

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЧИСЕЛ ЕДИНИЦ ПЕРЕНОСА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О РАВНОВЕСИИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ

© В.Н.Павлечко

Белорусский государственный технологический университет, Минск

Поступило в Редакцию 18 января 2006 г.

Предложены зависимости для аналитического определения чисел единиц переноса, в которых используются коэффициенты, полученные на основе экспериментальных данных о равновесии бинарных смесей. Рассмотрены примеры для четырех бинарных смесей.

Числа единиц переноса (ЧЕП) N являются важной характеристикой массообмена. Они могут использоваться в качестве самостоятельной величины, отражающей движущую силу процесса массопередачи, когда кинетика выражена через высоту единиц переноса [1] или как вспомогательная величина при определении эффективности ступени массообмена [2].

Выражения для определения ЧЕП зависят от принятой модели массообмена, свойств разделяемой смеси и ограничиваются областью исследованного интервала анализируемых параметров [3]. Нередко известные методы расчета ЧЕП для одних и тех же смесей дают сильно разнящиеся результаты, плохо соответствующие опытным данным [4], что вызывает необходимость в разработке новых моделей, справедливых в несколько другом диапазоне свойств или режимных параметров [5].

Числа единиц переноса можно определять аналитическим путем, если для рассматриваемого участка равновесная линия прямая. Такое допущение справедливо для ограниченного участка равновесной линии или для весьма разбавленных растворов. Величины N могут быть также определены численными методами, если известны выражения для равновесных кривых. Иногда ЧЕП находят графическим путем, поскольку аналитическое решение известного уравнения

$$N = \int_{y_H}^{y_K} \frac{\partial y}{y^* - y} \quad (1)$$

(y – концентрация легколетучего компонента в паровой фазе, мол. доля) невозможно из-за отсутствия

подынтегрального выражения. Минимальную трудоемкость и приемлемую точность могут обеспечить только аналитические методы.

Равновесную зависимость содержания легколетучего компонента в паровой и жидкой фазах можно представить в виде уравнения

$$y^* = \frac{Ax + B}{Cx + D}x, \quad (2)$$

где x – концентрация легколетучего компонента в жидкости (мол. доля); коэффициенты A , B , C и D находят опытным путем на основе экспериментальных данных.

Это позволяет обобщить фактический материал и получить равновесные соотношения для большого разнообразия разделяемых смесей. В частности, для некоторых растворов найдены величины коэффициентов уравнения (2), когда содержание легколетучего компонента выражено в мольных долях: вода–фурфурол – $A=0.24$, $B=-2$, $C=1$, $D=0.03$ [6]; толуол–бензол – $A=1.35$, $B=-0.1$, $C=0.58$, $D=0.67$ [7]; уксусная кислота–вода – $A=1$, $B=1.5$, $C=1.8$, $D=0.7$; вода–метанол – $A=3$, $B=8$, $C=10$, $D=1$. Эти значения коэффициентов обеспечивают приемлемую точность во всем интервале концентраций, за исключением смеси вода–фурфурол, для которой величины справедливы в области от нуля до азеотропной точки ($x=4$ мол%).

Из зависимостей (1), (2) и уравнения рабочей линии

$$x = x_K + \frac{V}{L}(y - y_H) \quad (3)$$

получаем

$$N = \int_{y_H}^{y_K} \frac{1}{y^* - y} = \frac{C}{A \frac{V}{L} - C} \ln \left[\frac{y_2 + \frac{\left(C - 2A \frac{L}{V}\right) \left(\frac{V}{L}x_K - y_H\right) + D \frac{V}{L} - B}{C - A \frac{V}{L}} y - \frac{A \frac{V}{L} \left(\frac{L}{V}x_K - y_H\right)^2 + B \left(\frac{L}{V}x_K - y_H\right)}{C - A \frac{V}{L}} \right]_{y_H}^{y_K} +$$

$$+ \frac{1}{A \frac{V}{L} - C} \frac{C^2 \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right) + \frac{D}{2} \left(C \frac{L}{V} - A \right) + \frac{BC - AD}{2}}{\sqrt{\left[C \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right) + B - D \frac{L}{V} \right]^2 + 4D(C - A) \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right)}}$$

$$\times \ln \left| \frac{2y \left(C - A \frac{V}{L} \right) + \left(C - 2A \frac{V}{L} \right) \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right) - B + D \frac{L}{V} + \sqrt{\left[B - D \frac{L}{V} + C \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right) \right]^2 + 4D(C - A) \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right)}}{2y \left(C - A \frac{V}{L} \right) + \left(C - 2A \frac{V}{L} \right) \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right) - B + D \frac{L}{V} + \sqrt{\left[B - D \frac{L}{V} + C \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right) \right]^2 + 4D(C - A) \left(\frac{L}{V} x_k - y_H \right)}} \right|_{y_H}^{y_k}$$

где L , V – мольные расходы соответственно жидкости и пара.

Для исчерпывающей части колонны при малых значениях x_k и y_H можно пренебречь разностью $(x_k L/V - y_H)$.

Тогда выражение (4) упрощается:

$$N = \int_{y_H}^{y_k} \frac{dy}{y^* - y} = \frac{1}{\frac{A}{C} \frac{V}{L} - 1} \ln \left| y - \frac{B - D \frac{L}{V}}{C - A \frac{V}{L}} \right|_{y_H}^{y_k} + \frac{1}{\frac{B}{D} \frac{V}{L} - 1} \ln \left| 1 - \frac{B - D \frac{L}{V}}{y \left(C - A \frac{V}{L} \right)} \right|_{y_H}^{y_k}$$

Формула (4) обеспечивает высокую точность вычислений как для малых, так и для больших концентраций компонентов. Расчеты по упрощенной формуле (5) обеспечивают приемлемую точность только для малых концентраций, причем точность расчетов во многом определяется также отношением мольных расходов жидкости и пара. Верхний предел концентраций компонентов в паровой и жидкой фазах, при которых возможно использование упрощенного выражения, зависит от соотношений составов и мольных расходов пара и жидкости. С приближением разности $(x_k L/V - y_H)$ к нулю диапазон использования зависимости (5) расширяется. При больших концентрациях компонентов эта формула приводит к значительным погрешностям и ее использование в этом случае нецелесообразно.

Выводы

1. Числа единиц переноса для бинарных смесей могут быть вычислены по выведенной формуле при известных аналитических равновесных зависимостях, которые содержат четыре коэффициента, подлежащие определению по экспериментальным данным.

2. Применение упрощенной зависимости для определения N оправдано только для невысоких концентраций легколетучего компонента. Диапазон использования упрощенной зависимости зависит от соотношений составов и мольных расходов паровой и жидкой фаз.

Список литературы

- [1] Кафаров В.В. Основы массопередачи. М.: Высш. шк., 1972. С. 217.
- [2] Chen Guang X., Chung Karl T. // Ind. and Eng. Chem. Res. 1993. V. 32. N 4. P. 701–708.
- [3] Klemona Kimmo T., Ilme Jarno K. // Ind. and Eng. Chem. Res. 1996. V. 35. N 12. P. 4579–4586.
- [4] Chen Guang X., Chung Karl T. // Ind. and Eng. Chem. Res. 1994. V. 33. N 4. P. 907–913.
- [5] Klemona Kimmo T. // Acta politechn. scand. Chem. Technol. Ser. [Acta politechn. scand. Chem. Technol. and Met. Ser.]. 1997. N 250. P. 1–95.
- [6] Павлечко В.Н. // Гидролиз. и лесохим. про-сть. 1987. № 8. С. 2–3.
- [7] Павлечко В.Н. // Инж.-физ. журн. 2003. Т. 76. № 2. С. 111–115.