

УДК 66.048.3.069.835

В. Н. Павлечко, доцент (БГТУ)

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАССООБМЕНА ОТ ЧИСЛА ЕДИНИЦ ПЕРЕНОСА В КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПРЯМОТОЧНОМ ДВИЖЕНИИ ФАЗ

При использовании комплексной модели эффективность массообмена не выходит из диапазона реальных значений при любых рассмотренных величинах и соотношениях параметров. При перемешивании жидкости эффективность снижается из-за уменьшения движущей силы. Эффективность массообмена возрастает с увеличением числа единиц переноса, коэффициента фазового равновесия и со снижением отношения расходов жидкости и пара. Различие эффективностей при полном перемешивании жидкости и без него снижается при увеличении коэффициента фазового равновесия и отношения расходов жидкости и пара.

The efficiency of mass exchange in the complex model remains within the range of real values for all considered quantities and their ratios. Mixing of liquid results in lower efficiency due to decrease in the moving force. The efficiency rises with lowering of a number of transfer units, increasing of a ratio of flow rates of liquid and vapor, and increasing of a phase equilibrium coefficient. The difference between the efficiencies at perfect mixing of liquid and without it decreases with increasing of a phase equilibrium coefficient and a ratio of flow rates of liquid and vapor.

Введение. Эффективность массообмена позволяет оценить степень приближения реального процесса массообмена к идеальному, а также степень совершенства используемого технологического оборудования. Из всего многообразия аппаратного оформления процессов массообмена можно выбрать наиболее оптимальную конструкцию для осуществления контакта взаимодействующих потоков.

Эффективность массообмена можно рассчитывать различными способами. Наиболее широко используются определения эффективности по Мерфри [1] и Хаузену [2], которые предполагают полное перемешивание жидкости на массообменных тарелках. При их применении возможно получение значений, превышающих единицу.

Для оценки эффективности массообмена действующего оборудования по Мерфри или Хаузену необходимо иметь экспериментальные данные по составам потоков до и после ступени контакта. Помимо указанных факторов, эффективность массообмена зависит также от направления движения потоков на ступени контакта и степени перемешивания потоков, которые в известных определениях не учитываются. При проектировании нового оборудования, когда концентрации взаимодействующих фаз на отдельных ступенях неизвестны, эффективность массообмена может быть вычислена по конструктивным и режимным параметрам с учетом теплофизических свойств взаимодействующих веществ. Одним из методов расчетного определения эффективности является ее вычисление через число единиц переноса.

Основная часть. Для снижения негативно влияния недостатков известных моделей предложена комплексная модель эффективности массообмена, которая включает известные

модели в качестве граничных случаев. В работе [3, 4] эффективность массообмена в комплексной модели для прямоточного движения потоков определяется формулой

$$E_{n,\varphi} = \frac{\exp\left(N_{n,y,\varphi}\left(1 + \frac{mV}{L}(1-\varphi)\right)\right) - 1}{\exp\left(N_{n,y,\varphi}\left(1 + \frac{mV}{L}(1-\varphi)\right)\right) + \frac{1}{m} - \varphi \frac{m+1}{\frac{L}{V} + m}} \quad (1)$$

При полном перемешивании жидкости направление движения взаимодействующих фаз не сказывается на величине эффективности, и она может быть определена по упрощенной зависимости

$$E_{n,m} = \frac{\exp N_{n,y,m} - 1}{\frac{L}{V} - m + \frac{mV}{\frac{L}{V} + m}} \quad (2)$$

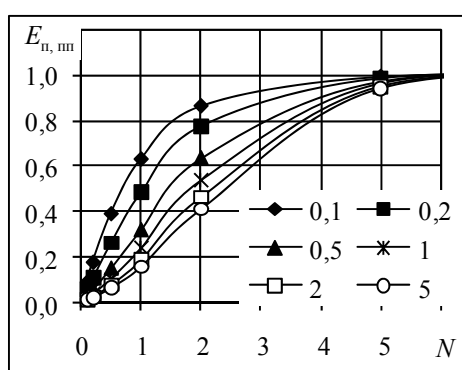
Для идеального вытеснения жидкости предложено следующее выражение по расчету эффективности:

$$E_n = \frac{\exp\left(N_{n,y}\left(1 + \frac{mV}{L}\right)\right) - 1}{\exp\left(N_{n,y}\left(1 + \frac{mV}{L}\right)\right) + \frac{1}{m}} \quad (3)$$

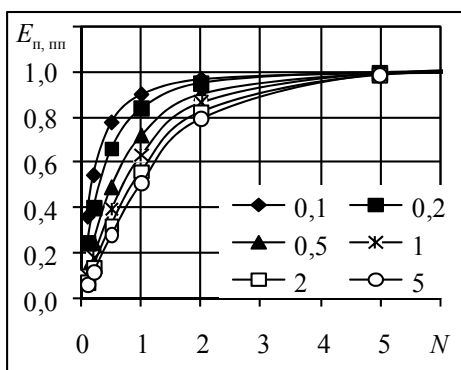
В настоящей работе проводится анализ влияния числа единиц переноса на эффективность массообмена при различных отношениях L/mV и коэффициентах фазового равновесия для случаев полного перемешивания жидкости и ее идеального вытеснения, а также взаимо-

связи эффективностей для указанных предельных случаев движения жидкой фазы.

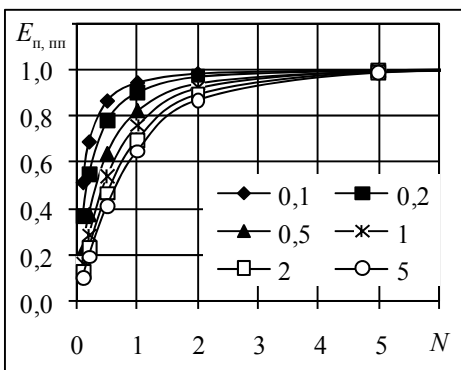
Зависимость эффективности от числа единиц переноса при полном перемешивании жидкости в соответствии с формулой (2) приведена на рис. 1. Эффективность повышается при возрастании N , не выходя за пределы диапазона реальных значений, и при убывании отношения L/mV . При малых коэффициентах фазового равновесия и больших L/mV эффективность увеличивается медленно (рис. 1, *a*) и значительно возрастает при снижении этого отношения. Например, для $L/mV = 5$ она приближается к величине 0,8 только при $N = 4$, а для $L/mV = 0,1$ – уже при $N = 1,5$.



a



б

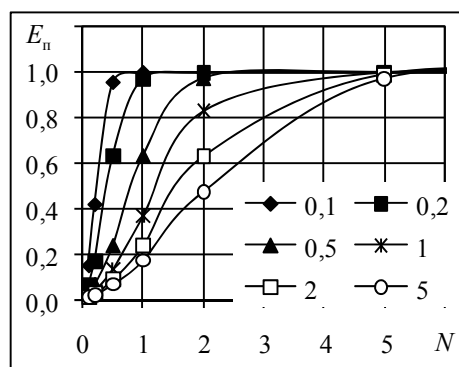


в

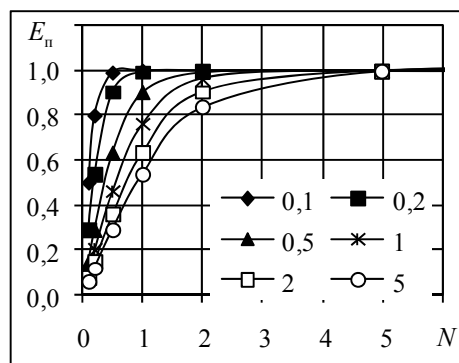
Рис. 1. Зависимость эффективности массообмена от числа единиц переноса при полном перемешивании жидкости для различных L/mV : *a* – $m = 0,1$; *б* – $m = 1$; *в* – $m = 10$

С увеличением коэффициента фазового равновесия m эффективность повышается более энергично (рис. 1, *б*, *в*), и соответствующие ее значения достигаются при меньших числах единиц переноса.

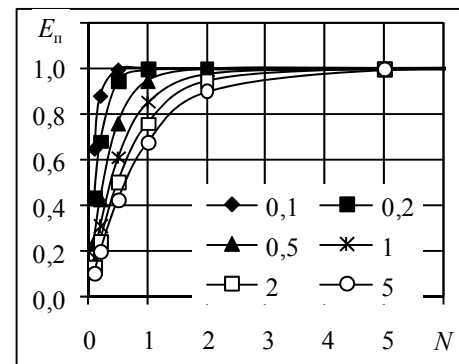
Подобная зависимость эффективности от рассматриваемых параметров с учетом выражения (3) наблюдается при идеальном вытеснении жидкости (рис. 2) с той лишь разницей, что интенсивность увеличения эффективности без перемешивания жидкости больше, особенно при малых отношениях расходов жидкой и паровой фаз и больших коэффициентах фазового равновесия.



a



б



в

Рис. 2. Зависимость эффективности массообмена от числа единиц переноса без перемешивания жидкости для различных L/mV : *a* – $m = 0,1$; *б* – $m = 1$; *в* – $m = 10$

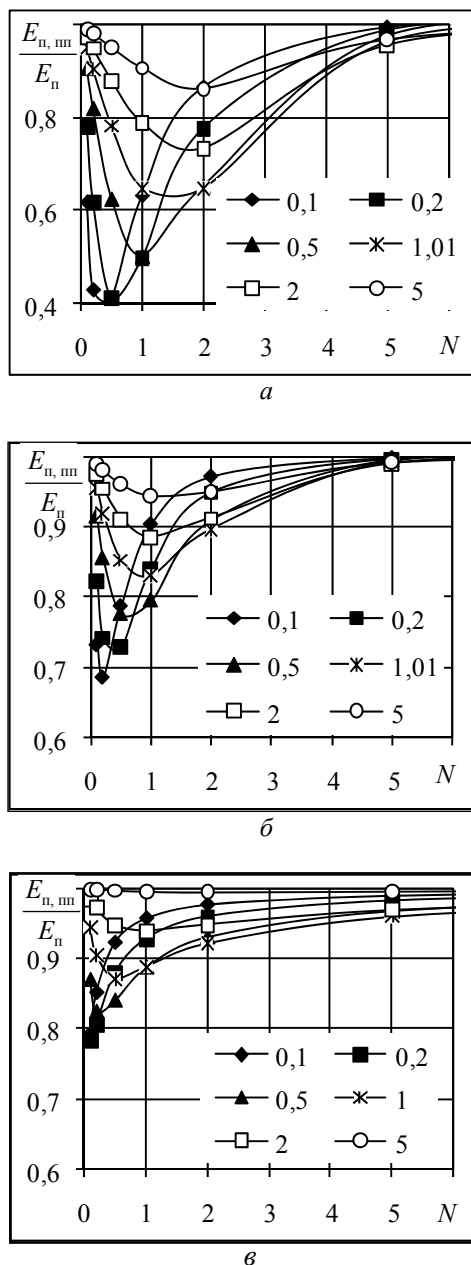


Рис. 3. Отношение эффективности при перемешивании жидкости и без перемешивания от числа единиц переноса для прямотока при различных L/mV :
 $a - m = 0,1$; $б - m = 1$; $в - m = 10$

Сравнение рис. 1 и 2 наглядно показывает снижение эффективности массообмена при перемешивании жидкости, особенно при малых величинах L/mV , что обусловлено уменьшением движущей силы процесса. Однако при больших отношениях L/mV различие эффективностей минимальное.

Отношение эффективностей при полном перемешивании жидкости и без него, полученное при делении формулы (2) на (3), приведено на рис. 3.

С возрастанием L/mV это отношение снижается. Наибольшее отклонение значений эффективностей наблюдается при меньших значениях чисел единиц переноса и коэффициента фазового равновесия, что имеет место при малых отношениях мольных расходов жидкости и пара. Эффективности сближаются, особенно при больших расходах жидкости, с увеличением коэффициента фазового равновесия. Таким образом, перемешивание жидкости на ступени контакта при прочих равных условиях значительно снижает движущую силу и в целом эффективность массообмена. Причем это влияние менее существенное по сравнению с перемешиванием жидкости в известных моделях, особенно при малых отношениях L/mV .

Отношение эффективностей при увеличении N первоначально снижается до некоторой минимальной величины и далее повышается. При этом минимальное отношение эффективностей повышается по мере роста L/mV и m , сдвигаясь в сторону увеличения N .

Заключение. При использовании комплексной модели величины эффективности массообмена не выходят из диапазона реальных значений при любых рассмотренных величинах и соотношениях параметров. Эффективность повышается при возрастании N и снижении отношения L/mV , а также при уменьшении интенсивности перемешивания жидкости.

Обозначения. E – эффективность тарелки; N – число единиц переноса; m – коэффициент фазового равновесия; L, V – молярные потоки жидкости и пара соответственно; ϕ – интенсивность перемешивания жидкости. Индексы: p – прямоток; y – паровая фаза; ϕ – учет перемешивания жидкости; pp – полное перемешивание жидкости.

Литература

1. Murphree, E. V. Rectifying column calculation with particular reference to n -component mixtures / E. V. Murphree // Ind. Eng. Chem. – 1925. – Vol. 17, № 7. – P. 747–750.
2. Hausen, H. Zur Definition des Austauschgrades von Rektifizierböden bei Zwei- und Dreistoff-Gemischen / H. Hausen // Chem. Ing. Tech. – 1953. – Bd. 25, № 10. – S. 595–597.
3. Павлечко, В. Н. Движущие силы в комплексной модели при прямотоке и перемешивании жидкости / В. Н. Павлечко // ИФЖ. – 2005. – Т. 78, № 2. – С. 125–130.
4. Павлечко, В. Н. Движущие силы при полном перемешивании жидкости на ступени контакта / В. Н. Павлечко // ИФЖ. – 2005. – Т. 78, № 2. – С. 118–124.

Поступила 31.03.2010