

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 66.048.3.069.835

В. Н. Павлечко, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ ГРАФИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ТАРЕЛОК НА Y-X ДИАГРАММЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ

Выведены соотношения между составами паровой и жидкой фаз, поступающими на идеальную и реальную тарелки, и составами, выходящими из этих тарелок, при использовании комплексной модели. Найденные зависимости позволяют выполнять графические построения на Y-X диаграмме для определения числа действительных тарелок. Подтверждается обобщающий характер комплексной модели, которая включает известные модели Мерффри и Хаузена в качестве граничных случаев.

Relations between compositions of the vapor and liquid phases coming to and leaving the ideal and real plates have been derived using the complex model. Based on the obtained dependences, the graphical procedures for determination of the number of real plates from the Y-X diagram were proposed. A generalizing nature of the complex model, which includes the well-known Murphree and Hausen models as borderline cases, was confirmed.

Введение. При анализе работы ректификационных колонн используются определения эффективности массообмена, предложенные Мерффри [1] и Хаузенем [2], первое из которых получило наибольшее распространение.

В известных определениях предполагается полное перемешивание жидкости на ступени контакта и не учитываются условия прямоточного, противоточного и перекрестного движения паровой и жидкой фаз. Эффективность массообмена по Мерффри неоднозначна, т.к. в паровой и жидкой фазах в общем случае имеют место разные значения. Фактически концепция Мерффри представлена двумя независимыми вариантами. Эффективность по Хаузену имеет одинаковые значения по параметрам паровой и жидкой фаз и рассматривается в настоящей работе в виде третьего варианта массообмена.

В определении эффективности Мерффри в паровой фазе и жидкости, а также в определении Хаузена на идеальной и реальной тарелках равны по составу и количеству потоки соответственно [1–4]:

- а) поступающего пара, а также выходящей жидкости;
- б) выходящего пара, а также поступающей жидкости;
- в) поступающей жидкости, а также поступающего пара.

Применительно к содержанию легколетучего компонента в паровой и жидкой фазах пере-

численные условия представлены соответственно в виде

$$y_{n-1}^* = y_{n-1}; \quad x_{n-1}^* = x_{n-1}; \quad (1)$$

$$y_n^* = y_n; \quad x_n^* = x_n; \quad (2)$$

$$y_{n-1}^* = y_{n-1}; \quad x_n^* = x_n, \quad (3)$$

где x_n, x_{n-1} – концентрация легколетучего компонента в жидкости до и после тарелки соответственно, мол. доли; y_{n-1}, y_n – концентрация легколетучего компонента в паровой фазе до и после тарелки соответственно, мол. доли; * – равновесные условия.

Графическое изображение этих условий приведено на рис. 1, а–в. Изменение концентраций на рис. 1, а соответствует модели Мерффри при анализе эффективности в паровой фазе (первый вариант массообмена), на рис. 1, б – модели Мерффри при анализе эффективности в жидкости (второй вариант массообмена), на рис. 1, в – модели Хаузена (третий вариант массообмена).

В соответствии с выражениями (1)–(3) при выравнивании параметров идеальной и реальной тарелки в известных моделях реальная тарелка представлена несколько идеализированной и, наоборот, идеальная тарелка частично приближена к действительной, что искажает показатели обеих тарелок и приводит к существенным погрешностям вычислений, в частности, эффективность массообмена может выходить из реального диапазона значений.

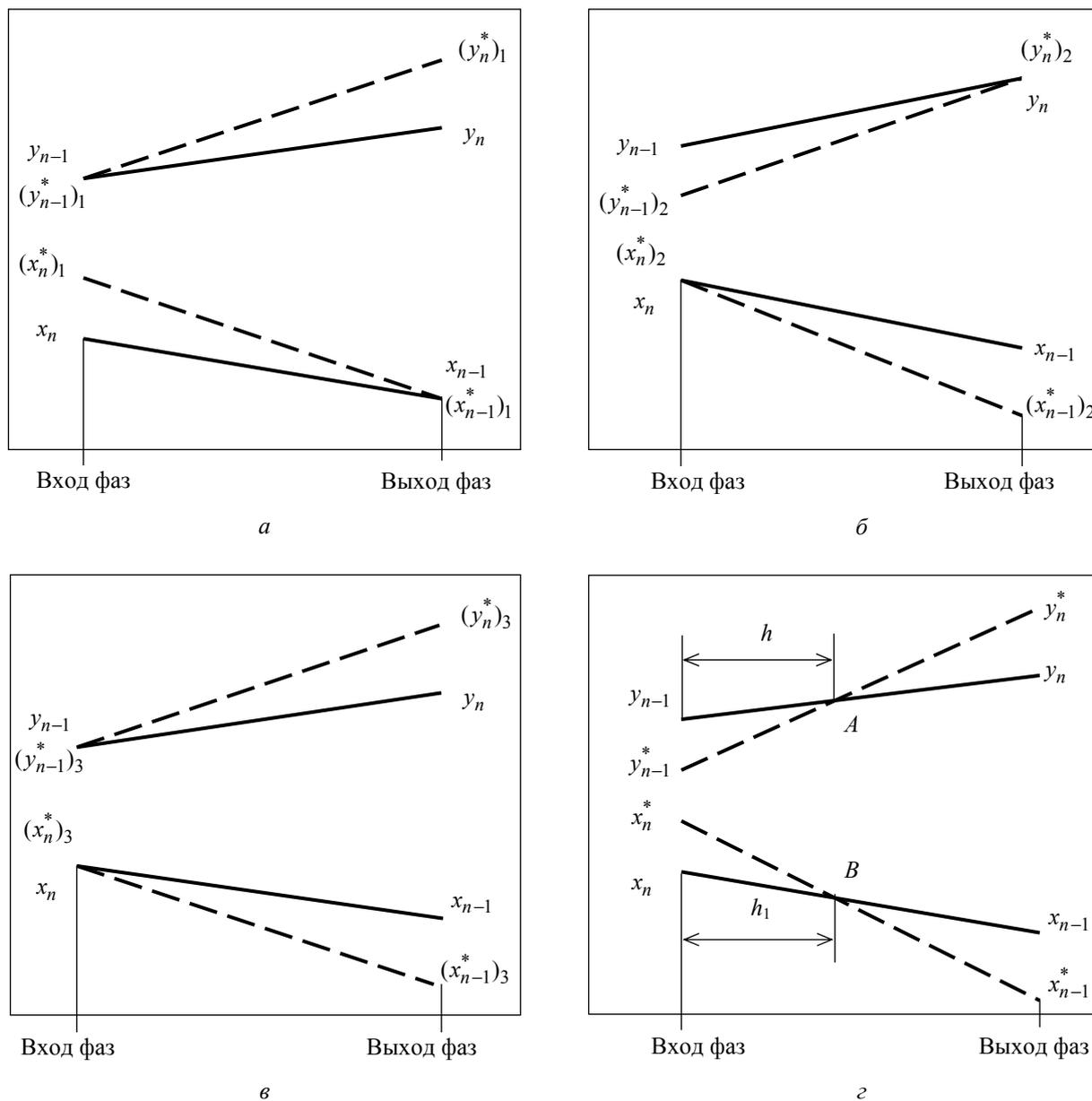


Рис. 1. Изменение составов фаз на идеальной (штриховые линии) и реальной (сплошные) тарелках

Эффективность массообмена зависит также от условий равновесия пара, покидающего идеальную тарелку. При полном перемешивании жидкости эти условия для рассматриваемых моделей имеют, соответственно, вид:

$$(y_n^*)_1 = mx_{n-1}; \quad (4)$$

$$y_n^* = m(x_{n-1})_2; \quad (5)$$

$$(y_n^*)_3 = m(x_{n-1})_3^*, \quad (6)$$

где m – коэффициент фазового равновесия; 1–3 – варианты массообмена.

Из выражений (4) и (5) следует, что уравнение показателей идеальной и реальной тарелки

в определении эффективности массообмена Мерффи в паровой и жидкой фазах также искажает представление о работе указанных тарелок. В модели Хаузена в соответствии с уравнением (6) имеет место фактическое отображение работы идеальной тарелки.

С целью устранения отмеченных недостатков известных моделей предложена комплексная модель, в которой составы поступающих и выходящих фаз на идеальной и реальной тарелках различаются [5–7]. В работающей более эффективно идеальной тарелке концентрация легколетучего компонента в поступающей паровой фазе должна быть меньше, а в выходящей – больше соответствующих величин реальной тарелки. Такие же соотношения на ука-

занных тарелках должны быть между составами поступающей и уходящей жидкости.

В соответствии с изложенным в новой модели концентрация легколетучего компонента в паровой фазе на идеальной и реальной тарелках выравнивается в некоторой плоскости (точка A на рис. 1, z), удаленной на расстоянии h от места ее ввода. При условии линейности изменения концентрации легколетучего компонента в паровой и жидкой фазе на одной ступени контакта для точки A составлено уравнение [5–7]

$$(1-h)y_{n-1}^* + hy_n^* = (1-h)y_{n-1} + hy_n, \quad (7)$$

где h – безразмерное расстояние от места ввода паровой фазы до поверхности равенства составов на идеальной и реальной тарелках.

Составы жидкости на идеальной и реальной тарелках становятся равными в некоторой плоскости (точка B на рис. 1, z), удаленной на расстоянии h_1 от места ввода жидкости. Для

точки B также получено аналогичное (7) равенство [5–7]

$$(1-h_1)x_n^* + h_1x_{n-1}^* = (1-h_1)x_n + h_1x_{n-1}, \quad (8)$$

где h_1 – безразмерное расстояние от места ввода жидкой фазы до поверхности равенства составов на идеальной и реальной тарелках.

Прочие особенности моделей Мерффри и Хаузена имеют место и в комплексной модели.

Основная часть. Модели Мерффри и Хаузена наглядны и хорошо интерпретируются графически. Изменение составов фаз на диаграмме Мак Кэба – Тиле приведено на рис. 2, a – z . Изменение составов паровой и жидкой фаз между равновесной и рабочей линиями на одной ступени контакта изображено штриховыми линиями для идеальной и сплошными – для реальной тарелок. Равенство некоторых концентраций легколетучего компонента в паровой и жидкой фазах на этих рисунках отвечает соответствующим условиям (1)–(3).

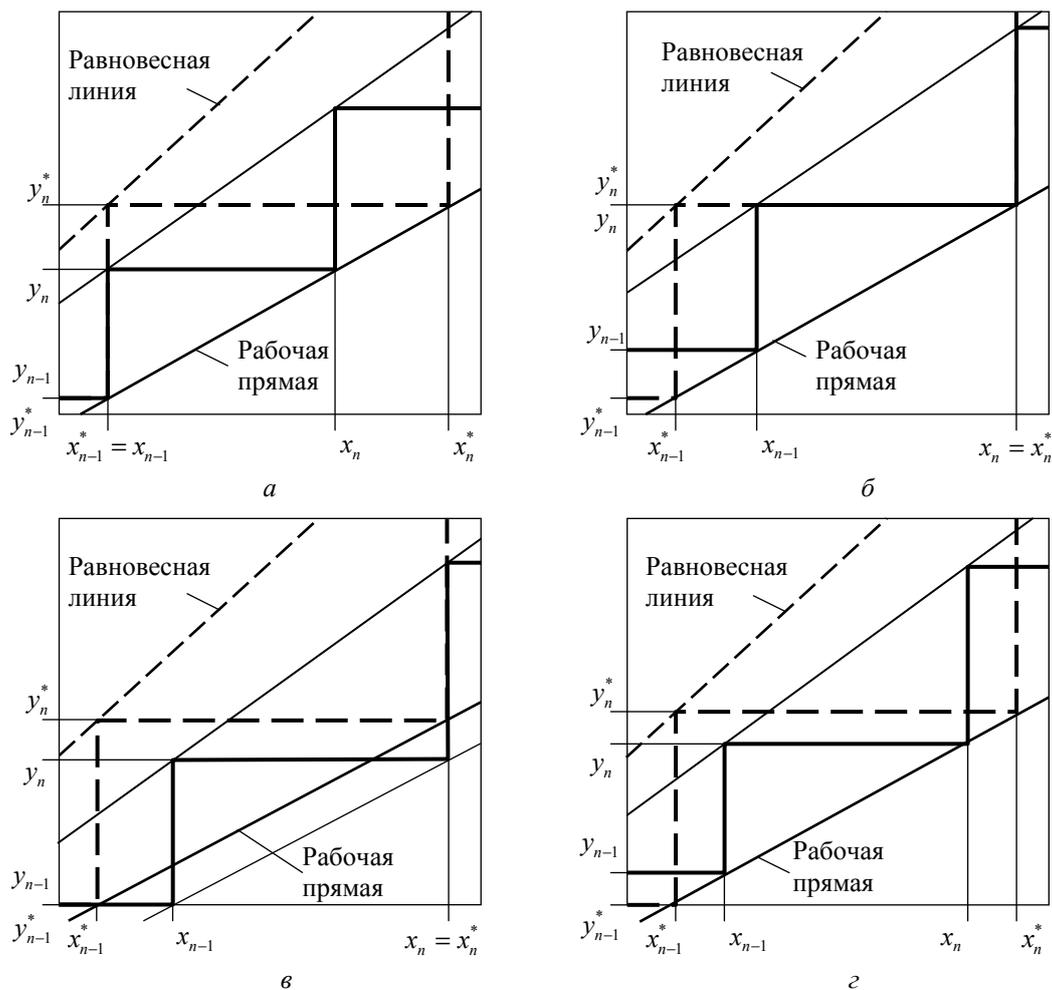


Рис. 2. Схема прямоточного массообмена при различных условиях связи идеальной и реальной тарелок: $a, б$ – модель Мерффри при анализе эффективности в паровой фазе и жидкости соответственно; $в$ – модель Хаузена; z – комплексная модель

В настоящей статье рассматривается возможность аналогичного графического определения числа действительных тарелок при использовании комплексной модели.

При выполнении построений на Y-X диаграмме, аналогичных приведенным на рис. 2, а–в, необходимо определить в каком соотношении находятся разности $(y_n^* - y_n)$ и $(y_{n-1} - y_{n-1}^*)$, $(x_n^* - x_n)$ и $(x_{n-1} - x_{n-1}^*)$.

В работах [5–7] известные модели рассматриваются в качестве граничных случаев комплексной модели, когда расстояния h и h_1 принимают предельные значения: ноль или единица. В модели Мерффри при анализе эффективности в паровой фазе $h = 0$ и $h_1 = 1$, при анализе эффективности в жидкости $h = 1$ и $h_1 = 0$, в модели Хаузена $h = h_1 = 0$. В комплексной модели предложено определять эти расстояния по формуле [8]

$$h = h_1 = \frac{1}{m+1}. \quad (9)$$

Из уравнений (7) и (8) выводятся соответствующие зависимости при условии линейности изменения концентраций на одной ступени контакта

$$\frac{y_n^* - y_n}{y_{n-1} - y_{n-1}^*} = \frac{1-h}{h}; \quad (10)$$

$$\frac{x_n^* - x_n}{x_{n-1} - x_{n-1}^*} = \frac{h_1}{1-h_1}. \quad (11)$$

При подстановке в формулы (7) и (8) значений $h = 0$ и $h_1 = 1$, соответствующих первому варианту модели Мерффри, выводятся зависимости условия (1), значений $h = 1$ и $h_1 = 0$, характерных для второго варианта модели Мерффри, – условия (2), значений $h = h_1 = 0$, соответствующих модели Хаузена (третий вариант массообмена), условия (3), что также подтверждает обобщающий характер комплексной модели по отношению к известным. При подстановке в равенства (10) и (11) значений расстояний из формулы (9) получены соотношения для комплексной модели

$$y_n^* - y_n = m(y_{n-1} - y_{n-1}^*); \quad (12)$$

$$x_{n-1} - x_{n-1}^* = m(x_n^* - x_n). \quad (13)$$

С помощью полученных зависимостей можно выполнить графические построения

в Y-X диаграмме при использовании комплексной модели для графоаналитического определения числа действительных тарелок.

Заключение. При использовании комплексной модели отношение разности концентраций легколетучего компонента в паровой фазе после идеальной и реальной тарелок к аналогичной разности до этих тарелок пропорциональны коэффициенту фазового равновесия. Для жидкой фазы наблюдается аналогичное соотношение.

Найденные зависимости позволяют при известной эффективности выполнить построения в Y-X диаграмме (рис. 2, з), аналогичные известным, для графоаналитического определения числа действительных тарелок.

Литература

1. Murphree, E. V. Rectifying column calculation with particular reference to n-component mixtures / E. V. Murphree // Ind. Eng. Chem. – 1925. – Vol. 17, No. 7. – P. 747–750.
2. Hausen, H. Zur Definition des Austauschgrades von Rektifizierböden bei Zwei- und Dreistoff-Gemischen / H. Hausen // Chem. Ing. Tech. – 1953. – Bd. 25, Nr. 10. – S. 595–597.
3. Medina, A. G. Hausen and Murphree efficiencies in binary and multicomponent distillation / A. G. Medina, N. Ashton, C. McDermott // Chem. Eng. Sci. – 1979. – Vol. 34, No. 9. – P. 1105–1112.
4. Savkovič-Stevanovič, J. Murphree, Hausen, vaporization and overall efficiencies in binary distillation of associated systems / J. Savkovič-Stevanovič // Separ. Sci. and Technol. – 1984. – Vol. 19, No. 4 & 5. – P. 283–295.
5. Павлечко, В. Н. Комплексная модель эффективности ректификационных тарелок. 1. Прямоточное движение фаз / В. Н. Павлечко // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 1. – С. 50–56.
6. Павлечко, В. Н. Комплексная модель эффективности ректификационных тарелок. 2. Противоточное движение фаз / В. Н. Павлечко // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 1. – С. 57–61.
7. Павлечко, В. Н. Комплексная модель эффективности ректификационных тарелок. 4. Перекрестное движение фаз / В. Н. Павлечко // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 2. – С. 43–47.
8. Павлечко, В. Н. Комплексная модель эффективности ректификационных тарелок. 7. Взаимосвязь отдельных параметров / В. Н. Павлечко // ИФЖ. – 2002. – Т. 75, № 1. – С. 112–116.

Поступила 28.02.2011