

УДК 66.048.37.001.24

Определение числа действительных тарелок ректификационной колонны при отсутствии перемешивания жидкости

В. Н. ПАВЛЕЧКО

Предложен метод расчета, позволяющий определить действительное число тарелок ректификационной колонны при отсутствии перемешивания без промежуточных вычислений и при любом содержании легколетучего компонента в греющем паре.

При производстве этанола, фурфурола и органических растворителей процессы ректификации требуют значительных энергетических затрат. Поэтому точность расчета ректификационных колонн имеет большое значение.

Обогрев колонны может осуществляться глухим паром в том случае, когда тепло передается разделяемой смеси через фиксированную поверхность, и острым паром, когда греющий пар непосредственно вводится в разделяемую смесь [1, 2]. В первом случае содержание легколетучего компонента в поступающем на нижнюю тарелку паре принимают равным содержанию его в кубовом остатке [1], во втором — нулю [2].

Однако при утилизации тепла кубового остатка с применением струйной, струйно-механической [3] или механической компрессии вместе с парами воды испаряется и легколетучий компонент, который затем возвращается в кубовую часть колонны. При этом содержание легколетучего компонента в парах самоиспарения или в их смеси с греющим паром, как правило, отличается от содержания легколетучего компонента в кубовом остатке и не равно 0. В расчетах ректификационных колонн общепринятыми методами не учитывают изменения содержания легколетучего компонента в греющем паре в широких пределах.

При исследовании процессов массообмена широко применяют ячеечную модель [4], согласно которой тарелка делится по ходу движения жидкости на ряд ячеек. В каждой ячейке осуществляется полное перемешивание жидкости, а между ячейками оно отсутствует. При этом предполагают, что имеют место

- постоянство расхода пара и жидкости для каждой ячейки;
- постоянство состава пара на входе в ячейки одной и той же тарелки;
- линейность равновесной зависимости;
- постоянство локальной эффективности на всей площади тарелки.

Разобьем тарелку ректификационной колонны на m ячеек (рисунок).

Составим уравнения материального баланса для первой (против хода жидкости) ячейки нижней тарелки, работающей в идеальных и реальных условиях (обозначения см. в подписи к рисунку):

$$Lx_{11}^* + \frac{G}{m} y_0 = Lx_0 + \frac{G}{m} y_{11}^* \quad (1)$$

$$Lx_{11} + \frac{G}{m} y_0 = Lx_0 + \frac{G}{m} y_{11} \quad (2)$$

Для работающей в идеальных условиях ячейки

$$y_{11}^* = Kx_0 \quad (3)$$

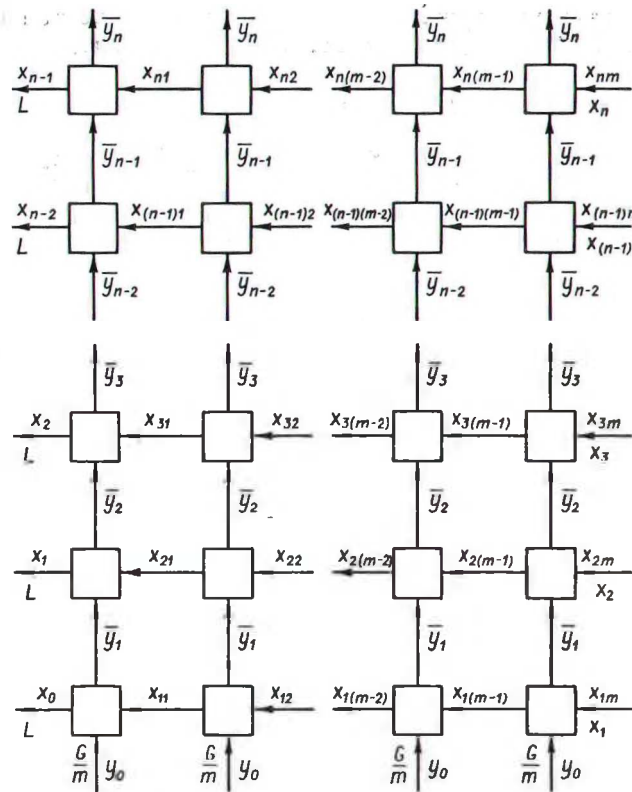
Подставим выражение (3) в уравнение (1)

$$x_{11}^* = \left(\frac{GK}{mL} + 1 \right) x_0 - \frac{G}{mL} y_0 \quad (4)$$

Схема потоков в ректификационной колонне

Обозначения:

- A, A₁ — коэффициенты;
 - G, L — потоки пара и жидкости;
 - K — тангенс угла наклона равновесной линии;
 - m — число ячеек;
 - n — число тарелок;
 - x, y — концентрации компонентов в жидкости и паре;
 - η_к — локальная эффективность, выраженная через содержание легколетучего компонента в жидкости;
- индексы: 12 — первая цифра — номер тарелки, вторая — номер ячейки; 0 — вход пара в колонку и выход жидкости из колонки; \bar{y} — среднее значение



Локальную эффективность выразим через содержание легколетучего компонента в жидкости

$$\eta_k = \frac{x_{11} - x_0}{x_{11}^* - x_0} \tag{5}$$

При совместном решении уравнений (4) и (5) получим

$$x_{11} = x_0 + \frac{GK}{mL} \eta_k \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right). \tag{6}$$

Подставим уравнение (6) в уравнение (2):

$$y_{11} = y_0 + K \eta_k \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right). \tag{7}$$

При решении уравнений материального баланса других ячеек нижней тарелки получим содержание легколетучего компонента в жидкости на выходе из второй, третьей и т. д. ячеек, включая последнюю,

$$x_{12} = \frac{y_0}{K} + \left(\frac{GK}{mL} \eta_k + 1 \right)^2 \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right);$$

$$x_{13} = \frac{y_0}{K} + \left(\frac{GK}{mL} \eta_k + 1 \right)^3 \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right);$$

.....

$$x_{1m} = x_1 = \frac{y_0}{K} + \left(\frac{GK}{mL} \eta_k + 1 \right)^m \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right), \tag{8}$$

а также содержание легколетучего компонента в паре на выходе из второй, третьей и т. д. ячеек, включая последнюю,

$$\begin{aligned} y_{12} &= y_0 + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right) K \eta_x \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right); \\ y_{13} &= y_0 + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right)^2 K \eta_x \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right); \\ &\dots \\ y_{1m} &= y_0 + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right)^{m-1} K \eta_x \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Из последнего уравнения системы (8) найдем

$$x_1 - x_0 = \left[\left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right)^m - 1 \right] \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right) \quad (10)$$

и обозначим

$$A = \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right)^m. \quad (11)$$

Тогда

$$x_1 - x_0 = (A - 1) \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right). \quad (12)$$

Используя уравнения (7), (9) и (11), определим среднее значение легколетучего компонента в паре после первой снизу тарелки

$$y_1 = \frac{y_{11} + y_{12} + y_{13} + \dots + y_{1m}}{m} = y_0 + (A - 1) \frac{L}{G} \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right). \quad (13)$$

Составив и решив уравнения материальных балансов ячеек второй снизу тарелки, аналогичные (1) и (2), получим

$$\begin{aligned} x_{21} &= \frac{y_1}{K} + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right) \left(x_1 - \frac{y_1}{K} \right); \\ x_{22} &= \frac{y_1}{K} + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right)^2 \left(x_1 - \frac{y_1}{K} \right); \\ &\dots \end{aligned} \quad (14)$$

$$x_{2m} = x_2 = \frac{y_1}{K} + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right)^m \left(x_1 - \frac{y_1}{K} \right).$$

$$y_{21} = y_1 + K \eta_x \left(x_1 - \frac{y_1}{K} \right);$$

$$y_{22} = y_1 + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right) K \eta_x \left(x_1 - \frac{y_1}{K} \right); \quad (15)$$

$$y_{2m} = \frac{y_1}{K} + \left(\frac{GK}{mL} \eta_x + 1 \right)^{m-1} K \eta_x \left(x_1 - \frac{y_1}{K} \right).$$

Из последнего уравнения систем (14), используя выражение (11) и последнее уравнение системы (8), находим

$$x_2 - x_1 = (A - 1) \left[A \left(1 - \frac{L}{GK} \right) + \frac{L}{GK} \right] \left(x_0 - \frac{y_0}{K} \right). \quad (16)$$

Сложим левые и правые части уравнений (15) и, разделив на количество ячеек, получим

$$y_2 = \frac{y_{21} + y_{22} + \dots + y_{2m}}{m} = y_1 + (A - 1) \frac{L}{G} \left(x_1 - \frac{y_1}{K} \right). \quad (17)$$

откуда

$$n = \frac{\frac{x_n}{x_0} - 1}{\left(1 - \frac{y_0}{Kx_0}\right) (A_1 - 1)} \quad (26)$$

В выражениях (24) — (26) уравнение (11) будет иметь следующий вид:

$$A_1 = \left(1 + \frac{\eta_x}{m}\right)^m \quad (27)$$

Согласно определению [4], на тарелке перемешивание жидкости отсутствует при $m \rightarrow \infty$. В этом случае выражение (11) примет вид

$$A = \exp\left(\frac{GK}{L} \eta_x\right) \quad (28)$$

Приведенный метод позволяет рассчитать число действительных тарелок ректификационной колонны с использованием локальной эффективности, выраженной через содержание легколетучего компонента в жидкости, без промежуточных вычислений и при любом содержании легколетучего компонента в греющем паре.

Поступила 7.01.86

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. — М.: Химия, 1973, с. 488—489.
2. Стабников В. Н. Перегонка и ректификация этилового спирта. — М.: Пищевая промышленность, 1969, с. 70—75.
3. Зысин Л. В., Соколов В. А. — Гидролизная и лесохимическая промышленность, 1985, № 2, с. 3—4.
4. Кафаров В. В. Основы массопередачи. — М.: Высшая школа, 1979, с. 337—341.

Determining the Number of Real Plates of the Fractionating Tower

V. N. PAVLECHKO

All-Union Research and Design Institute of Microbiological Industry, Minsk

A procedure for computation of the number of real plates of the fractionating tower is described for a certain case, which is — the arbitrary content of the highly volatile component in the heating steam and the lack of mixing.