

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 66.048.3.069.835

В. Н. Павлечко, доцент (БГТУ); В. Н. Гуляев, доцент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАССОБМЕНА В ИЗВЕСТНЫХ МОДЕЛЯХ

Проведен анализ влияния числа единиц переноса и отношения мольных потоков газа (пара) и жидкости на эффективность массообмена для прямоточного, противоточного и перекрестного движения взаимодействующих потоков жидкости и газа (пара) без перемешивания фаз и при их полном перемешивании. Отмечена нелогичность описания зависимости эффективности массообмена от числа единиц переноса для прямотока и противотока одной и той же формулой при отсутствии перемешивания потоков. Установлена ограниченность модели, использованной при выводе отмеченной зависимости без перемешивания жидкости и газа (пара). Рассмотрены особенности изменения отношения эффективностей при перемешивании потоков и без него. Выявлено небольшое различие отношения эффективностей при перемешивании потоков и без него в зависимости от направления движения потоков.

The effect of a number of transfer units and a ratio of molar flows of gas (vapor) and liquid on the efficiency of mass exchange for concurrent, countercurrent and crosscurrent movement of interacting flows of liquid and gas (vapor) with perfect mixing and without it was analyzed. It was demonstrated that the dependence of the efficiency on a number of transfer units without mixing of flows should not be described by the same equation for concurrent and countercurrent. The limitations of the model used to derive this dependence were determined. The changes in the ratio of the efficiencies when going from perfect mixing to no mixing were considered in detail. The ratio of the efficiencies was found to be slightly dependent on direction of the flows.

Введение. Эффективность массообмена в различных моделях определяется по-разному. Наибольшее применение получило определение эффективности по Мерффи [1]. При этом эффективность по паровой и жидкой фазам в общем случае может различаться. Некоторые исследователи предпочитают определять эффективность массообмена по Хаузену [2], которая в паровой и жидкой фазе имеет одинаковую величину.

В определениях эффективности по Мерффи и Хаузену предполагается полное перемешивание жидкости на ступени контакта, при котором взаимное направление взаимодействующих газовой (паровой) и жидкой фаз не имеет существенного значения. Однако на практике наблюдается частичное перемешивание жидкости, для учета которого или для режима полного ее вытеснения предложены диффузионная, секционная (ячеечная) и другие модели [3].

Модель Мерффи неоднозначна, т. е. допускает различные значения эффективности по газовой (паровой) и жидкой фазам. Кроме того, эффективность в известных моделях может выходить из диапазона реальных значений.

Основная часть. При отсутствии рециркуляции жидкости эффективность в газовой (па-

ровой) фазе связана с соответствующим числом единиц переноса выражениями [4]:

при прямотоке и противотоке

$$A_{i, g} = \frac{1}{1 - \frac{mV}{L}} \left(1 - \exp \left(- \left(1 - \frac{mV}{L} \right) N \right) \right), \quad (1)$$

при перекрестном токе

$$E_k = \frac{L}{mV} \left(\exp \left(\frac{mV}{L} (1 - \exp(-N)) \right) - 1 \right). \quad (2)$$

Аналогичные зависимости эффективности от числа единиц переноса выведены для случаев полного перемешивания потоков жидкости:

$$E_x = 1 - \exp(-N); \quad (3)$$

газа (пара):

$$E_y = \frac{\exp \left(- \frac{mV}{L} N \right) - 1}{\left(1 - \frac{mV}{L} \right) \exp \left(- \frac{mV}{L} N \right) - 1}; \quad (4)$$

жидкости и газа (пара):

$$E_{x,y} = \frac{N}{N+1} \quad (5)$$

В формулах (1)–(5) числа единиц переноса представлены по параметрам газовой (паровой) фазы.

В настоящей работе проводится анализ влияния числа единиц переноса и отношения L/mV на эффективность массообмена. Для большей наглядности выражения (1)–(5) приводятся в графическом виде.

Зависимость эффективности от числа единиц переноса без перемешивания потоков в соответствии с формулами (1) и (2) приведена на рис. 1. При одних и тех же числах единиц переноса эффективность возрастает при снижении отношения L/mV . Причем с повышением этого отношения снижается интенсивность изменения эффективности.

При прямотоке и противотоке (рис. 1, а), а также при перекрестном токе (рис. 1, б) газовой (паровой) и жидкой фаз изменение эффективности массообмена незначительное для малых величин чисел единиц переноса. С увеличением N расхождение эффективностей существенно возрастает в зависимости от отношения L/mV . Отметим, что при некоторых величинах N эффективность выходит из реального диапазона значений и может превысить единицу, что указывает на недостаток модели, использованной при выводе зависимостей (1) и (2). В частности, реальные значения эффективности для $L/mV < 1$ возможны только при $N < 1$. С возрастанием отношения L/mV диапазон чисел единиц переноса, при котором возможны реальные эффективности, возрастает. Для $L/mV = 10$ эффективность массообмена не выходит за пределы реальных значений при $N < 3$. Поскольку в действительности отношение L/mV наиболее часто изменяется в пределах 0,5–5,0, то вероятность получения эффективностей, превышающих единицу, остается высокой.

При прямоточном и противоточном движении потоков условия массообмена и движущие силы различны, поэтому нелогично использование одной и той же формулы (1), характеризующей зависимость эффективности массообмена от числа единиц переноса для отмеченных форм организации потоков, что также указывает на ограниченность модели массообмена, примененной при выводе указанной зависимости. Выражение зависимости эффективности массообмена от числа единиц переноса формулой (1) для прямоточного и противоточного движения фаз можно использовать при условии полного перемешивания потоков, когда на-

правление движения фаз не принципиально, но при идеальном их вытеснении для этих целей формулы должны различаться.

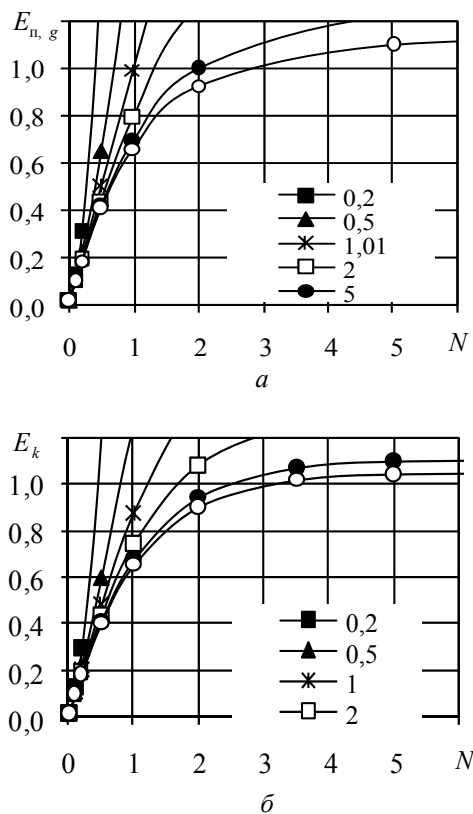


Рис. 1. Зависимость эффективности массообмена от числа единиц переноса без перемешивания потоков при различных отношениях L/mV : а – прямоток и противоток; б – перекрестный ток

Зависимость эффективности от числа единиц переноса в соответствии с формулами (3)–(5) изображена на рис. 2. При полном перемешивании одной или обеих фаз эффективность массообмена не выходит из рамок реального диапазона. Причем эффективность не зависит от отношения L/mV при перемешивании жидкости и обоих потоков (рис. 2, а, в), а при перемешивании газа (пара) снижается при возрастании этого отношения.

При увеличении N и полном перемешивании обоих потоков эффективность медленно нарастает (рис. 2, в) и достигает значения, например, 0,8 только при $N = 4$. При полном перемешивании жидкости эффективность нарастает более энергично и достигает указанной величины уже при $N = 1,7$ (рис. 2, а). Во время перемешивания газа (пара) (рис. 2, б) интенсивность повышения эффективности определяется отношением L/mV . При минимальном из рассмотренных значений этого отношения (0,2) она достигает указанной величины, если $N = 0,6$, а при максимальном (10), если $N = 3,3$ (рис. 2, в).

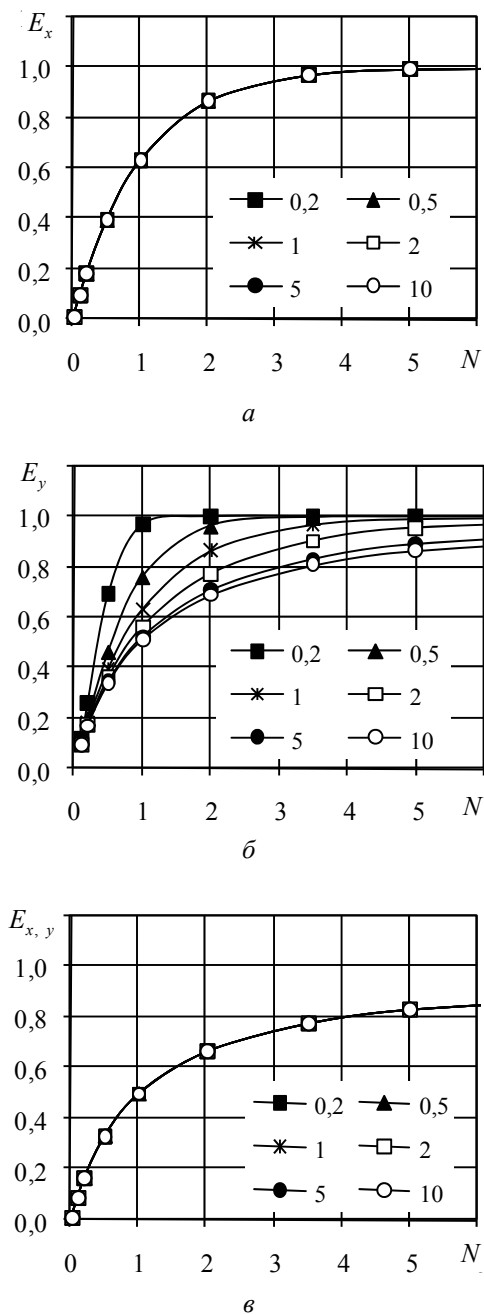


Рис. 2. Зависимость эффективности массообмена от числа единиц переноса при различных отношениях L/mV и полном перемешивании потоков: a – жидкости; b – газа (пара); c – газа (пара) и жидкости

На рис. 3 приведена зависимость отношения эффективностей при полном перемешивании потоков к аналогичной величине при отсутствии их перемешивания. Эти зависимости получены при делении выражений (3)–(5) на (1).

При одних и тех же N отношение эффективностей может изменяться в широком диапазоне: от величин, близких к единице при $L/mV = 10$, до нуля при $L/mV = 0,2$. В последнем случае сказываются большие вели-

ны эффективности при отсутствии перемешивания потоков.

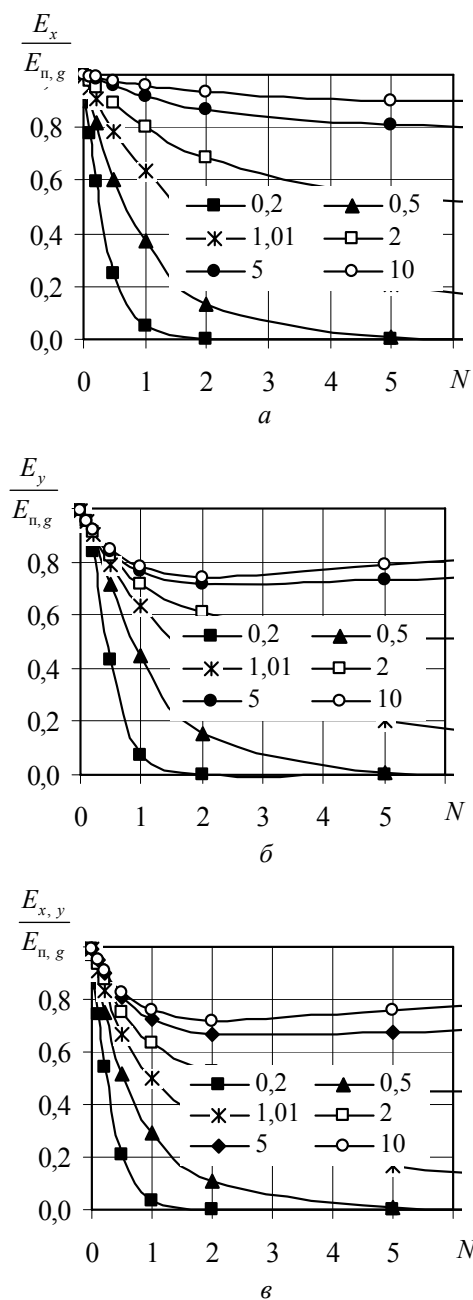


Рис. 3. Зависимость отношения эффективностей при перемешивании потоков и без перемешивания от числа единиц переноса для прямотока и противотока с учетом различных отношений L/mV : a – перемешивание жидкости; b – перемешивание газа (пара); c – перемешивание жидкости и газа (пара)

При перемешивании жидкости (рис. 3, a) с возрастанием N отношение эффективностей снижается плавно для больших значений L/mV , а для малых – сначала энергично при $N < 2$ и далее медленно. При перемешивании газа (пара) отношение эффективностей первоначально

снижается для больших значений L / mV при $N < 2$, достигает минимума и далее медленно возрастает. Для значений $L / mV < 2$ отношение эффективностей при возрастании N непрерывно снижается.

При больших значениях L / mV эффективность в большей степени зависит от перемешивания газа (пара) по сравнению с перемешиванием жидкости, а при $L / mV < 1$ влияние перемешивания потоков практически одинаковое.

Сравнение рис. 3, б и в показывает, что на них наблюдается схожее изменение отношения эффективностей. Различие заключается в том, что на рис. 3, в это отношение несколько меньше. Изменение отношения эффективностей при перемешивании потоков и без него для перекрестного тока, полученное при делении выражений (3)–(5) на (2) и приведенное на рис. 4, аналогично рассмотренному изменению соответствующих величин при прямотоке и противотоке. В то же время следует подчеркнуть, что при перекрестном токе отношение эффективностей при прочих равных параметрах больше, чем при прямотоке и противотоке. Это указывает на меньшее влияние перемешивания потоков на эффективность массообмена в первом случае по сравнению со вторым, что, вероятно, обусловлено некоторым осреднением состава жидкости на ступени контакта.

Сравнение данных рис. 3 и 4 показывает, что отношение эффективностей при перекрестном токе больше, чем при прямотоке или противотоке, что указывает на меньшее влияние перемешивания потоков на эффективность массообмена. Это связано с тем, что при перекрестном токе концентрация газа (пара) после ступени контакта принимается в зависимости от некоторого осредненного состава жидкости, т. е. принимается некоторое частичное перемешивание жидкости.

Сравнение отношения эффективностей массообмена при прямотоке в известных моделях и комплексной модели показывает большее влияние перемешивания жидкости в первом случае. Более существенное различие отношений эффективностей при полном перемешивании жидкости и без него наблюдается для малых отношений L / mV .

Заключение. Использование формулы (1), описывающей эффективность массообмена от числа единиц переноса для прямотока и противотока, нелогично, т. к. эффективность и движущие силы для указанных форм организации потоков различны. Значение эффективности массообмена, выраженной через число единиц

переноса при идеальном вытеснении потоков, может выходить из диапазона реальных значений для всех рассмотренных направлений потоков, что указывает на ограниченность модели массообмена, примененной при выводе выражений (1) и (2).

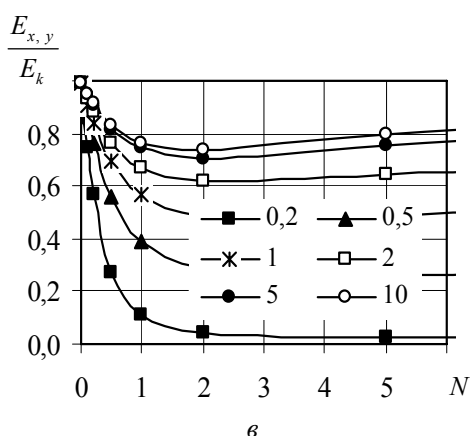
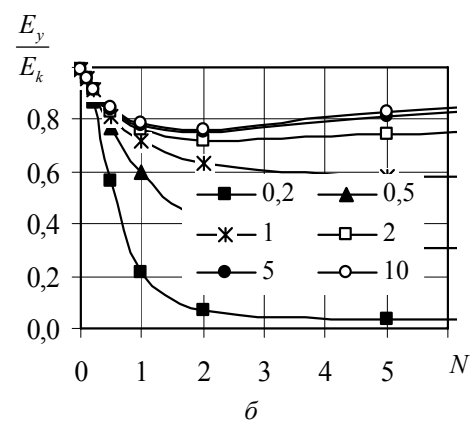
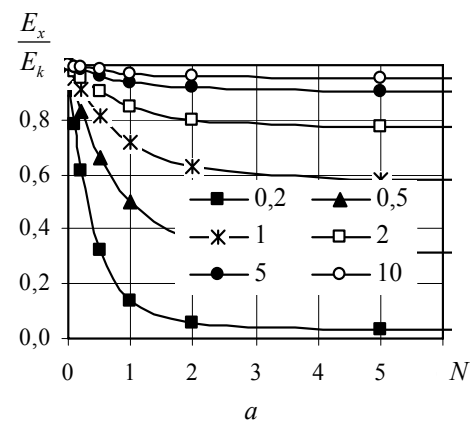


Рис. 4. Зависимость отношения эффективностей при перемешивании потоков и без перемешивания от числа единиц переноса для перекрестного тока при различных отношениях L / mV :
 а – перемешивание жидкости;
 б – перемешивание газа (пара);
 в – перемешивание жидкости и газа (пара)

Перемешивание потоков газовой (паровой) и жидкой фаз оказывает существенное влияние на эффективность массообмена для всех рассмотренных форм организации потоков газовой (паровой) и жидкой фаз.

Обозначения. E – эффективность массообмена; L, V – молярные потоки жидкости и пара соответственно; m – коэффициент фазового равновесия; N – число единиц переноса. Индексы: p – прямоток; g – противоток; k – перекрестный ток; x – перемешивание жидкости; y – перемешивание газа (пара); x, y – перемешивание жидкости и газа (пара).

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. Кафаров, В. В. Основы массопередачи / В. В. Кафаров. – М.: Высш. шк., 1972. – С. 273–289.
4. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – С. 172–180.

Поступила 31.03.2010