

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

---

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ПИЩЕВАЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

663.551.24:66.048.375

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОГО КОЭФФИЦИЕНТА МАССООТДАЧИ  
НА КЛАПАННЫХ ТАРЕЛКАХ

О. Г. МУРАВСКАЯ, И. Ф. МАЛЕЖИК, В. Н. СТАБНИКОВ

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Клапанные тарелки наиболее перспективны для применения в колонных аппаратах спиртовой промышленности, так как обеспечивают высокоэффективную работу колонны в широком диапазоне изменения нагрузок и повышенную производительность при сравнительно небольшом гидравлическом сопротивлении. Поэтому исследование гидравлических и массообменных характеристик клапанных тарелок с целью разработки научно обоснованных методов расчета представляет значительный интерес.

Для определения коэффициента массоотдачи в жидкой фазе были исследованы на гидравлическом стенде в условиях десорбции углекислого газа из воды в воздух различные конструкции клапанных тарелок с нижним ограничением подъема клапана: типа «Глитч», «Спейшим» и др. [1]. Скорость воздуха  $W_2$  в полном сечении колонны изменялась в пределах 0,3—1,25 м/сек, плотность орошения  $L = 10,6 \div 28,3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ . Исследования проводились на одной тарелке диаметром 300 мм. Каждый опыт повторялся 3 раза и к обработке принимались средние значения. Коэффициент массоотдачи определялся из уравнения:

$$G = L(x_n - x_k) = \beta_{ж} F \Delta x_{ср}, \quad (1)$$

где  $G$  — количество десорбируемого газа, кг/сек;

$L$  — расход жидкости, м<sup>3</sup>/сек;

$x_n, x_k$  — концентрация  $\text{CO}_2$  в жидкости на входе и выходе с тарелки, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta_{ж}$  — коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, отнесенный к 1 м<sup>2</sup> поверхности контакта фаз, м/сек;

$F$  — поверхность контакта фаз, м<sup>2</sup>;

$\Delta x_{ср}$  — средняя движущая сила процесса, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения движущей силы процесса была принята физическая модель полного перемешивания по жидкости и полного вытеснения по газу. Для этого случая  $\Delta x_{ср} = x_k - x_p$ , (2)

где  $x_p$  — равновесная концентрация  $\text{CO}_2$  в воде.

Так как  $x_p \ll x_k$ , то для расчета можно принять  $\Delta x_{ср} = x_k$ .

Величину межфазной поверхности определяли методом фотографирования газо-жидкостного слоя на тарелке с последующей статистической обработкой фотографий. Этот метод дает надежные результаты при равномерной структуре слоя, имеющей место на переточных тарелках [2], к которым относятся исследуемые. Достоинством метода фотографирования является то, что он позволяет определить средний поверхностно-объемный диаметр пузырька  $d_n$  и газосодержание слоя  $\varphi_2$ .

Для фотографирования газо-жидкостного слоя была применена фотокамера типа «Киев-10», дающая возможность работать с выдержкой  $1/1000$  сек при наличии зеркального визира. Съемка производилась с помощью короткофокусного объектива «Мир», что позволило получить большую глубину изображаемого пространства. Каждый режим фотографировался не менее трех раз. Полученные отпечатки обрабатывались наложением на них стеклянного диапозитива с плоским изображением трехмерного пространства в виде куба, состоящего из  $n$  отрезков длиной  $l$ . Всего обработано около 400 фотографий газо-жидкостного слоя.

Поверхностно-объемный диаметр пузырьков определялся по уравнению:

$$d_n = \frac{3lh}{2CM} \text{ м}, \quad (3)$$

где  $h$  — число отрезков, попадающих внутрь пузырьков;

$C$  — число отрезков, пересекающих периметры пузырьков;

$M$  — масштаб фотографии.

Величина газосодержания слоя находилась по  $\varphi_2 = h/2n$ , (4)

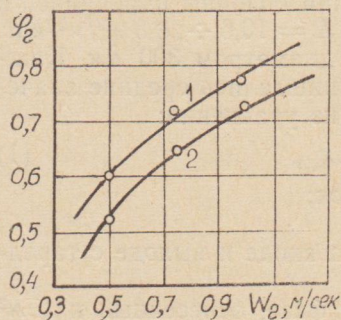
а также проверялась по формуле:  $\varphi_2 = 1 - \frac{\Delta P_n}{\gamma_{жс} H_n}$ , (5)

где  $\Delta P_n$  — гидравлическое сопротивление газо-жидкостного слоя на тарелке,  $\text{н/м}^2$ ;  $\gamma_{жс}$  — удельный вес жидкости,  $\text{н/м}^3$ ;

$H_n$  — высота газо-жидкостного слоя,  $\text{м}$ .

Значения  $\varphi_2$ , полученные по формулам (4) и (5), практически совпадают.

В результате обработки опытных данных получена следующая зависимость для расчета среднего диаметра пузырьков:  $d_n = 0,0115 Re_2^{-0,05} \text{ м}$ , (6)



Значения  $L, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$ :  
1 — 0,00296; 2 — 0,0059.

где  $Re_2 = \frac{W_o d_o}{\nu_2}$  — критерий Рейнольдса для газа;

$W_o$  — скорость газа в отверстиях тарелки,  $\text{м/сек}$ ;

$d_o$  — диаметр отверстий,  $\text{м}$ .

Зависимость величины  $\varphi_2$  от скорости газа в свободном сечении колонны и плотности орошения для клапанной тарелки типа «Глитч» со свободным сечением 10,3% показана на рисунке.

Для определения величины газосодержания можно пользоваться формулой [3]:

$$\varphi_2 = 0,62 Fr^{0,1}, \quad (7)$$

где  $Fr = W_2^2 / gh_0$  — критерий Фруда;

$h_0 = \Delta P_n / \gamma_{жс}$  — высота слоя светлой жидкости на тарелке,  $\text{м}$ .

При этом отклонение полученных нами опытных данных от рассчитанных по формуле (7) не превышало  $\pm 10\%$ .

Удельная объемная поверхность контакта фаз определялась по соотношению:

$$a = \frac{6 \varphi_2}{d_n} \text{ м}^2/\text{м}^3, \quad (8)$$

а общая поверхность контакта фаз как произведение:  $F = a H_n F_m$ , (9)  
где  $F_m$  — рабочая площадь тарелки,  $\text{м}^2$ .

Анализ показал, что коэффициент массоотдачи  $\beta_{ж}$  не зависит от скорости газа  $W_2$  в колонне. Однако с увеличением  $W_2$  повышается величина межфазной поверхности  $F$ , вследствие чего растет значение коэффициента массоотдачи, отнесенного к единице площади тарелки  $\beta_{ж}A$ .

Так как известно, что показатель степени при коэффициенте молекулярной диффузии  $D_{ж}$  в степенной зависимости  $\beta_{ж}$  от  $D_{ж}$  равен 0,5 [2, 4], а вязкость жидкости в наших опытах не изменялась, то обработка экспериментальных данных по массообмену в жидкой фазе осуществлялась в координатах  $Nu_{ж}/Pr_{ж}^{0,5} = f(Re_{ж})$ .

В качестве определяющего геометрического размера в критериях  $Nu_{ж}$  и  $Re_{ж}$  принят эквивалентный диаметр жидкого потока, определяемый по уравнению (5):

$$d_{эж} = \frac{4(1 - \varphi_2)}{a} \text{ м.} \quad (10)$$

Истинная скорость движения жидкости на тарелке определялась по уравнению:

$$W_{ж} = \frac{L}{1 - \varphi_2} \text{ м/сек,} \quad (11)$$

где  $L$  — плотность орошения,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$ .

В результате обобщения опытных данных по массоотдаче в жидкой фазе получено критериальное уравнение:

$$Nu_{ж} = 0,46 Re_{ж}^{0,95} Pr_{ж}^{0,5}, \quad (12)$$

где  $Nu_{ж} = \beta_{ж} d_{эж} / D_{ж}$  — диффузионный критерий Нуссельта для жидкости;

$Re_{ж} = W_{ж} d_{эж} / \nu_{ж}$  — критерий Рейнольдса для жидкости;

$Pr_{ж} = \nu_{ж} / D_{ж}$  — критерий Прандтля для жидкости.

Уравнение (12) позволяет рассчитывать коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, отнесенный к единице межфазной поверхности на переточных клапанных тарелках. Отклонения опытных значений  $\beta_{ж}$  от расчетных находятся в пределах  $\pm 20\%$ .

#### ВЫВОДЫ

1. По полученному уравнению (6) можно определять поверхностно-объемный диаметр пузырька.
2. Уравнение (7) применимо для расчета величины газосодержания на клапанных тарелках.
3. Полученное критериальное уравнение можно использовать для расчета коэффициента массоотдачи в жидкой фазе, отнесенного к единице межфазной поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малевич И. Ф. Клапанные тарелки ректификационных и абсорбционных аппаратов. ЦНИИТЭИПищепром, М., 1971.
2. Рамм В. М., Гильденблат И. А. Теорет. основы хим. технол., 4, № 1, 20, 1970.
3. Петушинский Л. Н. Исследование гидродинамики и массопередачи в колоннах с клапанными тарелками. Автореф. канд. дисс., МХТИ им. Менделеева, М., 1971.
4. Гильденблат И. А., Родионов А. И., Демченко Б. И. Теорет. основы хим. технологии, 6, № 1, 10, 1972.
5. Кафаров В. В. Основы массопередачи. Изд. «Высшая школа», М., 1972.