

В. Г. Кацашвили, Г. И. Зорина, А. И. Ершов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМОТОЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СТУПЕНИ С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ ПРОДОЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТИ

В последнее время все большее внимание исследователей привлекают прямоточные контактные устройства с взаимодействием фаз в кольцевом закрученном потоке, позволяющие значительно увеличить нагрузки и интенсифицировать массообмен между фазами [1].

В зоне контакта жидкость движется в виде пленки, и ее течение осложнено образованием волн, их разрушением, срывом гребней и сильной турбулизацией [2]. Описание взаимодействия фаз в таких потоках на основании точных гидродинамических закономерностей затруднено в связи с малой изученностью и недостатком экспериментальных и обобщающих данных. Известны работы [2, 3], дающие зависимости для толщины пленки, коэффициента массопередачи, числа единиц переноса в виде эмпирических уравнений, которые, однако, невозможно применить для других систем и аппаратов, отличных от испытанных типоразмеров.

Наиболее приемлемым в данном случае способом описания эффективности контактного устройства является математическое моделирование на основе представлений о структуре потока (пленки), как о сложной гидродинамической системе [4]. В настоящей работе рассматривается

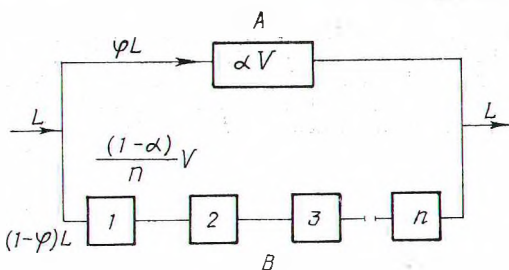


Рис. 1. Схема модели гидродинамической структуры пленки:

L — расход жидкости; V — объем системы; α — доля объема; φ — доля потока.

описание эффективности с помощью комбинированной модели, учитывающей поперечную неравномерность и продольное перемешивание в пленке жидкости.

Схема комбинированной модели, отражающая гидродинамическую структуру потока, представлена на рис. 1. Модель предполагает наличие в пленке двух зон, различающихся характером перемешивания: зоны поршневого движения жидкости A с долей потока жидкости через нее φL , и зоны, состоящей из n последовательных ячеек полного перемешивания B , с долей потока через нее $(1-\varphi)L$. Зона A занимает долю αV от общего объема системы V .

Данная модель выбрана на основании предварительного анализа функций распределения времени пребывания жидкости, а также представлений о волновой структуре течения пленки и наличии ламинарного подслоя, движущегося с относительно малой скоростью вблизи стенки. При этом зона B соответствует части системы, занятой гребнями волн.

Среднее время пребывания жидкости в системе и зонах A и B соответственно:

$$\bar{t} = \frac{V}{L}; \quad (1)$$

$$\bar{t}_a = \frac{\alpha V}{\varphi L} = \frac{\alpha}{\varphi} \bar{t}; \quad (1a)$$

$$\bar{t}_b = \frac{(1-\alpha)V}{(1-\varphi)L} = \frac{1-\alpha}{1-\varphi} \bar{t}. \quad (16)$$

Функция распределения времени пребывания может быть найдена с помощью передаточной функции системы

$$f(t) = L^{-1}\{W(p)\} = z^{-1} \left\{ \frac{\bar{C}_{\text{вых}}(p)}{\bar{C}_{\text{вх}}(p)} \right\}, \quad (2)$$

где $f(t)$ — функция распределения времени пребывания;
 $W(p)$ — передаточная функция системы;
 L^{-1} — символ обратного преобразования Лапласа;
 p — параметр Лапласа;
 $\bar{C}_{\text{вх}}(p)$ — изображение входного сигнала;
 $\bar{C}_{\text{вых}}(p)$ — изображение выходного сигнала.

Основным показателем степени перемешивания при использовании комбинированных моделей удобно считать дисперсию времени пребывания — меру рассеяния вещества в потоке. По принятой модели дисперсия определяется по методу Ван-дер-Лаана [5]:

$$\sigma_t^2 = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{d^2[W(p)]}{dp^2} - \left[\lim_{p \rightarrow 0} \frac{d[W(p)]}{dp} \right]^2 \quad (3)$$

в размерном виде или

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_t^2}{\bar{t}^2} - 1 = \frac{\alpha^2}{\varphi} + \frac{(1-\alpha)^2}{1-\varphi} \cdot \frac{n+1}{n} - 1 \quad (4)$$

в безразмерном виде.

Воспользовавшись методом, предложенным в работе [6] и известным как метод модели функции распределения, получим выражение для эффективности ступени контакта. Метод применим при обычных допущениях о полном перемешивании паровой (газовой) фазы и статическом характере турбулентных пульсаций в потоке жидкости.

Эффективность ступени по Мерфри в жидкой фазе

$$E_{ML} = \frac{1}{\frac{1}{1 - \varphi \exp(-K) - (1 - \varphi)M^n} \sqrt{-\frac{1}{\lambda}}} \quad (5)$$

и в газовой фазе

$$E_{MG} = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{1}{\varphi \exp(-K) + (1 - \varphi)M^n} - 1 \right], \quad (6)$$

где

$$K = \frac{\alpha}{\varphi} \lambda E_v;$$

$$M = \left[\frac{1 - \alpha}{1 - \varphi} \cdot \frac{1}{n} \lambda E_v - 1 \right]^{-1};$$

$$\lambda = \frac{mG}{L};$$

m — тангенс угла наклона линии равновесия;

E_v — локальная эффективность.

При $\varphi=0$ и $\alpha=0$ эффективность выражается известным уравнением Готро и О'Коннелла [7].

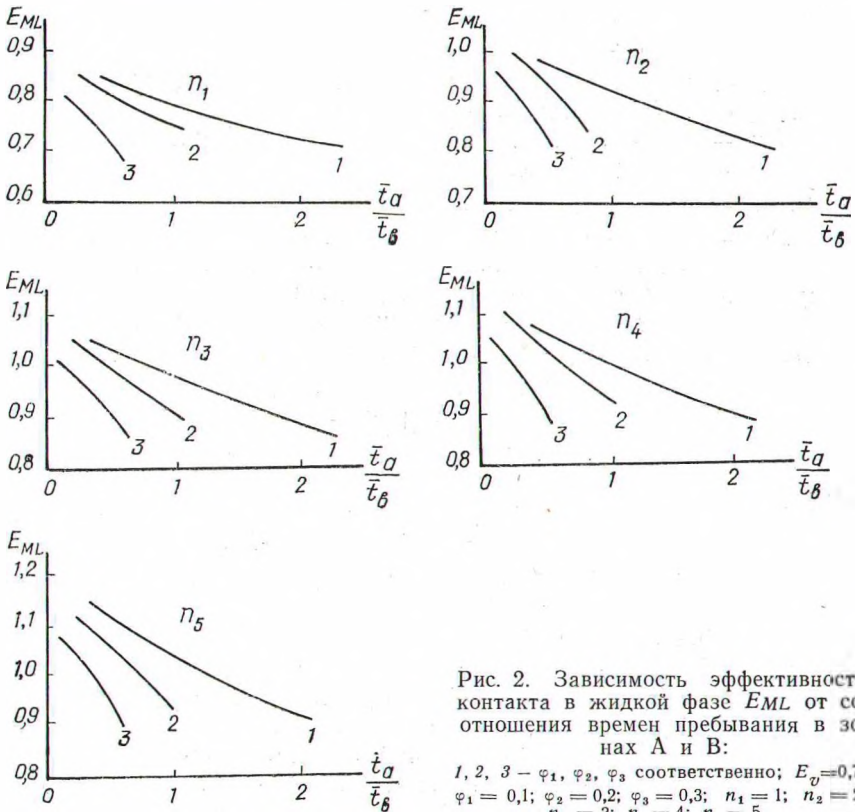


Рис. 2. Зависимость эффективности контакта в жидкой фазе E_{ML} от соотношения времен пребывания в зонах А и В:

1, 2, 3 — $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ соответственно; $E_v=0,7$;
 $\varphi_1 = 0,1$; $\varphi_2 = 0,2$; $\varphi_3 = 0,3$; $n_1 = 1$; $n_2 = 2$;
 $n_3 = 3$; $n_4 = 4$; $n_5 = 5$.

Полученные уравнения (4) и (6) были решены на ЭЦВМ «Проминь» и проанализированы в зависимости от изменения параметров α , φ и n .

Некоторые результаты расчетов представлены на рис. 2 в виде зависимости эффективности контакта от соотношения средних времен пребывания в зонах А и В при различных φ и n . Выбор отношения $\frac{\bar{t}_a}{\bar{t}_b}$ в качестве аргумента обусловлен тем, что среднее время пребывания является одной из основных переменных, определяющих эффективность ступени контакта [8].

Уменьшение эффективности с ростом времени пребывания в зоне А объясняется тем, что наиболее интенсивный контакт фаз происходит в

зоне гребней волн (B). Сокращение объема жидкости, находящейся в пристенном ламинарном подслое (A), где перенос массы осуществляется в основном за счет молекулярной диффузии, приводит к росту эффективности контакта. Следовательно, максимальная турбулизация жидкой пленки (увеличение доли объема зоны B) повышает эффективность. Такие выводы совпадают с существующими представлениями о механизме массопереноса и имеющимися экспериментальными данными [1, 3, 9, 10], свидетельствующими о росте эффективности массопередачи со скоростью газа.

Параметры модели, характеризующие гидродинамическую структуру потока, могут быть найдены независимо при обработке функций распределения времени пребывания, например по методу моментов. Один из моментов, второй центральный, представлен уравнением (4), другие находятся подобным образом. Приравнивая расчетные выражения экспериментально найденным значениям моментов, можно определить неизвестные параметры φ , α и n .

Л и т е р а т у р а

- [1] Н. А. Николаев, Н. М. Жаворонков. Теоретич. основы хим. технологии, 4, 2 (1970)
[2] А. Д. Сергеев, Н. А. Николаев, А. М. Николаев, Н. И. Савельев. Изв. вузов. Химия и хим. технология, 24 (1971). [3] В. А. Лотхов, В. А. Малосов. Теоретич. основы хим. технологии, 4 (1970). [4] О. Левеншиль. Инженерное оформление химических процессов. М., 1969. [5] E. Jh. Van der Laan. Chem, Eng Sci. 7, 187 (1958). [6] A. S. Foss, J. A. Gerster, R. I. Pigford. *AIChE Journal*, 4, 2, (1958). [7] M. E. Goutreaux, H. E. o'Konnel. Chem. Eng. Progr., 51, 5 (1955). [8] Bubble Tray Design Manual, N—Y., 1958. [9] Н. А. Николаев, Н. М. Жаворонков. Хим. пром-сть, 11 (1964). [10] В. А. Булкин, Н. А. Николаев, А. М. Николаев. Химическое и нефтяное машиностроение, 12 (1970).