

В. Н. Павлечко, доцент; И. М. Плехов, профессор

ЧИСЛА ЕДИНИЦ ПЕРЕНОСА В ИЗВЕСТНЫХ МОДЕЛЯХ ПРИ ПРЯМОТОКЕ И ПЕРЕМЕШИВАНИИ ЖИДКОСТИ

The effect of liquid mixing on the average logarithmic and arithmetic the numbers of transfer units at countercurrent in the existing models is studied. The extreme cases when the liquid on a plate is completely mixed and is moved in the ideal superseding mode are considered. The relations between the average arithmetic forces and the number of transfer units at total liquid mixing and without it are found.

В работе [1] приведены выражения средних логарифмических и арифметических движущих сил для первого, второго и третьего вариантов массообмена [2] при прямоточном движении паровой и жидкой фаз и перемешивании жидкости, которое оценивается величиной φ полностью перемешанной ее части, находящейся на тарелке. Подставив величины средних движущих сил из [1] в известные выражения

$$N_{n,x} = \frac{x_n - x_{n-1}}{\Delta x_{cp}}; \quad (1)$$

$$N_{n,y} = \frac{y_n - y_{n-1}}{\Delta y_{cp}}; \quad (2)$$

получим соответствующие числа единиц переноса при допущении линейности рабочей прямой и текущего участка равновесной линии:

• средние логарифмические:

$$N_{n,x,\varphi,l1} = \frac{\ln \frac{1 + (1-\varphi) \frac{mV}{L} E_{n1}}{1 - E_{n1}}}{\frac{L}{mV} + 1 - \varphi}; \quad (3)$$

$$N_{n,y,\varphi,l1} = \frac{\ln \frac{1 + (1-\varphi) \frac{mV}{L} E_{n1}}{1 - E_{n1}}}{1 + (1-\varphi) \frac{mV}{L}}; \quad (4)$$

$$N_{n,x,\varphi,l2} = \frac{\ln \frac{\frac{L}{mV} E_{n2} + 1 - \varphi E_{n2}}{1 - E_{n2}}}{\frac{L}{mV} + 1 - \varphi}; \quad (5)$$

$$N_{n,y,\varphi,l2} = \frac{\ln \frac{\frac{L}{mV} E_{n2} + 1 - \varphi E_{n2}}{1 - E_{n2}}}{1 + (1-\varphi) \frac{mV}{L}}; \quad (6)$$

$$N_{n,x,\varphi,l3} = \frac{\ln \frac{\frac{L}{mV} + 1 - \varphi E_{n3}}{\left(\frac{L}{mV} + 1\right)(1 - E_{n3})}}{\frac{L}{mV} + 1 - \varphi}; \quad (7)$$

$$N_{n,y,\varphi,l3} = \frac{\ln \frac{\frac{L}{mV} + 1 - \varphi E_{n3}}{\left(\frac{L}{mV} + 1\right)(1 - E_{n3})}}{1 + (1-\varphi) \frac{mV}{L}}; \quad (8)$$

• средние арифметические:

$$N_{n,x,\varphi,a1} = \frac{1}{\frac{L}{mV} \left(\frac{1}{E_{n1}} - \frac{1}{2}\right) + \frac{1-\varphi}{2}}; \quad (9)$$

$$N_{n,y,\varphi,a1} = \frac{1}{\frac{1}{E_{n1}} - \frac{1}{2} + \frac{1-\varphi}{2} \frac{mV}{L}}; \quad (10)$$

$$N_{n,x,\varphi,a2} = \frac{1}{\frac{1}{E_{n2}} - \frac{1+\varphi}{2} + \frac{L}{2mV}}; \quad (11)$$

$$N_{n,y,\varphi,a2} = \frac{1}{\frac{mV}{L} \left(\frac{1}{E_{n2}} - \frac{1+\varphi}{2}\right) + \frac{1}{2}}; \quad (12)$$

$$N_{n,x,\varphi,a3} = \frac{1}{\left(\frac{L}{mV} + 1\right) \left(\frac{1}{E_{n3}} - \frac{1}{2}\right) - \frac{\varphi}{2}}; \quad (13)$$

$$N_{n,y,\varphi,a3} = \frac{1}{\left(1 + \frac{mV}{L}\right) \left(\frac{1}{E_{n3}} - \frac{1}{2}\right) - \frac{\varphi}{2} \frac{mV}{L}}; \quad (14)$$

Предельные значения чисел единиц переноса в зависимости от перемешивания жидкости приведены в табл. 1.

Предельные значения чисел единиц переноса при прямотоке

Величина	Полное перемешивание жидкости	Перемешивание отсутствует
Первый вариант		
$N_{n,x,1}$	$\frac{mV}{L} \ln \frac{1}{1-E_{n1}}$	$\frac{\ln \frac{1 + \frac{mV}{L} E_{n1}}{1-E_{n1}}}{\frac{L}{mV} + 1}$
$N_{n,y,1}$	$\ln \frac{1}{1-E_{n1}}$	$\frac{\ln \frac{1 + \frac{mV}{L} E_{n1}}{1-E_{n1}}}{1 + \frac{mV}{L}}$
$N_{n,x,a1}$	$\frac{1}{\frac{L}{mV} \left(\frac{1}{E_{n1}} - \frac{1}{2} \right)}$	$\frac{1}{\frac{L}{mV} \left(\frac{1}{E_{n1}} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2}}$
$N_{n,y,a1}$	$\frac{1}{\frac{1}{E_{n1}} - \frac{1}{2}}$	$\frac{1}{\frac{1}{E_{n1}} - \frac{1}{2} + \frac{mV}{2L}}$
Второй вариант		
$N_{n,x,n2}$	$\frac{mV}{L} \ln \frac{\frac{L}{mV} E_{n2} + 1 - E_{n2}}{1 - E_{n2}}$	$\frac{\ln \frac{\frac{L}{mV} E_{n2} + 1}{1 - E_{n2}}}{\frac{L}{mV} + 1}$
$N_{n,y,n2}$	$\ln \frac{\frac{L}{mV} E_{n2} + 1 - E_{n2}}{1 - E_{n2}}$	$\frac{\ln \frac{\frac{L}{mV} E_{n2} + 1}{1 - E_{n2}}}{1 + \frac{mV}{L}}$
$N_{n,x,a2}$	$\frac{1}{\frac{1}{E_{n2}} - 1 + \frac{L}{2mV}}$	$\frac{1}{\frac{1}{E_{n2}} - \frac{1}{2} + \frac{L}{2mV}}$
$N_{n,y,a2}$	$\frac{1}{\frac{mV}{L} \left(\frac{1}{E_{n2}} - 1 \right) + \frac{1}{2}}$	$\frac{1}{\frac{mV}{L} \left(\frac{1}{E_{n2}} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2}}$
Третий вариант		
$N_{n,x,n3}$	$\frac{mV}{L} \ln \frac{\frac{L}{mV} + 1 - E_{n3}}{\left(\frac{L}{mV} + 1 \right) (1 - E_{n3})}$	$\frac{\ln \frac{1}{1 - E_{n3}}}{\frac{L}{mV} + 1}$
$N_{n,y,n3}$	$\ln \frac{\frac{L}{mV} + 1 - E_{n3}}{\left(\frac{L}{mV} + 1 \right) (1 - E_{n3})}$	$\frac{\ln \frac{1}{1 - E_{n3}}}{1 + \frac{mV}{L}}$
$N_{n,x,a3}$	$\frac{1}{\left(\frac{L}{mV} + 1 \right) \left(\frac{1}{E_{n3}} - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2}}$	$\frac{1}{\left(\frac{L}{mV} + 1 \right) \left(\frac{1}{E_{n3}} - \frac{1}{2} \right)}$
$N_{n,y,a3}$	$\frac{1}{\left(1 + \frac{mV}{L} \right) \left(\frac{1}{E_{n3}} - \frac{1}{2} \right) - \frac{mV}{2L}}$	$\frac{1}{\left(1 + \frac{mV}{L} \right) \left(\frac{1}{E_{n3}} - \frac{1}{2} \right)}$

Средние логарифмические числа единиц переноса по паровой фазе без перемешивания жидкости в табл. 1 аналогичны данным табл. 3 [3], что подтверждает справедливость приведенных выкладок.

Совместным решением выражений эффективностей для первого – третьего вариантов массообмена из [1], соответствующих зависимостей (9), (11), (13) и чисел единиц переноса при отсутствии перемешивания жидкости из табл. 1 находим

$$N_{n,x,\varphi,a1} = \frac{N_{n,x,a1}}{1 - \frac{\varphi}{2} N_{n,x,a1}}; \quad (15)$$

$$N_{n,x,\varphi,a2} = \frac{N_{n,x,a2}}{1 - \frac{\varphi}{2} N_{n,x,a2}}; \quad (16)$$

$$N_{n,x,\varphi,a3} = \frac{N_{n,x,a3}}{1 - \frac{\varphi}{2} N_{n,x,a3}} \quad (17)$$

или в обобщенном виде

$$N_{n,x,\varphi,a} = \frac{N_{n,x,a}}{1 - \frac{\varphi}{2} N_{n,x,a}} \quad (18)$$

Аналогичным образом выводится соотношение чисел единиц переноса в паровой фазе

$$N_{n,y,\varphi,a} = \frac{N_{n,y,a}}{1 - \frac{\varphi}{2} \frac{mV}{L} N_{n,y,a}} \quad (19)$$

Из (15)–(19) следует, что перемешивание жидкости на тарелке в одинаковой мере влияет на числа единиц переноса, независимо от вариантов массообмена.

При полном перемешивании жидкости формулы (18) и (19) принимают соответственно вид:

$$N_{n,x,m,a} = \frac{N_{n,x,a}}{1 - 0,5 N_{n,x,a}}; \quad (20)$$

$$N_{n,y,m,a} = \frac{N_{n,y,a}}{1 - \frac{mV}{2L} N_{n,y,a}} \quad (21)$$

Подставим выражения эффективности из [1] в соответствующие зависимости (3)–(14)

$$N_{n,x,\varphi,l1} = N_{n,x,\varphi,l2} = N_{n,x,\varphi,l3} =$$

$$\ln \frac{m x_n - y_{n-1} - \varphi m (x_n - x_{n-1})}{m x_{n-1} - y_n}; \quad (22)$$

$$= \frac{L}{mV} + 1 - \varphi$$

$$N_{n,y,\varphi,l1} = N_{n,y,\varphi,l2} = N_{n,y,\varphi,l3} =$$

$$\ln \frac{m x_n - y_{n-1} - \varphi m (x_n - x_{n-1})}{m x_{n-1} - y_n}; \quad (23)$$

$$= \frac{1 + (1 - \varphi) \frac{mV}{L}}{L}$$

$$N_{n,x,\varphi,a1} = N_{n,x,\varphi,a2} = N_{n,x,\varphi,a3} =$$

$$= \frac{2(x_n - x_{n-1})}{x_n - \frac{y_{n-1}}{m} + x_{n-1} - \frac{y_n}{m} - \varphi(x_n - x_{n-1})}; \quad (24)$$

$$N_{n,y,\varphi,a1} = N_{n,y,\varphi,a2} = N_{n,y,\varphi,a3} =$$

$$= \frac{2(y_n - y_{n-1})}{m x_n - y_{n-1} + m x_{n-1} - y_n - \varphi m (x_n - x_{n-1})} \quad (25)$$

Уравнения (22)–(25) указывают на то, что числа единиц переноса при перемешивании жидкости на тарелке не зависят от моделей массообмена, что подтверждается результатами работ [4, 5], доказывающими равенство N без перемешивания жидкости. Следовательно, числа единиц переноса являются более универсальными характеристиками процесса массопередачи по сравнению с эффективностями, которые в каждой из рассматриваемых моделей имеют разные значения. Однако перемешивание жидкости на ступени контакта, не влияющее при прямотоке на E , заметно сказывается на N .

Граничные числа единиц переноса, полученные из (22)–(25) в зависимости от перемешивания жидкости на тарелке, приведены в табл. 2.

Таким образом, в трех рассмотренных моделях числа единиц переноса имеют разные зависимости, если они выражены через эффективность массообмена, и совпадают во всех рассмотренных моделях, если в них отсутствует E . Следовательно, N не зависят от моделей массообмена, хотя эффективности в них существенно разнятся. Проведенный анализ показывает также значительное влияние перемешивания на числа единиц переноса. Однако это влияние одинаково во всех рассмотренных моделях.

Граничные числа единиц переноса

Величина	Полное перемешивание жидкости	Перемешивание отсутствует
$N_{п,х,л}$	$\frac{mV}{L} \ln \frac{mx_{n-1} - y_{n-1}}{mx_{n-1} - y_n}$	$\frac{\ln \frac{mx_n - y_{n-1}}{mx_{n-1} - y_n}}{\frac{L}{mV} + 1}$
$N_{п,у,л}$	$\ln \frac{mx_{n-1} - y_{n-1}}{mx_{n-1} - y_n}$	$\frac{\ln \frac{mx_n - y_{n-1}}{mx_{n-1} - y_n}}{1 + \frac{mV}{L}}$
$N_{п,х,в}$	$\frac{2(x_n - x_{n-1})}{2x_{n-1} - \frac{y_n}{m} - \frac{y_{n-1}}{m}}$	$\frac{2(x_n - x_{n-1})}{x_n - \frac{y_{n-1}}{m} + x_{n-1} - \frac{y_n}{m}}$
$N_{п,у,в}$	$\frac{2(y_n - y_{n-1})}{2mx_{n-1} - y_n - y_{n-1}}$	$\frac{2(y_n - y_{n-1})}{mx_n - y_{n-1} + mx_{n-1} - y_n}$

Обозначения

Δ – разность концентраций; E – эффективность массообмена; L – молярный поток жидкости; m – коэффициент фазового равновесия; V – молярный поток пара; x, y – соответственно концентрация легколетучего компонента в жидкости и паровой фазе; ϕ – часть полностью перемешанной жидкости; степень перемешивания жидкости. Индексы: а – среднеарифметическое значение; ф – учет перемешивания жидкости; л – среднее логарифмическое значение; л – номер рассматриваемой тарелки; $n - 1$ – номер предыдущей тарелки по ходу движения пара; п – прямоток; пп – полное перемешивание жидкости; ср – среднее значение; х – жидкая фаза; у – паровая фаза; 1–3 – варианты массообмена.

Литература

1. Павлечко В. Н., Плехов И. М. Движущие силы в известных моделях при прямотоке и

перемешивании жидкости // Труды БГТУ. Сер. химии и технологии неорганич. в-в. – 2004. Вып. XII. – С. 137–142.

2. Павлечко В. Н. Исследование некоторых моделей эффективности ректификационных тарелок при прямоточном движении фаз // Труды БГТУ. Сер. химии и хим. технологии. 1998. – Вып. VI. – С. 131–138.

3. Павлечко В. Н., Плехов И. М., Гуляев В. Н. О взаимосвязи кинетических показателей процесса ректификации и движущих сил // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 5. – С. 171–176.

4. Павлечко В. Н. Числа единиц переноса в некоторых моделях массообмена // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы МНТК, Минск, 26–28 нояб. 2003 г. – Мн, 2003. – С. 459–461.

5. Павлечко В. Н. Взаимосвязь движущих сил в некоторых моделях и формах организации потоков // ИФЖ. – 2004. – Т. 77, № 6. – С. 90–96.