

УДК 66.048.375

В. Н. Павлечко

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ ТАРЕЛОК. 6. О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНИМОСТИ РАСЧЕТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Предположена взаимосвязь расстояний от места ввода пара h и жидкости h_1 до поверхности равенства концентраций на идеальной и реальной тарелках со степенью отклонения от закона Рауля, характеризуемой величиной коэффициента активности γ . Если активности компонентов идеального и реального растворов совпадают ($\gamma = 1$), то $h = 0.5$ и $h_1 = 0.5$. При положительном отклонении легколетучего компонента от закона Рауля ($\gamma > 1$) $h > 0.5$ и $h_1 > 0.5$, при отрицательном ($\gamma < 1$) – $h < 0.5$ и $h_1 < 0.5$. Проведен также анализ влияния активности труднолетучего компонента и обоих компонентов на указанные расстояния. Для исключения отрицательных величин эффективности в расчетных процедурах, особенно при противотоке, предложено находить коэффициент равновесия по углу наклона к оси абсцисс касательной к равновесной линии и учитывать длину отрезка, отсекаемого этой касательной на оси ординат. Приведены некоторые модификации новых зависимостей для прямого тока, противотока, перекрестного тока с перемешиванием и без него.

Во всех общих расчетных зависимостях рассмотренных схем организации потоков взаимодействующих фаз [1–5] приводятся расстояния от места ввода пара h и жидкости h_1 до поверхности, характеризующейся равенством соответствующих составов на идеальной и реальной тарелках. Величины указанных расстояний могут быть представлены как степень приближения реального раствора к идеальному. В частном случае пар и жидкость рассматриваются как компоненты идеального раствора, проявляют соответствующие свойства при массообмене на идеальной и реальной тарелках и в этом случае $h = h_1 = 0.5$.

Снижение h или h_1 , как это отмечалось в [1–5], повышает эффективность, что может быть объяснено отклонением реальных растворов от закона Рауля, который формализуется в виде [6]

$$p = P\gamma \quad (1)$$

При положительном отклонении от закона Рауля ($\gamma > 1$), например, легколетучего компонента повышается его парциальное давление согласно формуле (1). В соответствии с первым законом Коновалова пар обогащается тем компонентом, парциальное мольное давление которого больше [6]. Возрастание содержания легколетучего компонента в паровой фазе увеличивает эффективность массообмена. Однако это повышение эффективности работы оборудования кажущееся. Фактически при прочих равных условиях она остается такой же, как и при ректификации идеального раствора. Поэтому для приведения эффективности к ее истинному значению следует увеличивать h или h_1 .

Предположим, что на идеальную тарелку поступает идеальный раствор, а на действительную тарелку – реальный, т. е. раствор с отрицательным отклонением труднолетучего компонента от закона Рауля. Составы пара совпадают на идеальной и реальной тарелках не в точке A , как это наблюдается для идеального раствора, а в точке C (рис. 1, *a*). При этом расстояние h увеличивается и становится равным h' . Конечная концентрация легколетучего компонента в паровой фазе возрастает до y'_n . Состав жидкости на реальной тарелке обедняется легколетучим компонентом более интенсивно, чем при ректификации идеального раствора, выравнивается с составом жидкости на идеальной тарелке в точке D и достигает конечного содержания на ступени x'_{n-1} (рис. 1, *a*). Расстояние h_1 также увеличивается до h'_1 . Причем в общем случае $h' \neq h'_1$.

При положительном отклонении от закона Рауля труднолетучего компонента ($\gamma > 1$) парциальное давление и концентрация легколетучего компонента в паровой фазе снижаются по сравнению с идеальным раствором и концентрация достигает после тарелки значения y''_n (рис. 1, *b*). Расстояние h уменьшается до h'' . Составы пара на идеальной и реальной тарелках выравниваются в точке C . Жидкость обедняется легколетучим компонентом менее интенсивно в сравнении с идеальным раствором и достигает на выходе тарелки значения x''_{n-1} . Расстояние h_1 снижается до h''_1 .

Аналогичным образом изменяются параметры реального раствора при отклонении от закона Рауля легколетучего компонента. При активности легколетучего компонента $\gamma < 1$ расстояния h и h_1 должны быть больше 0.5, при $\gamma > 1$ – меньше 0.5, а при соответствующих отклонениях от закона Рауля труднолетучего компонента – наоборот. При отклонении от закона Рауля обоих компонентов раствора требуется сопоставительный анализ их активностей.

Отклонение от закона Рауля реальных смесей в основном учитывается коэффициентом равновесия m . Однако при использовании m принимается во внимание только относительная активность компонентов, в

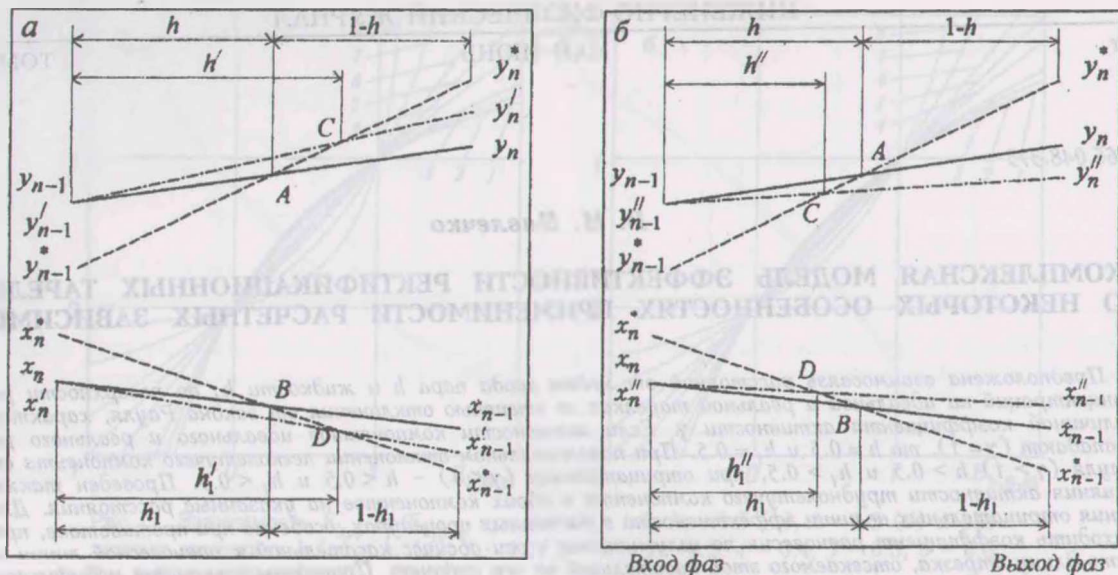


Рис. 1. Изменение концентраций на реальной (сплошные линии) и идеальной (штриховые) тарелках с учетом активности труднолетучего компонента (штрих-пунктирные): а - $\gamma < 1$; б - $\gamma > 1$

то время как изменением расстояний h и h_1 можно задавать значения коэффициентов активности реальных растворов, особенно многокомпонентных смесей.

В ряде расчетных зависимостей, особенно при противотоке [2], используются выражения типа

$$E_{g,m} = \left(\frac{L}{mV} - 1 \right) / \left(\frac{x_n + x_{n-1} - 2 \frac{y_{n-1}}{m}}{x_n - x_{n-1}} - \frac{L}{mV} \right),$$

включающие разность $(L/mV - 1)$, которая должна быть положительной величиной. Это означает, что тангенс угла наклона рабочей прямой к оси абсцисс должен быть больше, чем у равновесной линии. Однако на практике возможны условия, схематически изображенные на рис. 2. Угол наклона рабочей прямой CD меньше соответствующего угла равновесной линии OA . В этом случае эффективность, вычисленная по приведенной выше формуле, может быть получена отрицательной.

Для исключения подобной ситуации предлагается следующая модификация расчетных зависимостей. Вместо используемого уравнения равновесной линии типа $y^* = mx^*$ необходимо использовать формулу [7]

$$y^* = mx^* + K, \quad (2)$$

которая на рис. 2 изображена в виде касательной AB к равновесной линии OEA . Величина K равна величине отрезка OB , отсекаемого касательной на оси ординат. Угол наклона прямой AB к оси абсцисс меньше, чем у прямой CD , следовательно, разность $(L/mV - 1)$ и используемые ее выражения будут иметь положительные значения. Формула (2) может быть также использована не только при противотоке, но и для других форм организации потоков фаз. В этих случаях в зависимости, откорректированные с учетом (2), вместо разности $(x_{n-1} - y_{n-1}/m)$ следует подставлять $[x_{n-1} - (y_{n-1} - K)/m]$. Например, разности концентраций легколетучего компонента в жидкости до и после тарелки примут вид:

для проточка

$$x_n - x_{n-1} = \left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - K}{m} \right) E_{\Pi} / \left[L (1 - E_{\Pi}) \left(\frac{1-h}{mV} - \frac{1-h_1}{L} \right) + \frac{L}{mV} E_{\Pi} \right], \quad (3)$$

для противотока

$$x_n - x_{n-1} = \left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - K}{m} \right) E_g / \left[L (1 - E_g) \left(\frac{1-h}{mV} - \frac{1-h_1}{L} \right) + \frac{L}{mV} E_g - 1 \right], \quad (4)$$

для противотока с перемешиванием жидкости

$$x_n - x_{n-1} = \left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - K}{m} \right) E_{g,\Phi} / \left[L (1 - E_{g,\Phi}) \left(\frac{1-h}{mV} - \frac{1-h_1}{L} \right) + \frac{L}{mV} E_{g,\Phi} - 1 + \Phi \right], \quad (5)$$

для перекрестного тока

$$x_n - x_{n-1} = \left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - K}{m} \right) E_k / \left[L (1 - E_k) \left(\frac{1-h}{mV} - \frac{1-h_1}{L} \right) + \frac{L}{mV} E_k - \frac{1}{2} \right], \quad (6)$$

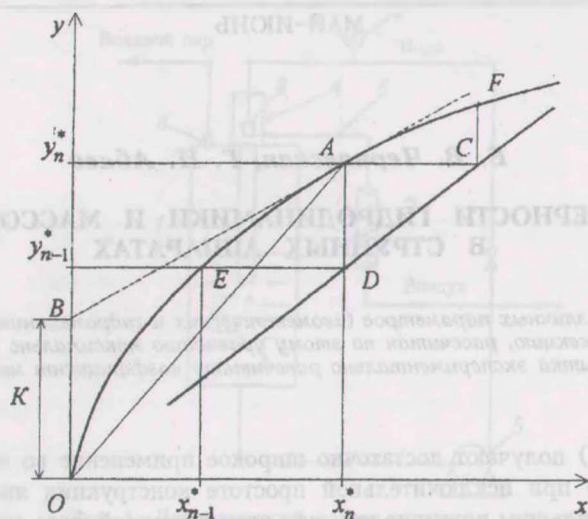


Рис. 2. Изображение процесса на y - x диаграмме

для перекрестного тока с перемешиванием жидкости

$$x_n - x_{n-1} = \left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - K}{m} \right) E_{k,\varphi} \left/ \left[L (1 - E_{k,\varphi}) \left(\frac{1-h}{mV} - \frac{1-h_1}{L} \right) + \frac{L}{mV} E_{k,\varphi} - \frac{1}{2} + \frac{\varphi}{2} \right] \right. \quad (7)$$

При прочих равных условиях наивысшее количество легколетучего компонента, извлекаемого из жидкости, может быть получено при противоточном движении паровой и жидкой фаз, поскольку знаменатель из всех приведенных зависимостей минимален в формуле (4), и наименьшее – при прямоточном движении потоков, поскольку знаменатель в (3) имеет максимальное значение. Перекрестное движение фаз следует рассматривать как среднее между прямотоком и противотоком.

Перемешивание жидкости снижает массопередачу, поскольку возрастание количества полностью перемешанной жидкости φ при противоточном и перекрестном движениях фаз увеличивает знаменатель соответственно в формулах (5) и (7) и при $\varphi = 1$ обе приводит к (1). Следует отметить, что влияние перемешивания более значимо при противоточном движении пара и жидкости и менее существенно при перекрестном. Это, вероятно, обусловлено учетом содержания легколетучего компонента в жидкости в последней форме организации движения потоков как среднего между ее входным и выходным составами, что можно рассматривать как своего рода перемешивание.

Уравнение (2) повышает точность расчетов, но несколько их усложняет, поскольку при его использовании первое обеспечивается более точной характеристикой рассматриваемого участка равновесной линии, второе обусловлено необходимостью корректировки значений m и K для каждой ступени контакта при потарелочном расчете колонны, что может повлиять на эффективность и изменять ее от ступени к ступени. Однако при наличии ЭВМ последнее особых сложностей не вызывает.

Таким образом, формулы (3)–(7), отражающие комплексную модель массообмена при ректификации в основном имеют один и тот же характер, так как выражаются одинаковыми по существу параметрами и различаются только формами организации потоков.

Обозначения

E – эффективность тарелки; φ – количество полностью перемешанной жидкости на тарелке; γ – коэффициент активности компонента реального раствора; h, h_1 – безразмерное расстояние от места ввода соответственно пара и жидкости до поверхности равенства концентраций фаз на идеальной и реальной тарелках; K – участок оси ординат, отсекаемый касательной к равновесной линии; L – молярный поток жидкости; m – коэффициент равновесия; p – парциальное давление пара легколетучего компонента раствора; P – давление чистого пара над жидкостью; V – молярный поток пара; x, y – концентрация легколетучего компонента соответственно в жидкости и паре. Индексы: φ – учет перемешивания жидкости; g – противоток; k – перекрестное движение фаз; liq – жидкая фаза; m – значения параметров при $h = h_1 = 0.5$; n – номер рассматриваемой тарелки; $n-1$ – номер предыдущей тарелки по ходу движения пара; p – прямоток; v – паровая фаза; * – идеальные условия.

Литература

1. Павлечко В. Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74, № 1. С. 50–56.
2. Павлечко В. Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74, № 1. С. 57–61.
3. Павлечко В. Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74, № 2. С. 38–42.
4. Павлечко В. Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74, № 2. С. 43–47.
5. Павлечко В. Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74, № 3. С. 177–180.
6. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., 1971. С. 498–501.
7. Кафаров В. В. Основы массопередачи. М., 1972. С. 218.