

Член-корреспондент АН СССР В. В. КАФАРОВ,
А. И. БОЯРИНОВ, В. Н. ВЕТОХИН

РАЗДЕЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТАРЕЛОК В КОЛОННАХ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ

В отличие от бинарных, в многокомпонентных смесях скорость массопередачи каждого из компонентов определяется не только собственной движущей силой компонента, но и зависит от движущих сил всех остальных компонентов смеси. Поэтому при расчетах разделения в тарельчатых колоннах ректификации многокомпонентных смесей с учетом кинетики массопередачи и гидродинамической обстановки локальный состав пара, уходящего с тарелок, должен рассчитываться по зависимостям ⁽¹⁾, учитывающим влияние движущих сил всех компонентов:

$$y_j = Y_j^{(0)} + \sum_{l=1}^k \beta_{jl} (\tilde{y}_l - Y_l^{(0)}), \quad j = 1, \dots, k, \quad (1)$$

где y_j , $\tilde{y}_j$ — локальные концентрации j -го компонента в паре, уходящем с тарелки, равновесном жидкости и $Y_j^{(0)}$ — поступающем на тарелку, кмол/кмол; k — число компонентов.

Воспользовавшись тем, что

$$\sum_{j=1}^k \tilde{y}_j = \sum_{j=1}^k y_j = \sum_{j=1}^k Y_j^{(0)} = 1, \quad (2)$$

выражение (1) можно представить в виде:

$$y_j = Y_j^{(0)} + \sum_{l=1}^{k-1} \eta_{jl} (\tilde{y}_l - Y_l^{(0)}), \quad (3)$$

откуда как частный случай (при $k = 2$) следуют известные ⁽²⁾ соотношения для бинарных смесей. В матричной форме записи выражение (3) представляется как

$$y = Y^{(0)} + \eta (\tilde{y} - Y^{(0)}), \quad (4)$$

где η — матрица локальной эффективности паро-жидкостного контакта на тарелке.

Одной из форм описания движения жидкости на тарелке являются гидродинамические модели, основанные на зонном представлении структуры потока. Предполагается, что контакт жидкости с паром происходит в локализованных зонах. Движение жидкости в них, в свою очередь, может описываться зонной структурой, а разделительная способность определяется как

$$y^{(s)} = Y^{(0)} + E^{(s)} (\tilde{y}^{(s)} - Y^{(0)}), \quad (5)$$

где $y^{(s)}$ — матрица-столбец усредненного состава пара, уходящего из s -ой зоны; $\tilde{y}^{(s)}$ — матрица-столбец состава пара, равновесного жидкости; $E^{(s)}$ — матрица эффективности s -ой зоны. Простейшей зоной может быть ячейка идеального смешения жидкости, для которой матрица эффективности $E^{(s)}$ тождественно равна матрице локальной эффективности контакта $\eta^{(s)}$, рассчитанной для гидродинамических условий в рассматриваемой ячейке.

В дальнейшем предполагается, что зависимость равновесного состава пара $\tilde{y}^{(s)}$ от состава жидкости $x^{(s)}$ в пределах массообменного пространства тарелки аппроксимируется линейным соотношением:

$$\tilde{y}^{(s)} = \tilde{Y} + M(x^{(s)} - X), \quad (6)$$

где $X, \bar{Y}$ — матрицы-столбцы состава жидкости, стекающей с тарелки, и равновесного ей состава пара; M — матрица линейной аппроксимации

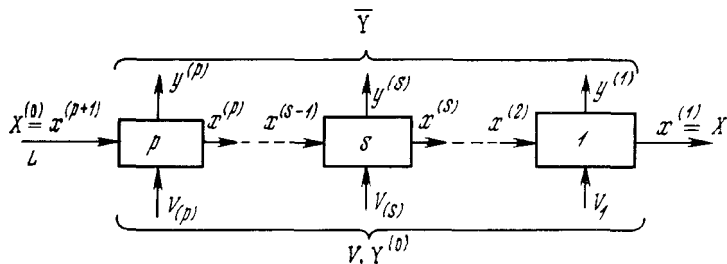


Рис. 1

равновесной зависимости. Элементы матрицы M определяются по формуле

$$M_{ij} = (\bar{Y}_j / X_j) (\delta_{ij} - \bar{Y}_i) + (\bar{Y}_k / X_k) Y_i, \quad i, j = 1, \dots, k-1, \quad (7)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j, \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

и рассчитываются через равновесные концентрации пара $\bar{Y}_j$, найденные для состава жидкости X_j ($j = 1, \dots, k$), стекающей с тарелки. Значительное число возможных структур движения потока жидкости на тарелке может быть рассмотрено с помощью трех основных типов моделей: каскадной, канальной и рециркуляционной. Каждая из этих моделей, в свою очередь, может использоваться как отдельная зона модели более сложной структуры.

Для каскадной модели (рис. 1) предполагается, что жидкость последовательно проходит через все зоны, в которых осуществляется ее контакт с паром и разделительная способность которых описывается выражением (5). Для каждой из зон модели записываются балансовые уравнения:

$$L(x^{(s+1)} - x^{(s)}) - V_s(y^{(s)} - Y^{(0)}) = 0, \quad s = 1, \dots, p, \quad (8)$$

которые с учетом (5) и (6) преобразуются в систему уравнений

$$x^{(s+1)} - X - (I + A^{(s)})(x^{(s)} - X) - \frac{V_s}{L} E^{(s)} (\bar{Y} - Y^{(0)}) = 0, \quad s = 1, \dots, p; \quad (9)$$

$$A^{(s)} = (V_s / L) E^{(s)} M. \quad (10)$$

Здесь L, V — количества жидкости и пара, поступающие на тарелку L_s, V_s — в s -ю зону, кмол/час; $X^{(0)}$ — матрица-столбец состава жидкости, поступающей на тарелку; p — число зон; I — единичная матрица.

Из системы уравнений (9) следует:

$$X^{(0)} = X + \sum_{s=1}^p \left[\prod_{i=1}^{p-s} (I + A^{(p+1-i)}) \frac{V_s}{L} E^{(s)} \right] \cdot (\bar{Y} - Y^{(0)}). \quad (11)$$

С учетом уравнения общего баланса тарелки

$$L(X^{(0)} - X) - V(\bar{Y} - Y^{(0)}) = 0 \quad (12)$$

и соотношения (11) находится средний состав пара, уходящего с тарелки

$$\bar{Y} = Y^{(0)} + E(\bar{Y} - Y^{(0)}), \quad (13)$$

где E определяется как матрица эффективности для каскадной модели:

$$E = E_c = \sum_{s=1}^p \frac{V_s}{V} \prod_{i=1}^{p-s} (I + A^{(p+1-i)}) E^{(s)}. \quad (14)$$

Для канальной модели (рис. 2) предполагается, что поток жидкости распределяется по параллельным каналам, разделительная способность каждого из которых описывается выражением (5). Для каждого из каналов модели записываются балансовые уравнения:

$$L_s(X^{(0)} - x^{(s)}) - V_s(y^{(s)} - Y^{(0)}) = 0, \quad s = 1, \dots, p, \quad (15)$$

а также уравнение, описывающее смешение потоков на выходе модели

$$\sum_{s=1}^p L_s x^{(s)} = LX. \quad (16)$$

С учетом (5) и (6) уравнения (15) преобразуются в систему:

$$X^{(0)} - X - (I + A^{(s)})(x^{(s)} - X) - (V_s/L_s)E^{(s)}(\bar{Y} - Y^{(0)}) = 0, \quad s = 1, \dots, p, \quad (17)$$

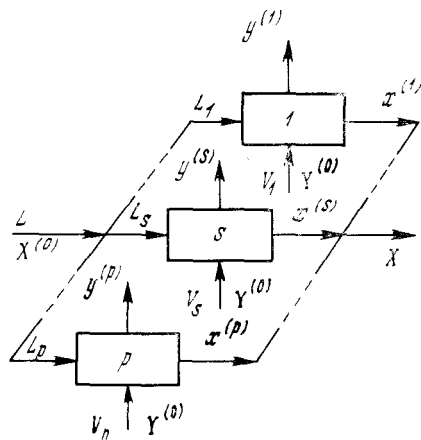


Рис. 2

$$A^{(s)} = (V_s/L_s)E^{(s)}M, \quad (18)$$

совместное решение которой с уравнением (16) дает:

$$X^{(0)} = X + \left[\sum_{s=1}^p L_s (I + A^{(s)})^{-1} \right]^{-1} \sum_{s=1}^p V_s (I + A^{(s)})^{-1} E^{(s)} (\bar{Y} - Y^{(0)}). \quad (19)$$

Из (12) и (19) находим выражение, аналогичное (13), в этом случае E рассчитывается как матрица эффективности для канальной модели:

$$E = E_b = \left[\sum_{s=1}^p \frac{L_s}{L} (I + A^{(s)})^{-1} \right]^{-1} \sum_{s=1}^p \frac{V_s}{V} (I + A^{(s)})^{-1} E^{(s)}. \quad (20)$$

Для рециркуляционной модели (рис. 3) предполагается, что при движении жидкости на тарелке возникают потоки от выхода жидкости с тарелки к ее входу, разделительную способность которых, так же как и основного потока, описывает (5). Для основного и для рециркулируемых потоков запишем балансовые уравнения

$$L_0(\bar{X}^{(0)} - X) - V_0(y^{(0)} - Y^{(0)}) = 0; \quad (21a)$$

$$L_s(X - x^{(s)}) - V_s(y^{(s)} - Y^{(0)}) = 0, \quad s = 1, \dots, p, \quad (21b)$$

а также уравнение, описывающее смешение рециркулируемых потоков с потоком жидкости, поступающим на тарелку:

$$LX^{(0)} + \sum_{s=1}^p L_s x^{(s)} = L_0 \bar{X}^{(0)}, \quad (22)$$

где $\bar{X}^{(0)}$ — матрица-столбец состава жидкости, поступающей в основной

