонны.

Он равен
$$\varphi = \frac{i_F - i_{F,кип}}{I_F - i_{F,кип}}$$

где i_F -- энтальпия питания; $i_{F,кип}$ -- энтальпия питания того же состава, подаваемого в виде нагретой до температуры кипения жидкости (при том давлении, при котором рассчитывается ректификация); I_F - энтальпия питания того же состава, подаваемого в виде насыщенного пара.

Значения коэффициента φ требуются, в частности, для определения минимального флегмового числа в том случае, когда питание подается не в виде нагретой до температуры кипения жидкости. (Если исходная смесь подается при температуре кипения $\varphi=0$).

Все выводимые на печать результаты требуются для последующих расчетов проектируемой ректификационной колонны. Они могут использоваться в качестве исходных данных для других программ, предназначенных для расчета диаметра, высоты колонны и др.

Расчетные уравнения

- 1) Расходы дистиллята и кубового остатка находились из уравнений:

$$P = F \frac{x_F - x_W}{x_P - x_W} ; \quad W = F - P$$

где P , F и W – расходы, соответственно, дистиллята, питания и кубового остатка;
 x_P , x_F и x_W - концентрация более летучего компонента, соответственно, в дистилляте, питании и кубовом остатке.

Если колонна питается парожидкостной смесью, F – суммарный расход питания, а x_F - средняя концентрация более летучего компонента в питании.

- 2) Температуры дистиллята и кубового остатка принимались равными их температурам кипения. Эти температуры, а также температура кипения исходной смеси находились линейной интерполяцией из равновесных данных.
 3) Тепловые нагрузки дефлегматора и кипятильника определялись из уравнений:

$$Q_D = P (R+1)(I_N - i_p)$$

$$Q_K = Q_D + P i_p + W i_w - F i_F$$

Где Q_D и Q_K – тепловые нагрузки дефлегматора и кипятильника;

R – флегмовое число;

i_p , i_w и i_F - удельные энтальпии, соответственно, дистиллята, кубового остатка и питания.

I_N – энтальпия пара, поступающего в дефлегматор.

- 4) Удельные энтальпии растворов в жидком состоянии находились из соотношения

$$i = [\Delta H_{см} + c(t - t_0)]/M$$

где $\Delta H_{см}$ - теплота смешения для раствора данной концентрации (определялась интерполяцией) при температуре t_0 (принимаемой за начало отсчета энтальпий);

c – определяемая интерполяцией теплоемкость раствора данной концентрации при температуре

$$(t-t_0)/2;$$

t – температура раствора;

M – его средняя молекулярная масса;

- 5) Удельные энтальпии в парообразном состоянии определялись из зависимости

$$I = y [r_1 + c_1 (t_1 - t_0)] + (1 - y)[r_2 + c_2 (t_1 - t_0)]$$

Где y – массовая доля более летучего компонента в паре;

r_1 и r_2 – теплоты испарения, соответственно, более летучего и менее летучего компонентов при температуре t_0 (находились интерполяцией);

c_1 и c_2 – определяемые интерполяцией теплоемкости, соответственно более и менее летучего компонентов при температуре $(t-t_0)/2$;

t_1 – температура пара;

- б) Требуемое число теоретических ступеней и положение ступени питания определялось численным расчетом по алгоритмам, приведенным в пособии по проектированию: “Основные процессы и аппараты химической технологии”, под ред. Ю.И. Дытнерского, гл. III, Химия, 1983г.

За ступень питания принималась теоретическая ступень, с которой выходил пар, концентрация более летучего компонента в котором впервые превышает (отсчет ступеней ведется снизу) следующую величину

$$y_{nep} = \frac{Rx_F + (1 - \varphi)x_p}{R + 1 - \varphi}$$

При постоянных мольных расходах эта концентрация соответствует ординате точки пересечения рабочих линий.