

УДК 66 -93

П. Б. Буторин, Е. А. Дмитриев, Е. П. Моргунова\*

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

125047, Москва, Миусская пл.д.9

\*e-mail: morgun@muctr.ru

**РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ МАССООТДАЧИ ПРИ ПЛЕНОЧНОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ**

В работе проведено экспериментальное определение коэффициентов массоотдачи в жидкой фазе при десорбции слабо растворимого газа из водного раствора. Рассчитан коэффициент массоотдачи с использованием аналитического решения уравнения конвективной диффузии и с помощью критериальных уравнений. Выполнено сравнение полученных данных.

**Ключевые слова:** пленочное течение жидкости, средняя плотность потока, расчет коэффициентов массоотдачи, десорбция слабо растворимого газа, уравнение конвективной диффузии.

Создание устойчивых стекающих пленок жидкости на твердых поверхностях является эффективным и широко распространенным способом интенсификации массообменных процессов в системах газ - жидкость. При использовании стекающих пленок высокие значения межфазных поверхностей можно получить при очень низком гидравлическом сопротивлении и высокой пропускной способности контактного устройства. Именно поэтому пленочные массообменные аппараты широко используются в процессах абсорбции и десорбции и насадочной ректификации.

В работе было проведено сравнение различных методов расчета коэффициента массоотдачи при пленочном течении жидкости для слабо растворимого газа на примере десорбции диоксида углерода из водного раствора.

Ранее было получено аналитическое решение для пленки жидкости, стекающей по вертикальной поверхности длиной  $l$  [1.] Рассматривался стационарный процесс в отсутствие химической реакции для слабо растворимого газа при неглубоком проникновении в пленку жидкости.

В результате решения уравнения конвективной диффузии была определена средняя плотность потока по длине пластины  $l$ .

$$N_{cp} = 2c_0 \sqrt{\frac{Dv_{max}}{\pi l}}$$

$N_{cp}$  - средняя плотность потока на длине пластины  $l$ ;

$\left[ \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right]$

$c_0$  - начальная концентрация  $\text{CO}_2$  в жидкой фазе;

$D$  - коэффициент диффузии распределяемого компонента в жидкости. Для  $\text{CO}_2$  в воде при  $20^\circ\text{C}$

$$D = 1,8 \cdot \frac{10^{-9} \text{ м}^2}{\text{с}};$$

$v_{max}$  - максимальная скорость стекания пленки.

Плотность потока, отнесенная к концентрации  $\text{CO}_2$ , представляет собой средний коэффициент массоотдачи  $\beta_{cp}$ :

$$\beta_{cp} = 2 \sqrt{\frac{Dv_{max}}{\pi l}}$$

Это уравнение использовалось в работе для расчета коэффициента массоотдачи в жидкой фазе для системы  $\text{CO}_2$  - вода. Данные были получены при различных скоростях течения пленки. Проведено

сравнение полученных значений с рассчитанными по критериальным уравнениям, полученным в работе [2] для колонн пленочного типа в интервале значений критерия Рейнольдса  $300 < Re < 1600$ .

Критерий Рейнольдса для пленки равен  $Re = \frac{4V_x \rho_{ж}}{\pi \mu_{ж}}$

Коэффициент массоотдачи может быть рассчитан по критериальным уравнениям, через диффузионный критерий Шервуда

$$\beta_x = \frac{Sh \cdot D}{\delta_{пр}}$$

$Sh$  - диффузионный критерий Шервуда;

$\delta_{пр}$  - приведенная толщина пленки, равная:

$$\delta_{пр} = \sqrt[3]{\frac{\mu_{ж}^2}{g \rho_{ж}^2}}$$

$$Sh = B \cdot Re^m \cdot Sc^{0,5} \cdot \left(\frac{\delta_{пр}}{l}\right)^n$$

$Sc$  - критерий Шмидта, равный:

$$Sc = \frac{\mu_{ж}}{\rho_{ж} \cdot D}$$

Скорость процесса десорбции равна скорости абсорбции диоксида углерода водой из воздушно - газовой смеси, т.к. эти процессы протекают при одинаковых условиях (температуре, давлении, геометрических параметрах аппарата).

Количество компонента, переносимого из газовой фазы в жидкую, или наоборот, описывается основным уравнением массопередачи:

$$J_m = K_x \cdot A \cdot \Delta X_{cp}$$

$J_m$  - количество компонента, переходящего из одной фазы в другую, кг/сек;

$K_x$  - коэффициент массопередачи в жидкой фазе,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кг}/\text{м}^3}$  или  $\text{м}/\text{с}$ ;

$A$  - поверхность контакта фаз, участвующих в процессе массообмена,  $\text{м}^2$

$\Delta X_{cp}$  - средняя движущая сила процесса массопередачи, выраженная через концентрации в жидкой фазе,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

Данное уравнение использовали для определения поверхности контакта фаз в массообменном аппарате.

Количество переносимого компонента  $J_m$  определяли по уравнению материального баланса:

$$J_m = V_x(x_n - x_k)$$

$V_x$  – объемный расход жидкой фазы (воды), м<sup>3</sup>/с;  
 $x_n, x_k$  – содержание двуокиси углерода в воде в начале и в конце процесса десорбции, кг/м<sup>3</sup>;

Равновесная концентрация двуокиси углерода на входе и выходе из колонны определялась по равновесной зависимости  $x^* = f(y)$ , где  $y$  – содержание двуокиси углерода в воздухе, кг/м<sup>3</sup>;

Для плохо растворимого газа  $K_x \approx \beta_x$ , а основное уравнение массопередачи

$$\beta_x = \frac{V_x}{A \cdot \Delta x_{cp}}$$

Эксперименты проводились на установке с пленочной колонной. Вода насыщалась диоксидом углерода и подавалась в колонну, представляющую собой стеклянную трубку.

Отбиралось последовательно несколько проб жидкости для определения содержания диоксида углерода до десорбции и после. При допущении, что концентрация диоксида в воздухе раствора его пренебрежимо мала, т. е.  $x_n^* = 0$  и  $x_k^* = 0$

Средняя движущая сила будет равна  $\Delta x_{cp} = \frac{x_n - x_k}{\ln \frac{x_n}{x_k}}$

$$A = \pi \cdot d \cdot l$$

$d$  – внутренний диаметр и длина трубки, м

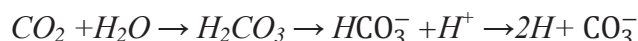
Подставляя полученные величины в основное уравнение массопередачи:

$$\beta_x = \frac{V_x(x_n - x_k)}{\pi \cdot d \cdot l \cdot \ln \frac{x_n}{x_k}}$$

получаем выражение для расчета коэффициента массоотдачи:

$$\beta_x = \frac{V_x(x_n - x_k)}{\pi \cdot d \cdot l \cdot \ln \frac{x_n}{x_k}} = \frac{V_x}{\pi \cdot d \cdot l} \cdot \ln \frac{x_n}{x_k}$$

Диоксид углерода взаимодействует с водой с образованием слабо диссоциирующей угольной кислоты:



Допускаем, что концентрация образующейся угольной кислоты, пропорциональна концентрации ионов водорода, а следовательно, и рН раствора.

Тогда:  $\beta_x = \frac{V_x}{\pi \cdot d \cdot l} \cdot 2,3 \Delta pH$

Сравнение данных, рассчитанных по теоретическим и критериальным уравнениям, с экспериментальными представлено в таблице 1. Метод расчета коэффициента массоотдачи по теоретическим уравнениям может быть рекомендован для практического использования наряду с критериальными уравнениями.

Таблица 1. Сравнение экспериментальных и расчетных данных.

№п/п	$V_x \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$	pH <sub>н</sub>	pH <sub>к</sub>	$\beta_x \text{ эксперим.} \cdot 10^4 \text{ м/с}$	$\delta_{пр} \cdot 105 \text{ м}$	Sc	Re	Sh	$\beta_x \cdot 10^4 \text{ м/с}$ (по кр. ур.)	$\beta_x \cdot 10^4 \text{ м/с}$ (теор)
1.	2.78	5,8	5,4	0,43	4,67	556	177	2,19	0,84	0,47
2.	5,56	5,8	5,5	0,65	4,67	556	354	2,34	0,91	0,68
3.	8.33	5,8	5,5	0,97	4,67	556	530	2,79	1,08	0,83
4.	11.1	5,8	5,55	1,08	4,67	556	707	2,85	1,1	0,96

**Буторин Павел Борисович** – аспирант кафедры процессов и аппаратов химической технологии, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва.

**Дмитриев Евгений Александрович** – зав. кафедрой процессов и аппаратов химической технологии, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва.

**Моргунова Елена Павловна** – профессор кафедры процессов и аппаратов химической технологии, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва.

#### Литература

- Берд, Стьюарт В, Лайтфут Е Явления переноса, -М.: «Химия», 1974, -701 с.
- Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. -М.: «Химия», 1991. -496 с.

*Butorin Pavel Borisovich, Dmitriev Evgeniy Aleksandrovich., Morgunova Elena Pavlovna\**

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

\*e-mail: [morgun@muctr.ru](mailto:morgun@muctr.ru)

#### CALCULATION OF MASS TRANSFER COEFFICIENTS IN FILM FLOW OF LIQUID

**Abstract.** Experimental determination of mass transfer coefficients for in a liquid phase at a desorption of poor soluble gas from water solution is carried out. Calculation of coefficients of mass transfer with use of the analytical solution of the equation of convective diffusion and of the criteria equations is carried out. Comparison of the obtained data is carried out.

**Key words:** coefficients of mass transfer, desorption of poor soluble gas, criteria equations, the equation of convective diffusion.