

УДК 66.02

Д.Г. Калишук

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТАРЕЛОК СО СТАЦИОНАРНЫМИ КЛАПАНАМИ

Описаны конструкции современных массообменных тарелок со стационарными клапанами. Указана актуальность экспериментального исследования их гидродинамических характеристик. Представлены конструктивные параметры исследованных тарелок со стационарными клапанами. Изложены результаты эксперимента по определению гидравлического сопротивления и уноса жидкости.

**Ключевые слова:** массообменная тарелка, стационарный клапан, сухая тарелка, орошаемая тарелка, гидравлическое сопротивление, унос жидкости.

D.G. Kalishuk

### STUDY OF HYDRODYNAMICS FROM PLATES WITH STATIONARY VALVES

The designs of modern mass transfer trays with stationary valves are described. The relevance of the experimental study of their hydrodynamic characteristics is indicated. The design parameters of the investigated trays with stationary valves are presented. The results of an experiment to determine the hydraulic resistance and liquid entrainment are presented.

**Keywords:** mass transfer tray, stationary valve, dry tray, irrigated tray, hydraulic resistance, liquid entrainment.

В современной колонной аппаратуре для процессов взаимодействия жидкости с газом (паром) используют клапанные тарелки с подвижными и со стационарными (неподвижными) клапанами. Последние из них начали массово производиться и использоваться в конце XX в. В известной автору учебной, фундаментальной, научной и справочной литературе, изданной на постсоветском пространстве, информация о тарелках со стационарными клапанами отсутствует. Промышленные каталоги и рекламные материалы производителей этих тарелок декларируют, что они проще и дешевле тарелок с подвижными клапанами, менее материалоемки и более надежны в работе. В РФ производителями

тарелок со стационарными клапанами являются ООО ИВЦ «Инжехим» [1] и АО ПО «Стронг» [2]. Из рис. 1 видно, что стационарный клапан – неподвижная пластинка, своей формой в плане повторяющая отверстие в основании тарелки и расположенная над этим отверстием.



Рис.1. Фрагменты тарелок со стационарными клапанами АО ПО «Стронг»: *а* – с трапециевидными клапанами; *б* – с овальными клапанами

В открытых источниках информации сведения о гидродинамических характеристиках тарелок со стационарными клапанами представлены фрагментарно, в основном в рекламном ключе. Этих сведений явно недостаточно для расчетов и проектирования колонной аппаратуры с указанными тарелками. Таким образом, нами проведены экспериментальные исследования гидравлического сопротивления сухих и орошаемых тарелок со стационарными клапанами, а также уноса жидкости с них. В модельных тарелках приняты клапаны простейшей арочной конструкции, размещенные над прямоугольными отверстиями в основании тарелки (рис. 2). Они подобны клапанам, которые выполняются на тарелках фирмы SULZER Chemtech. Размер отверстий в основании тарелки  $3$  составлял  $10 \times 20$  мм, эквивалентный диаметр боковых трапециевидных отверстий для выхода газа  $4 - d_3 = 7$  мм. Испытывались три модификации тарелок с относительным свободным сечением  $f_{св}$  равным 0,053, 0,106 и 0,209  $\text{м}^2/\text{м}^2$ . При исследованиях орошаемых тарелок также варьировалась высота сливного порога от 20 до 65 мм.

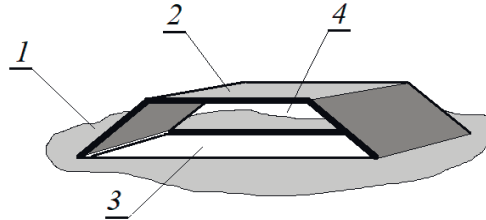


Рис. 2. Стационарный клапан экспериментальной тарелки:  
 1 – основание тарелки; 2 – клапан; 3 – отверстие в основании тарелки;  
 4 – боковое отверстие клапана

Модельными средами при проведении опытов являлись воздух и вода. Нагрузка по газу определялась с использованием фактора газовой нагрузки  $F_s$ ,  $\text{Па}^{0,5}$ , а по жидкости – с использованием линейной плотности орошения перелива  $q_L$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ :

$$F_s = w_y \sqrt{\rho_y}; \quad (1)$$

$$q_L = \frac{Q_x}{L}, \quad (2)$$

где  $w_y$  – фиктивная скорость газа через тарелку,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $\rho_y$  – плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $Q_x$  – объемный расход жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $L$  – длина сливного порога,  $\text{м}$ .

В результате исследований сухих тарелок было установлено, что их коэффициент сопротивления  $\xi$  в диапазоне изменения чисел Рейнольдса  $\text{Re}_y$  от 2000 до 22000 составлял: при  $f_{\text{св}} = 0,209 \text{ м}^2/\text{м}^2$  – 2,1 до 2,5; при  $f_{\text{св}} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$  – от 1,8 до 2,3; при  $f_{\text{св}} = 0,053 \text{ м}^2/\text{м}^2$  – от 1,6 до 1,8. Значение  $\text{Re}_y$  вычислялось:

$$\text{Re}_y = \frac{w_y d_3 \rho_y}{\mu_y f_{\text{св}}}, \quad (3)$$

где  $\mu_y$  – динамическая вязкость газа,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Возрастание  $\xi$  при увеличении  $f_{\text{св}}$  объясняется ростом потерь энергии встречных струй газа при более плотном размещении клапанов на тарелке. При этом величина  $\xi$  исследованных тарелок незначительно отличалась от  $\xi$  ситчатых тарелок [3].

При исследованиях орошаемых тарелок  $F_s$  изменялся от 0,8 до  $3 \text{ Па}^{0,5}$ , а  $q_L$  – от  $0,0003$  до  $0,0027 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ . Наиболее устойчиво работала тарелка с  $f_{\text{св}} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Для нее на рис. 4 представлена зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , Па, от  $F_s$ , а на рис. 5 – зависимость относительного массового уноса жидкости  $e$ , кг/кг.

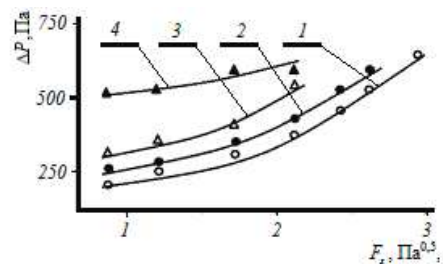


Рис. 3. Зависимость  $\Delta P$  орошаемой тарелки с  $f_{\text{св}} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$  от  $F_s$  при: 1 –  $q_L = 0,0003 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ ; 2 –  $q_L = 0,0006 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ ;  $q_L = 0,0012 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ ;  $q_L = 0,0027 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$

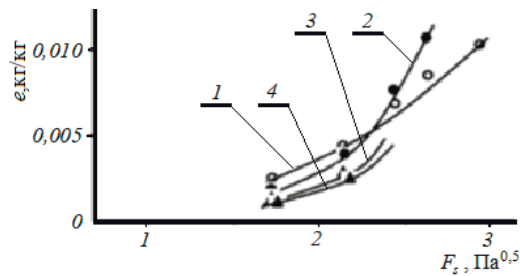


Рис. 4. Зависимость  $e$  для тарелки с  $f_{\text{св}} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$  от  $F_s$  при: 1 –  $q_L = 0,0003 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ ; 2 –  $q_L = 0,0006 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ ;  $q_L = 0,0012 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ ;  $q_L = 0,0027 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$

Значение  $e$  рассчитывалось по формуле:

$$e = \frac{V_x \rho_x}{Q_y \rho_y}, \quad (4)$$

где  $V_x$  – объемный расход жидкости, унесенной газом, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_x$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_y$  – объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с.

Из рис. 4 следует, что при  $F_s < 1,5 \text{ Па}^{0,5}$  значение  $e$  ничтожно мало.

#### Список литературы

1. Колонное оборудование [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.ingehim.ru/files/colonnoe --oborudovanie.pdf](http://www.ingehim.ru/files/colonnoe--oborudovanie.pdf) (дата обращения: 14.02.2020).
2. Внутренние устройства колонн. Каталог / АО ПО «Стронг». – СПб., 2015. – 24 с.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

#### Об авторе

**Калишук Дмитрий Григорьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессы и аппараты химических производств», Белорусский государственный технологический университет, e-mail: [dkadima15@gmail.com](mailto:dkadima15@gmail.com)