

$$E_k = \frac{CD + \frac{1}{2}(DF - AC)}{EF - AB} \quad (10)$$

Таким образом, в комплексной модели действительны и конкретны значения эффективности для всех трех рассмотренных форм организации движения взаимодействующих потоков жидкости и пара, что указывает на возможность использования ее для прямотока, противотока и перекрестного тока и подтверждает универсальный характер модели.

Обозначения

E – эффективность тарелки; L – молярный поток жидкости; m – коэффициент фазового равновесия; V – молярный поток пара; x, y – соответственно концентрация легколетучего компонента в жидкости и паровой фазе. Индексы: g – противоток; n – номер рассматриваемой тарелки; $n-1$ – номер предыдущей тарелки по ходу движения пара; * – идеальные условия; 1–4 – номера рассматриваемых вариантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murphree E.V. // Ind. Engng. Chem. 1925. Vol. 17. № 7. P. 747 – 750.
2. Medina A.G., Ashton N., McDermott C. // Chem. Eng. Sci. 1979. Vol. 34. № 9. P. 1105 – 1112.
3. Savkovič-Stevanovič J. // Separ. Sci. and Technol. 1984. Vol. 19. № 4 & 5. P. 283 – 295.
4. Hausen H. // Chem. Ing. Tech. 1953. J. 25. № 10. S. 595 – 597.
5. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2001. Том 74. № 1. С. 50 – 56.
6. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2001. Том 74. № 1. С. 57 – 61.
7. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2001. Том 74. № 2. С. 43 – 47.
8. Павлечко В.Н. // Труды БГТУ. 1998. Выпуск VI. Химия и химическая технология. С. 131 – 138.
9. Павлечко В.Н. // Труды БГТУ. 1998. Выпуск VI. Химия и химическая технология. С. 138 – 144.
10. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2002. Том 75. № 1. С. 112 – 116.

УДК 66.048.375^{*}

В.Н. Павлечко, доцент; В.Н. Гуляев, доцент

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ ТАРЕЛОК В НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЯХ ПРИ ПРОТИВОТОЧНОМ ДВИЖЕНИИ ФАЗ

The efficiencies at the countercurrent movement of vapor and liquid are analyzed. It is shown that the Murphree model cannot be used under the countercurrent conditions.

При анализе эффективности массообмена в процессах ректификации наиболее широкое применение получили модели Мерффри [1–3] и Хаузена [2–4]. Причем модель Мерффри по условиям связи идеальной и реальной тарелок представлена двумя вариантами. В первом рассматривается эффективность в паровой фазе, во втором – в жидкости. В работах [5, 6] показано, что оба этих варианта являются самостоятельными, независимыми друг от друга моделями, в каждой из которых эффективности по паровой и жидкой фазам равны. Кроме того, в этих публикациях предложена гипотетическая мо-

дель массообмена, отличающаяся от известных условиями связи идеальной и реальной тарелок.

Модели Мерффри и Хаузена предложены и интерпретируются большинством исследователей применительно к условиям полного перемешивания жидкости на тарелке. В работе [5] показано, что по условиям равновесия составов, покидающих идеальную тарелку пара и жидкости, модели Мерффри и Хаузена могут быть использованы при прямоточном движении фаз, поскольку получаемые при этом зависимости идентичны формулам, выведенным при полном перемешивании жидкости. В гипотетической модели эффективность при прямотоке равна единице. В работе [6] проведен анализ использования известных и гипотетической моделей применительно к противоточному движению пара и жидкости, когда в равновесии находятся покидающий идеальную тарелку пар и поступающая на нее жидкость.

Из формулы (13) [7] выводится выражения эффективности реальной тарелки:

для модели, использующей условия связи идеальной и реальной тарелок, аналогичные модели Мерффри при анализе эффективности в паровой и жидкой фазах соответственно:

$$E_{g1} = \frac{\left(\frac{L}{mV} - 1\right)(x_n - x_{n-1})}{x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}}; \quad (1)$$

$$E_{g2} = 1; \quad (2)$$

для модели, использующей условия связи идеальной и реальной тарелок, свойственных модели Хаузена

$$E_{g3} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - \frac{y_{n-1}}{m}}; \quad (3)$$

для гипотетической модели

$$E_{g4} = \frac{x_n - x_{n-1}}{\frac{L}{mV}(x_n - x_{n-1}) - x_{n-1} + \frac{y_{n-1}}{m}}. \quad (4)$$

При использовании уравнения материального баланса

$$L(x_n - x_{n-1}) = V(y_n - y_{n-1}) \quad (5)$$

формулы (1), (3) и (4) преобразуются в соответствующие зависимости:

$$E_{g1} = \frac{y_n - y_{n-1} - m(x_n - x_{n-1})}{m x_{n-1} - y_{n-1}}; \quad (6)$$

$$E_{g3} = \frac{y_n - y_{n-1}}{m x_n - y_{n-1}}; \quad (7)$$

$$E_{g4} = \frac{m(x_n - x_{n-1})}{y_n - m x_{n-1}}. \quad (8)$$

Графическое изображение процесса противоточной ректификации приведено на рисунке, на котором равновесная линия изображена штриховой утолщенной, а рабочая – сплошной утолщенной.

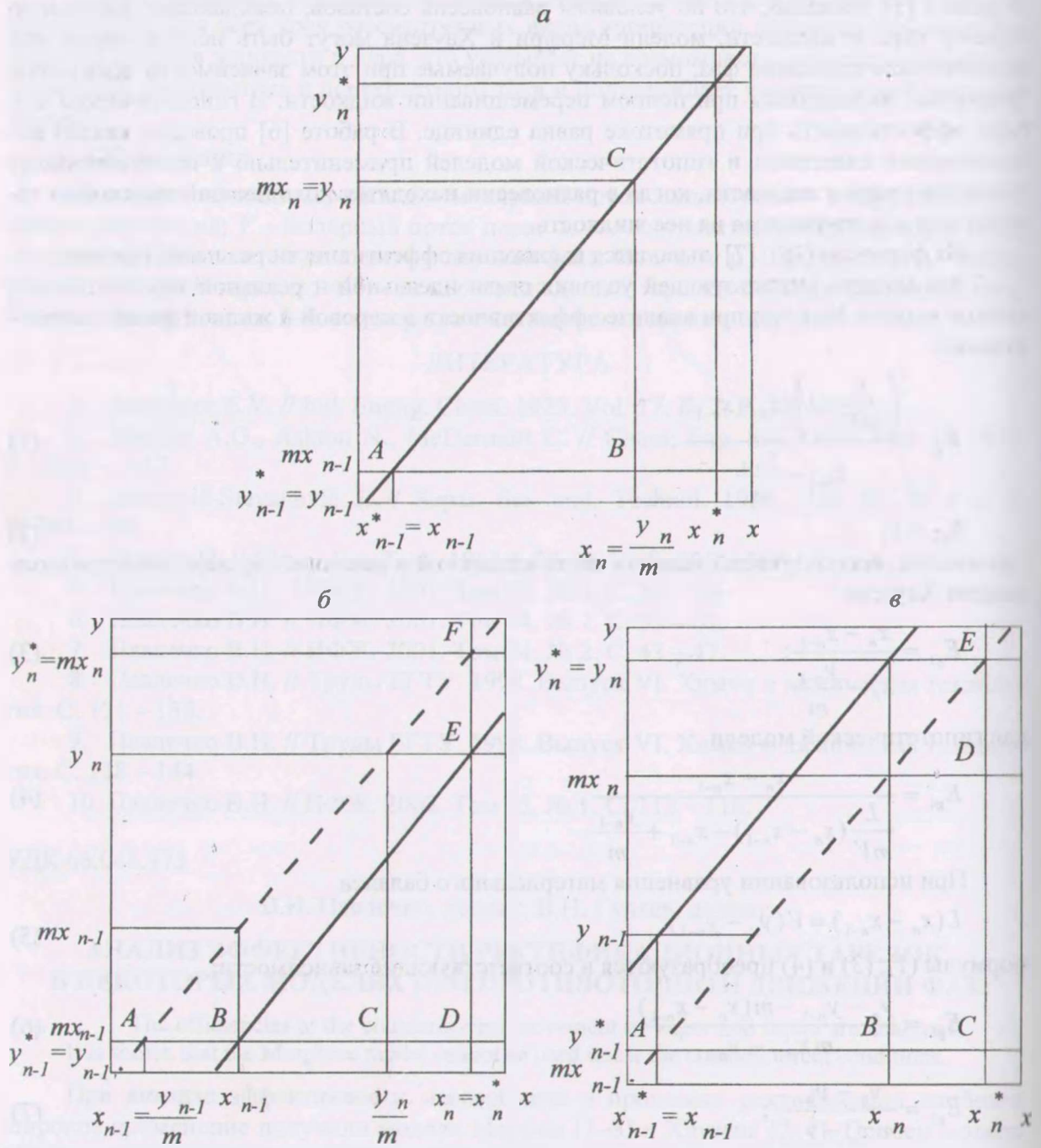


Рис. Схема противоточного массообмена при различных условиях связи идеальной и реальной тарелок: а – модель Мерффри при анализе эффективности по паровой фазе; б – модель Хаузена; в – гипотетическая модель

Особенностью массообмена, изображенного на рис. *a* является совпадение рабочей и равновесной линий, т.к. они обе проходят через точки с координатами x_n, y_n и x_{n-1}, y_{n-1} . Из рис. *a* следует, что эффективность модели, использующей условия связи идеальной и реальной тарелок, аналогичной модели Мерффри, при ее анализе в паровой фазе согласно формуле (6) выражается зависимостью

$$E_{g1} = \frac{BC - BC}{0} = \frac{AB - AB}{0} = \frac{0}{0} \quad (9)$$

и не может быть определена. С учетом того, что эффективность в рассматриваемой модели при ее анализе в паровой фазе представляет собой неопределенность, а при анализе в жидкости согласно (2) равна единице, то оба варианта этой модели не могут быть использованы при противоточном движении пара и жидкости.

Рабочая линия на рис. *б*, также проходящая через точки с координатами x_n, y_n и x_{n-1}, y_{n-1} , располагается ниже равновесной линии, а на рис. *в* – выше ее. С учетом рис. *б* формула (7) имеет вид

$$E_{g3} = \frac{DE}{DF} = \frac{BD}{AD}, \quad (10)$$

который показывает возможность определения эффективности для противоточного движения пара и жидкости при использовании условий взаимосвязи идеальной и реальной тарелок, свойственных модели Хаузена.

Из рис. *в* видно, что эффективность по формуле (8) также может быть определена, поскольку выражается конкретным соотношением

$$E_{g4} = \frac{CD}{CE} = \frac{AB}{AC}. \quad (11)$$

Принципиальное отличие рис. *б* и *в* – расположение на первом рабочей линии ниже равновесной, а на втором – выше ее – не влияет на знак эффективностей. Первый случай характеризуется зависимостью $L/V > m$ и движущая сила процесса является положительной [8]. Относительное расположение рабочей и равновесной линий на рис. *в* указывает на отрицательную движущую силу. Последний случай неприемлем при значениях коэффициента фазового равновесия, больших единицы, но незаменим при $m < 1$.

Таким образом, при противоточном движении пара и жидкости модель Мерффри не может быть использована, а целесообразны только модель Хаузена и гипотетическая модель.

Обозначения

E – эффективность тарелки; L – молярный поток жидкости; m – коэффициент фазового равновесия; V – молярный поток пара; x, y – соответственно концентрация летучего компонента в жидкости и паровой фазе. Индексы: g – противоток; n – номер рассматриваемой тарелки; $n-1$ – номер предыдущей тарелки по ходу движения пара; * – идеальные условия; 1–4 – номера рассматриваемых вариантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murphree E.V. // Ind. Engng. Chem. 1925. Vol. 17. № 7. P. 747 – 750.
2. Medina A.G., Ashton N., McDermott C. // Chem. Eng. Sci. 1979. Vol. 34. № 9. P. 1105 – 1112.

3. Savkovič-Stevanovič J. // Separ. Sci. and Technol. 1984. Vol. 19. № 4 & 5. P. 283 – 295.
4. Hausen H. // Chem. Ing. Tech. 1953. J. 25. № 10. S. 595 – 597.
5. Павлечко В.Н. // Труды БГТУ. 1998. Выпуск VI. Химия и химическая технология. С. 131 – 138.
6. Павлечко В.Н. // Труды БГТУ. 1998. Выпуск VI. Химия и химическая технология. С. 138 – 144.
7. Павлечко В.Н. // ИФЖ. 2001. Том 74. № 1. С. 57 – 61.
8. Павлечко В.Н., Гуляев В.Н. // Труды БГТУ. 1999. Выпуск VII. Химия и химическая технология. С. 12 – 15.

УДК 621.3.085

В.Б. Михайлов, доцент

ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ SnO_2

In work the technologies of manufacturing of thick-film and volumetric sensitive gases of elements are considered. The test datas of transmitters on responsivity in different gases are resulted, and also temperature dependences of resistance of elements on a view and quantity of addition elements. The test data on stability are given.

В последние десятилетия для Республики Беларусь наиболее актуальными стали научные разработки, связанные с экологией воздушной среды. Особую значимость имеет направление автоматического контроля за предельными концентрациями токсичных и взрывоопасных газовых выбросов промышленного происхождения.

Отечественными и зарубежными фирмами выпускается ряд приборов и комплексов для анализа газовой среды. Среди них широко используются газовая хроматография, спектрофотометрия, масспектрометрия, ионометрия и др. Как правило, это лабораторные приборы, сложные в обслуживании и весьма дорогостоящие. Эти приборы имеют широкий диапазон измерения концентраций большого количества неизвестных компонент газовых смесей.

В промышленной экологии компоненты сопутствующих газов обычно известны и задачей ставится нахождение предельного порога их концентраций (ПДК). В связи с этим, целый ряд приборов и комплексов на их основе может иметь более простое устройство, а значит и более дешевое, что немаловажно для промышленных предприятий.

Наиболее подходящими газочувствительными элементами для этих целей являются миниатюрные полупроводниковые датчики резистивного типа [3].

Для получения таких чувствительных элементов использовались различные технологии – тонкопленочная, толстопленочная, а также технология изготовления объемных датчиков.

В данной работе рассматриваются технология и результаты исследований толстопленочных элементов.

Стандартная технология включает следующие операции [1]: изготовление паст (функционального материала, проводящей, диэлектрической), нанесение паст методом трафаретной печати на диэлектрические подложки, термообработка, формирующая заданные свойства толстопленочного элемента, стабилизирующий отжиг, электротермическая тренировка, лазерная подгонка под номинал. Все эти стандартные