

УДК 66. 067. 38:668

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА РАСТВОРА В БАРОМЕМБРАННЫХ АППАРАТАХ РУЛОННОГО ТИПА

© О.А. Абоносимов, А.С. Лазарев, Ю.А. Данилов

Ключевые слова: гидродинамика, критериальное уравнение, рулонный аппарат.

Исследован коэффициент продольного перемешивания в промышленных баромембранных рулонных аппаратах для двух видов разделительных элементов в зависимости от скорости движения и давления потока в аппарате. Проанализированы и объяснены зависимости коэффициентов продольного перемешивания от гидродинамических характеристик баромембранных аппаратов.

ВВЕДЕНИЕ

При расчете кинетических коэффициентов, используемых при математическом описании массопереноса, необходимо учитывать гидродинамику потока раствора в баромембранном аппарате.

Задачей данной работы являлось исследование влияния гидродинамических характеристик промышленных баромембранных аппаратов с рулонными разделительными элементами на процессы переноса веществ через мембраны.

Гидродинамическая структура потока в мембранном модуле оказывает существенное влияние на процесс массопереноса при баромембранном разделении растворов. В этих модулях потоки жидкостей по своей структуре, как правило, занимают промежуточное положение между двумя предельными идеализированными случаями – полного вытеснения и полного перемешивания.

Для количественной оценки влияния продольного перемешивания на характеристики разделения баромембранного модуля необходимы данные о величинах коэффициентов продольного перемешивания. С этой целью было проведено экспериментальное определение коэффициента продольного перемешивания в баромембранных модулях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для определения коэффициента продольного перемешивания использовался известный метод нанесения возмущения в определенном сечении потока и фиксации, вызванных им последствий (отклика системы) в другом сечении. В экспериментальных исследованиях использовался метод импульсного ввода трассера (20 %-ного водного раствора NaCl) с последующей регистрацией кривой вымывания на выходе из мембранного модуля. Количество вводимого трассера изменялось в зависимости от режима работы модуля и выбиралось с таким расчетом, чтобы использовалось 60 % шкалы измерительного прибора (КСМ-4), т. к. в пределах этого диапазона изменение концентрации

раствора в модуле невелико и перемещение реохорда прибора пропорционально изменению концентрации.

Схема экспериментальной установки для определения коэффициента продольного перемешивания и методика проведения эксперимента подробно рассмотрены в работе [1].

Для количественной оценки продольного перемешивания существуют различные теоретические модели структуры потоков (ячеечная, рециркуляционная, комбинированная, диффузионная). Для расчетов была принята диффузионная модель, как наиболее применимая для исследуемого баромембранного модуля, который можно отнести к аппаратам без заметно выраженного секционирования [2, 3].

По кривым отклика (С-кривым) рассчитывали дисперсию распределения времени пребывания раствора в аппарате.

Дисперсия безразмерной С-кривой определялась по уравнению [2].

$$\sigma^2 = \frac{1}{\tau_{cp}^2} \cdot \left[\frac{\sum \tau_i^2 \cdot c_i}{\sum c_i} - \left(\frac{\sum \tau_i \cdot c_i}{\sum c_i} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где τ_{cp} – среднее время пребывания, которое определялось в зависимости от скорости жидкости в межмембранном канале по формуле

$$\tau_{cp} = \frac{L}{U}, \quad (2)$$

где L – длина модуля, м, U – скорость жидкости в межмембранном канале, м/с.

Параметр диффузионной модели – модифицированный критерий Пекле (Pe) находили, используя известное соотношение [2] между критерием Pe и дисперсией распределения времени пребывания σ^2 как для канала бесконечной длины.

$$\sigma^2 = \frac{8}{Pe^2} + \frac{2}{Pe}. \quad (3)$$

Таблица 1

Значения эмпирических коэффициентов b, n, m

Мембранный модуль	$b \cdot 10^6$	n	m
ЭРО-Э-6.5/900А	5,672	2,10	0,16
ЭРО-К-92-475	1,593	2,55	0,16

в межмембранном канале элемента, что является важным фактором интенсивности продольного перемешивания, и к тому же в модуле между элементами находятся дополнительные зоны смешения, вызванные особенностью конструкции соединения элементов между собой. В этих зонах смешения при увеличении скорости жидкости также происходит интенсивная турбулизация потока. Для модуля с элементами ЭРО-Э-6.5/900А таких зон три, а с элементами ЭРО-К-92-475 – пять. Поэтому в модуле с последними элементами происходит более полное перемешивание потока, что и объясняет более высокие значения коэффициента продольного перемешивания.

При рассмотрении графиков зависимости коэффициента продольного перемешивания от скорости движения жидкости в модуле можно также отметить увеличение значений коэффициента с ростом давления в модуле. При создании давления в модуле возникает дополнительный фактор, влияющий на коэффициент продольного перемешивания. С ростом давления в модуле появляется поток пермеата, который по длине модуля постепенно обедняет основной поток. Поток пермеата направлен из ядра потока в межмембранном канале через мембрану, т. е. перпендикулярно основному потоку. Поэтому за счет потока пермеата происходит дополнительное перемешивание потока жидкости в мембранном модуле. При более высоком давлении поток пермеата увеличивается, что приводит к росту коэффициента продольного перемешивания [4, 5]. Мембранные элементы ЭРО-К-92-475 имеют более высокую производительность по пермеату, чем ЭРО-Э-6.5/900А и поэтому при одинаковых давлениях имеют несколько большие значения коэффициента продольного перемешивания.

По экспериментальным данным были получены аппроксимационные зависимости коэффициентов продольного перемешивания от давления и скорости жидкости в баромембранном модуле для рулонных элементов ЭРО-Э-6.5/900А и ЭРО-К-92-475:

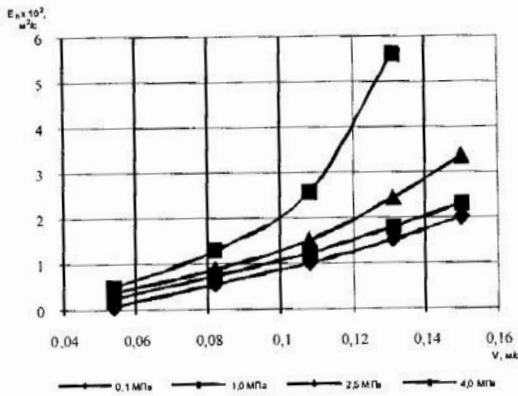
$$E_n = b \cdot \text{Re}^n \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right)^m, \quad (5)$$

где b, n, m – эмпирические коэффициенты, P, P_0 – рабочее давление и давление, принятое равным 0,1 МПа, соответственно.

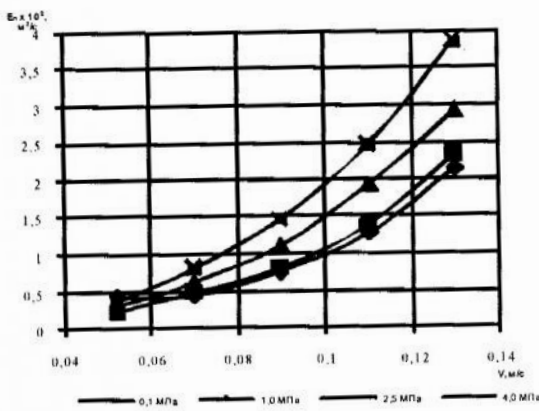
Значения коэффициентов b, n, m приведены в табл. 1. Погрешность расчетных и экспериментальных значений E_n не превышала ($\pm 15\%$).

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования по влиянию скорости движения жидкости и давления в модуле на продольное перемешивание для мембранных элементов ЭРО-Э-6.5/900А и ЭРО-К-92-475.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость коэффициента продольного перемешивания от скорости жидкости и давления в модуле с рулонным элементом: а) ЭРО-Э-6.5/900А, б) ЭРО-К-92-475

По найденному значению Pe определяли величину коэффициента продольного перемешивания E_n по формуле

$$E_n = \frac{L \cdot U}{Pe}, \quad (4)$$

где L – длина модуля, м, U – скорость раствора в канале модуля, м/с.

Исследования продольного перемешивания в баромембранном модуле проводили при различных скоростях раствора и при различных давлениях.

Результаты экспериментов по определению зависимости коэффициента продольного перемешивания от скорости жидкости и давления в модуле для обоих типов элементов представлены графически на рис. 1.

Как видно на графиках (рис. 1), коэффициент продольного перемешивания значительно увеличивается при увеличении скорости протекания жидкости в модуле. При этом для модуля с элементами типа ЭРО-К-475 коэффициент продольного перемешивания имеет несколько большие значения.

Это можно объяснить тем, что с ростом скорости жидкости увеличивается турбулентное перемешивание

2. Установлено, что коэффициент продольного перемешивания увеличивается с ростом скорости движения жидкости и перепада давления в мембранном модуле для обоих типов мембранных элементов.

3. Получены аппроксимационные зависимости коэффициентов продольного перемешивания от давления и скорости жидкости в баромембранном модуле для рулонных элементов ЭРО-Э-6.5/900А и ЭРО-К-92-475.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Ковалев С.В.* // Прикладная химия. 2007. Вып. 10. С. 1647–1650.
2. *Гельперин Н.И., Пибалк В.Л., Костяни А.Е.* Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности. М.: Химия, 1977. 264 с.
3. *Левеншпиль О.* Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969. 621 с.
4. *Дытнерский Ю.И.* Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
5. *Хванг С.-Т., Каммермейер К.* Мембранные процессы разделения / пер. с англ.; под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1981. 464 с.

Поступила в редакцию 26 сентября 2008 г.

Abonosimov O.A., Lazarev A.S., Danilov Y.A. On study of hydrodynamics of a stream of a solution in a baromembrane device of a roll type. The factor of longitudinal mixing in industrial baromembrane roll devices for two kinds of dividing elements depending on movement speed and a stream pressure in the device is investigated. Dependences of factors of longitudinal mixing on hydrodynamic characteristics of baromembrane devices are analyzed and explained.

Key words: hydrodynamics, criterial equation, roll device.

LITERATURE

1. *Abonosimov O.A., Lazarev S.I., Kovalev S.V.* // Applied Chemistry. 2007. Issue. 10. P. 1647-1650.
2. *Gelperin N.I., Pebalk V.L., Kostanyan A.E.* Structure of streams and efficiency of columned devices of chemical industry. M.: Khimiya, 1977. 264 p.
3. *Levenshpil O.* Engineering registration of chemical processes. M.: Khimiya, 1969. 621 p.
4. *Dymersky Y.I.* Membrane processes of division of liquid mixes. M.: Khimiya, 1975. 252 p.
5. *Khvang S.-T., Kammermejer K.* Membrane processes of division / Translation from English; Edited by Y.I. Dytnerky. M.: Khimiya, 1981.464 p.