

## ЛЕКЦИЯ 7

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПО МЕРФРИ

Эффективность ступени (тарелки) по Мерффри (КПД Мерффри) выражают отношением изменения концентрации данной фазы на ступени к движущей силе на входе той же фазы в ступень.

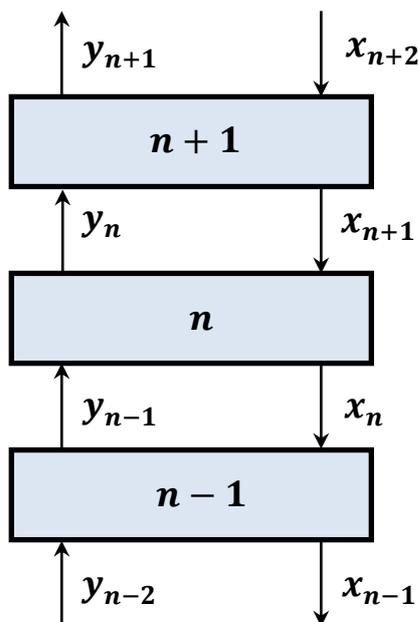


Рис. 7-1. Схематическое изображение  $n$ -ной тарелки

Рассмотрим КПД Мерффри для  $n$ -ной ступени ректификационной колонны (рис. 7-1):

для газовой (паровой) фазы 
$$E_y = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_{x_n}^* - y_{n-1}}, \quad (7-1)$$

для жидкой фазы 
$$E_x = \frac{x_{n+1} - x_n}{y_{n+1} - x_{y_n}^*}. \quad (7-2)$$

Выраженные для разных фаз КПД Мерффри при линейной равновесной линии и постоянстве расходов фаз связаны соотношением:

$$E_x = \frac{E_y}{(1 - E_y) \cdot F_M + E_y}, \quad (7-3)$$

где  $F_M = \frac{\dot{n}_L}{\dot{n}_G \cdot m}$  – фактор массопередачи.

КПД Мерффри зависит от скорости массопереноса (т.е. от коэффициентов массоотдачи и числа единиц переноса), взаимного направления движения фаз, структуры потоков, площади поверхности контакта фаз и других факторов.

### Построение кинетической линии

С помощью КПД Мерфри можно графическим построением определить число реальных тарелок. Данный метод расчёта высоты масообменных аппаратов со ступенчатым контактом фаз называют *методом кинетической линии*.

Кинетическая линия занимает на графике (рис. 7-2) промежуточное положение между рабочей и равновесной линией и объединяет точки выходных концентраций  $y_n$ . Если известны функции равновесной линии  $y^* = f(x)$  и рабочей линии  $y = f(x)$ , а также известен КПД Мерфри (как функция  $E_y = f(x)$  или как константа), то кинетическая линия может быть найдена как функция  $y_k = f(x)$  в виде:

$$y_k = y + E_y \cdot (y^* - y). \quad (7-4)$$

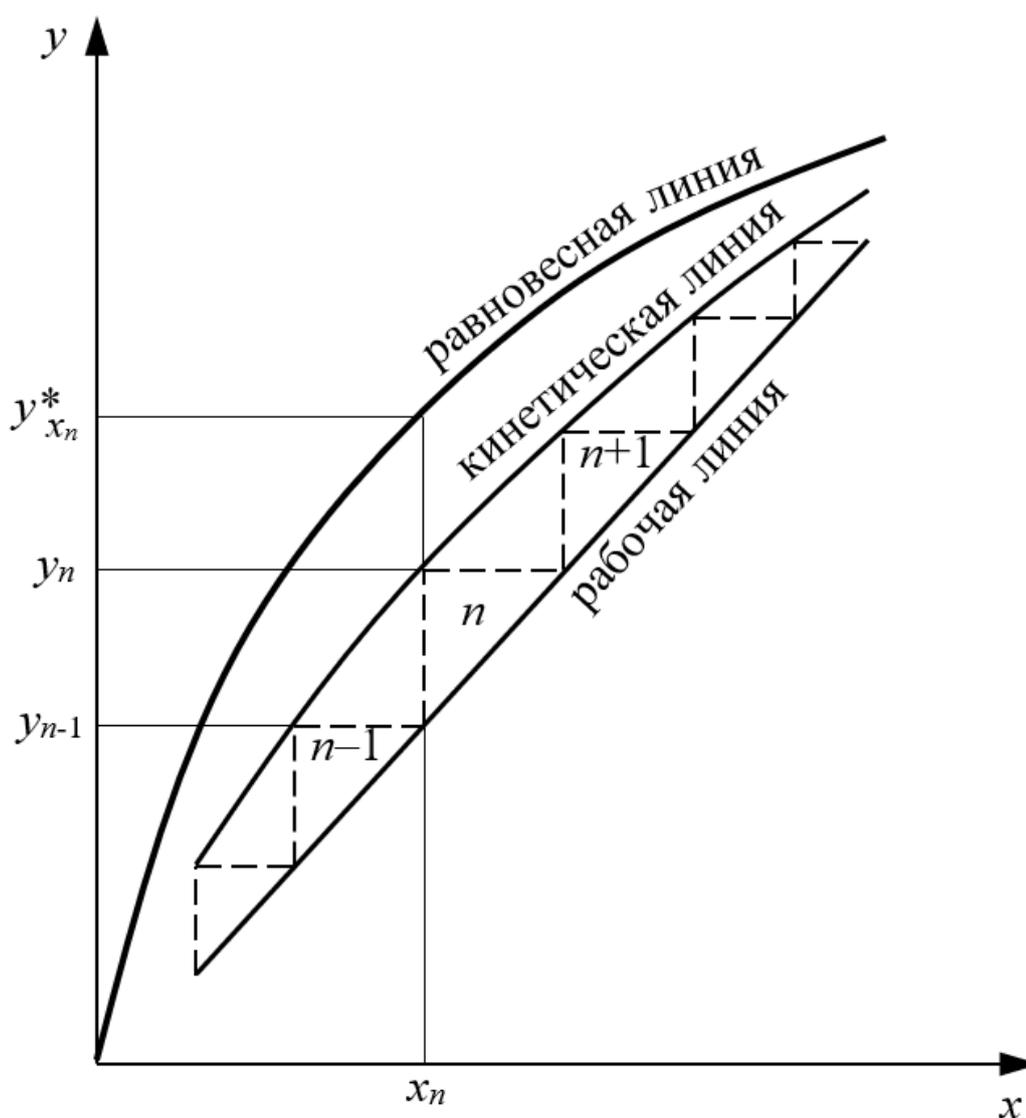


Рис. 7-2. Построение кинетической линии и определение числа тарелок

Число реальных тарелок  $N_{PT}$  массообменной колонны соответствует числу ступеней между рабочей и кинетической линией. При получении дробного числа ступеней, число тарелок обычно округляют до целых в большую сторону.

Определив число тарелок, рассчитывают высоту тарельчатой колонны по формуле:

$$H = z_H + (N_{PT} - 1) \cdot h_T + z_B, \quad (7-5)$$

где  $z_H$  – высота сепарационного пространства над днищем колонны,  $z_B$  – высота сепарационного пространства под крышкой колонны,  $h_T$  – расстояние между тарелками колонны.

### Связь числа единиц переноса и КПД Мерффри

Эффективность по Мэрффри очень просто связать с числами единиц переноса. Так, в случае **режима идеального смешения в обеих фазах** движущая сила на  $n$ -ной тарелке постоянна и равна:

$$\Delta y = y_{x_n}^* - y_n, \quad (7-6)$$

тогда число единиц переноса:

$$n_{Oy} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_{x_n}^* - y_n}. \quad (7-7)$$

Преобразуем уравнение (7-7), добавляя и вычитая  $y_{n-1}$ :

$$= \frac{1}{1/E_y - 1} = \frac{E_y}{1 - E_y} \cdot n_{Oy} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_{x_n}^* - y_n + y_{n-1} - y_{n-1}} = \frac{1}{\frac{y_{x_n}^* - y_{n-1}}{y_n - y_{n-1}} + \frac{y_{n-1} - y_n}{y_n - y_{n-1}}} = \quad (7-8)$$

Таким образом, в случае МИС в обеих фазах, имеем:

$$E_y = \frac{n_{Oy}}{1 + n_{Oy}}. \quad (7-9)$$

Если принять **режим идеального вытеснения в газовой фазе и режим идеального смешения в жидкой**, то величина  $y^*$  будет постоянной и равной  $y_{x_n}^*$ , поскольку в пределах жидкой фазы концентрация будет постоянной и равной конечной  $x_n$ , тогда число единиц переноса:

$$n_{Oy} = \int_{y_n}^{y_{n-1}} \frac{dy}{y_{x_n}^* - y_n} = \ln \frac{y_{x_n}^* - y_{n-1}}{y_{x_n}^* - y_n}, \quad (7-10)$$

откуда:

$$\frac{y_{x_n}^* - y_n}{y_{x_n}^* - y_{n-1}} = e^{-n_{Oy}}. \quad (7-11)$$

Преобразуем уравнение (7-11), добавляя и вычитая  $y_{n-1}$ :

$$e^{-n_{Oy}} = \frac{y_{x_n}^* - y_n - y_{n-1} + y_{n-1}}{y_{x_n}^* - y_{n-1}} = 1 - \frac{y_n - y_{n-1}}{y_{x_n}^* - y_{n-1}} = 1 - E_y. \quad (7-12)$$

Таким образом, для случая МИВ в газовой фазе и МИС в жидкой, получаем:

$$E_y = 1 - e^{-n_{Oy}}. \quad (7-13)$$

Следует подчеркнуть, что выражения (7-9) и (7-13) основаны на идеализированных представлениях о структуре потоков на тарелках. Расчет числа реальных тарелок строится на основе более сложных моделей движения фаз, таких как ячеечная, ячеечная с обратными потоками, диффузионная. При этом их комбинируют, учитывая реальную картину движения фаз.

Модель идеального вытеснения для жидкой фазы при перекрёстном движении фаз:

$$E_y = F_M \cdot (e^{F_M \cdot E_0} - 1), \quad (7-14)$$

где  $E_0$  по уравнению (7-9), если газовая фаза соответствует модели идеального смешения, или по уравнению (7-13), если газовая фаза соответствует модели идеального вытеснения.

Модель идеального вытеснения для обеих фаз при прямоточном движении:

$$E_y = \frac{1 - e^{-n_{Oy} \cdot \left(1 + \frac{1}{F_M}\right)}}{1 + \frac{1}{F_M} \cdot e^{-n_{Oy} \cdot \left(1 + \frac{1}{F_M}\right)}}. \quad (7-15)$$

Модель идеального вытеснения для обеих фаз при противоточном движении:

$$E_y = \frac{e^{n_{Oy} \cdot \left(\frac{1}{F_M} - 1\right)} - 1}{\frac{1}{F_M} - 1}. \quad (7-16)$$

Ячеечная модель для жидкой фазы при перекрёстном движении фаз:

$$E_y = F_M \left[ \left( \frac{E_0}{s \cdot F_M} + 1 \right)^s - 1 \right], \quad (7-17)$$

где  $E_0$  по уравнению (7-9), если газовая фаза соответствует модели идеального смешения, или по уравнению (7-13), если газовая фаза соответствует модели идеального вытеснения,  $s$  – число ячеек идеального перемешивания (параметр ячеечной модели).

Диффузионная модель для жидкой фазы при перекрёстном движении фаз:

$$E_y = E_0 \left[ \frac{1 - e^{-\lambda}}{\lambda(1 + \lambda/\eta)} + \frac{e^\eta - 1}{\eta(1 + \eta/\lambda)} \right], \quad (7-18)$$

где  $E_0$  по уравнению (7-9), если газовая фаза соответствует модели идеального смешения, или по уравнению (7-13), если газовая фаза соответствует модели идеального вытеснения,  $\lambda$  и  $\eta$  коэффициенты, рассчитываемые по уравнениям:

$$\lambda = \eta + Pe_x,$$
$$\eta = \frac{Pe_x}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{4 \cdot E_0}{Pe_x \cdot F_M}} - 1 \right),$$

где  $Pe_x$  – диффузионный критерий Пекле, характеризующий степень продольного перемешивания жидкости на тарелке:

$$Pe_x = \frac{l^2}{D_L \cdot t},$$

где  $l$  – длина пути жидкости на тарелке,  $D_L$  – коэффициент продольного перемешивания жидкости,  $t$  – среднее время пребывания жидкости на тарелке.

Величины  $E_y$  в выражениях (7-9) и (7-13) называют *локальными эффективностями на тарелке*, в отличие от эффективностей  $E_{My}$ , рассчитываемых для переточных тарелок с учетом взаимного направления движения фаз, неидеальности перемешивания, брызгоуноса, байпасирования жидкости и т.д.