

УДК 66.048.375

В.Н. Павлечко, И.М. Плехов, В.Н. Гуляев (БГТУ, г.Минск)

О РАСШИРЕНИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ МАССООБМЕНА

Комплексная модель, основные положения которой приведены в [1–3], отличается от известных моделей Мерффи и Хаузена [4–6] тем, что составы потоков на идеальной и реальной тарелках выравниваются на некотором расстоянии h для пара и h_1 для жидкости от места ввода фаз. Известные модели рассматриваются в комплексной модели как граничные случаи, когда расстояния h и h_1 принимают предельные значения, равные единице или нулю. В частности, в модели Мерффи при анализе эффективности по паровой фазе и жидкости эти расстояния принимают соответственно величины $h = 0$ и $h_1 = 1$; $h = 1$ и $h_1 = 0$; в модели Хаузена $h = 0$ и $h_1 = 0$ и в гипотетической модели, полученной из анализа возможных вариантов взаимосвязи идеальной и реальной тарелок, $h = 1$ и $h_1 = 1$.

В работе [7] в результате анализа взаимосвязи отдельных параметров предложено соотношение

$$h = h_1 = \frac{1}{m+1}. \quad (1)$$

В соответствии с (1) в комплексной модели расстояния h и h_1 зависят от коэффициента фазового равновесия m . Эти расстояния принимают значения в диапазоне $0 < h < 1$. Причем при коэффициентах фазового равновесия, больших единицы, $0 < h < 0,5$, а при $m < 1$, $0,5 > h > 1$. Кроме того, комплексная модель предусматривает вариант разделения идеальной смеси, в котором $h = h_1 = 0,5$, а $m = 1$.

При ректификации смесей с возрастающим коэффициентом фазового равновесия расстояния h и h_1 согласно (1) снижаются и в пределе, когда m стремится к бесконечности, становятся равными нулю, что отражает модель Хаузена. При разделении смеси с коэффициентом фазового равновесия, приближающемся к нулю, расстояния h и h_1 возрастают и при $m = 0$ становятся равными единице, как это имеет место в гипотетической модели. Поскольку эффективность в комплексной модели определяется расстояниями h и h_1 , то выражение (1) позволяет учитывать зависимость эффективности от коэффициента фазового равновесия, который изменяется от тарелки к тарелке.

Если разделяются смеси, у которых коэффициент фазового равновесия уменьшается применительно к паровой фазе и одновременно увеличивается при анализе массообмена в жидкости или наоборот, то имеет место модель Мерффи при анализе эффективности в паровой фазе и жидкости соответственно. Снижение h и возрастание h_1 при увеличении коэффициента фазового равновесия или противоположные их изме-

нения при уменьшении m указывает на противоречивость этих областей комплексной модели и соответствующих граничных случаев – модели Мерффри при анализе эффективности в паровой фазе и жидкости, поскольку массообмен происходит в одной смеси и интенсификация выделения легколетучего компонента из жидкости эквивалентна скорости обогащения этим компонентом паровой фазы, следствием чего должно быть одновременное снижение h и h_1 . Поэтому в комплексной модели изменение расстояний h и h_1 принято одинаковым и равным друг другу.

Эффективность массообмена определяется теплофизическими свойствами разделяемой смеси (летучестью, вязкостью, поверхностным натяжением, плотностью, давлением, температурой), режимными и конструктивными параметрами (прямоток, противоток, перекрестный ток, конфигурация и геометрические размеры ступени разделения, скорости движения взаимодействующих потоков).

В комплексной модели получены выражения эффективности при прямоточном, противоточном и перекрестном движении паровой и жидкой фаз. Летучесть в них учитывается коэффициентом фазового равновесия, который влияет на эффективность через расстояния h и h_1 в соответствии с формулой (1). Для учета других теплофизических показателей разделяемой смеси могут быть использованы несколько вариантов.

В литературе имеются разнообразные, в том числе и эмпирические зависимости эффективности массообмена от свойств перегоняемой смеси. В частности, в диффузионной модели [8] используется число Пекле, включающее коэффициент вихревой диффузии, который можно рассматривать в качестве аналога вязкости. Однако найденные формулы базируются на эффективности модели Мерффри, к которой ряд исследователей относится критически из-за возможности получения эффективности, большей единицы и меньшей нуля, а также из-за неоднозначности значений эффективности, полученных по паровой фазе и жидкости. Следовательно, известные зависимости не могут быть использованы непосредственно для выявления по ним влияния того или иного показателя свойств смеси применительно к особенностям комплексной модели. Вместе с тем эти уравнения могут быть полезными с учетом взаимосвязи модели Мерффри и комплексной модели.

Одним из способов определения эффективности массообмена может быть нахождение по экспериментальным данным в конкретной колонне зависимости расстояний h и h_1 от теплофизических свойств смеси вида

$$h = h_1 = \frac{1}{1 + m f(\mu, \sigma, \rho, t, p)}, \quad (2)$$

где μ , σ , ρ , t , p – соответственно вязкость, поверхностное натяжение, плотность, температура анализируемого компонента и давление в аппарате.

В качестве модельной смеси предпочтительнее использовать растворы, приближающихся к идеальным, у которых коэффициент фазового равновесия приближается к единице, для минимизации влияния m на эффективность. В дальнейшем значения этих расстояний подставляются в известные формулы [1–3] для определения эффективности той же колонны, но разделяющей иные смеси.

В другом способе исследования проводятся на какой-либо модельной смеси в аппарате определенной конструкции. Затем на основании экспериментальных данных определяется эффективность по известным уравнениям [1–3]. В частности, для прямоточного движения паровой и жидкой фаз эта зависимость для идеальной смеси имеет вид [1]

$$E_n = \frac{\frac{L}{mV} + 1}{\frac{x_n + x_{n-1} - 2 \frac{y_{n-1}}{m}}{x_n - x_{n-1}} - \frac{L}{mV}} \quad (3)$$

При последующих расчетах ректификационной колонны для определения вышеупомянутых расстояний используются отношения каждого из теплофизических свойств смеси по формуле

$$h = h_1 = \frac{1}{1 + m \left(\frac{\mu_p}{\mu_m} \right)^a \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_m} \right)^b \left(\frac{\rho_p}{\rho_m} \right)^c \left(\frac{t_p}{t_m} \right)^d \left(\frac{p_p}{p_m} \right)^e} \quad (4)$$

где индексы p и m относятся к рассчитываемой и модельной смеси соответственно.

Предварительно необходимо определить влияние каждого из компонентов смеси, т.е. показатели степеней в зависимости (4).

Таким образом, первый способ предполагает нахождение необходимых зависимостей аналитическим путем и экспериментальные исследования необходимы только для подтверждения теоретических положений, второй способ целиком базируется на опытных данных и требует обширных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74. № 1. С. 50 – 56.
2. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74. № 1. С. 57 – 61.
3. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2001. Т. 74. № 2. С. 43 – 47.
4. Murphree E.V. // Ind. Eng. Chem. 1925. Vol. 17, № 7. P. 747 – 750.
5. Hausen H. // Chem. Ing. Tech. 1953. Bd. 25, № 10. S. 595 - 597.
6. Medina A.G., Ashton N., McDermott C. // Chem. Eng. Sci. 1979. Vol. 34, N 9. P. 1105 – 1112.
7. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2002. Т. 75. № 1. С. 112 – 116.
8. Кафаров В.В. Основы массопередачи. М., 1972. С. 281 – 287.