

## **УНОС ЖИДКОСТИ С МАССООБМЕННЫХ ТАРЕЛОК СО СТАЦИОНАРНЫМИ КЛАПАНАМИ**

*Аннотация.* Обоснована актуальность исследований гидродинамических параметров массообменных тарелок со стационарными клапанами. Описаны конструкции экспериментальных тарелок. Приведены результаты опытов по определению уноса жидкости с тарелок со стационарными клапанами в различных режимах их работы. Дан краткий анализ результатов эксперимента.

**D.G. Kalishuk, N.P. Saevitch**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Republic of Belarus

## **FLUID ENTRAINMENT FROM THE MASS TRANSFER TRAYS WITH STATIONARY VALVES**

*Abstract.* The relevance of studies of hydrodynamic parameters of mass-exchange trays with stationary valves is substantiated. Designs of experimental trays are described. The results of experiments on determining the entrainment of liquid from the trays with stationary valves in various modes of their operation are given. A brief analysis of the experimental results is given.

В колонных массообменных аппаратах для взаимодействия газа (пара) с жидкостью в настоящее время используются разнообразные тарелки, в том числе и клапанные. Обычно клапанные тарелки имеют подвижные клапаны [1]. В последние несколько десятилетий активно производятся, продвигаются на рынке химического оборудования и используются тарелки со стационарными (неподвижными, постоянными) клапанами [2–4]. По сравнению с тарелками с подвижными клапанами эти контактные устройства проще, менее материалоемки, дешевле, они также малочувствительны к загрязнениям. Информация о гидродинамических характеристиках тарелок со стационарными клапанами, в том числе и о уносе жидкости с них, в открытых источниках в основном представлена на качественном уровне. Известно, что верхняя граница рабочих скоростей газа (пара) через тарелку лимитируется принятым максимально допустимым уносом жидкости с этой тарелки. По этим причинам при разработке аппаратов с тарелками со стационарными клапанами требуется выполнять исследования их гидродинамических

характеристик, включающих эксперимент по определению уноса жидкости.

Исследованные авторами тарелки имели простейшие по форме и исполнению (прямоугольные, размером 10 на 20 мм, с высотой отверстий для выхода газа 5 мм) стационарные клапаны. Диаметр экспериментальных тарелок составлял 240 мм, они были изготовлены с различным числом клапанов и их взаимным расположением. Исследовались три образца тарелок. Первый образец тарелки имел относительное свободное сечение  $f_{св}$  равное  $0,209 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , второй –  $0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , а третий –  $0,053 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Схема экспериментальной тарелки с  $f_{св} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$  представлена на рис. 1.

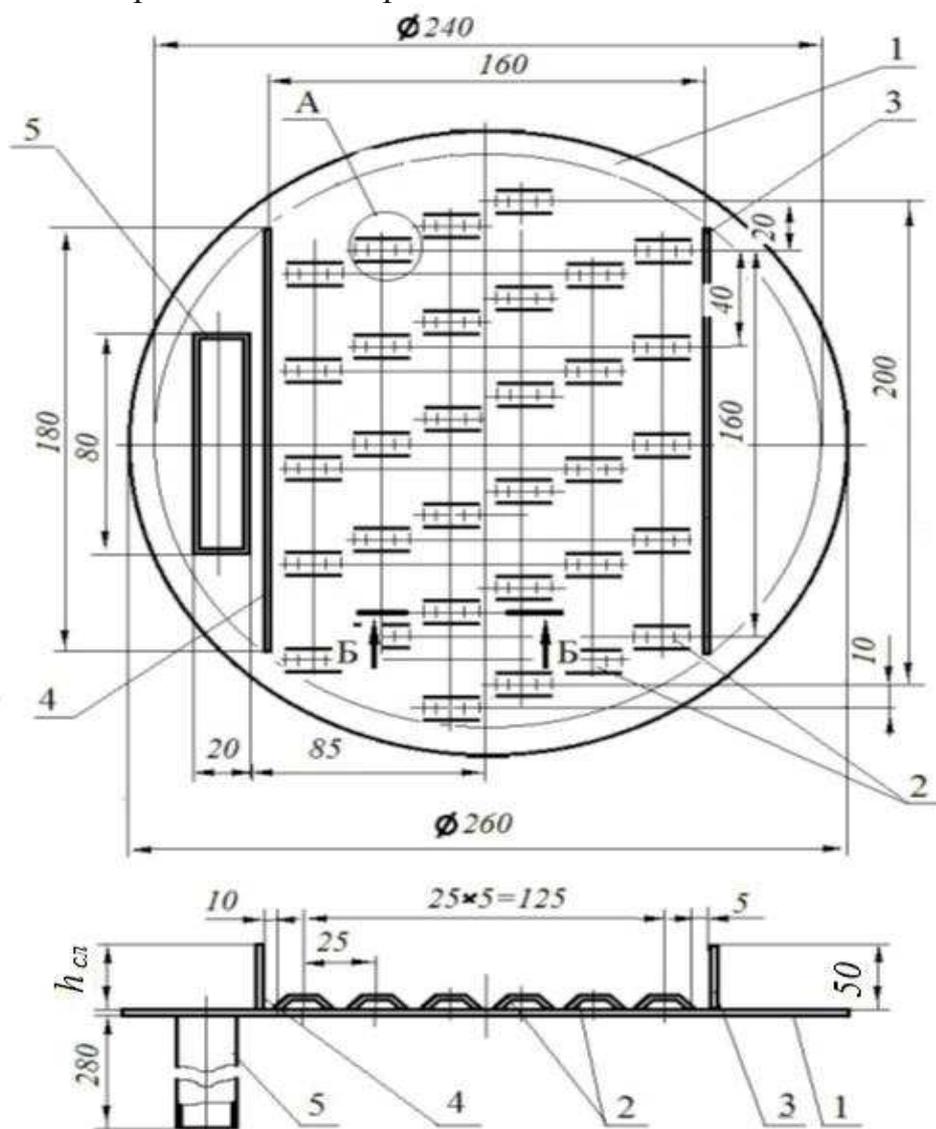


Рис. 1 – Тарелка с  $f_{св} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$

1 – основание тарелки; 2 – клапан; 3 – переливной порог;  
4 – сливной порог; 5 – труба переливная

Модельными средами являлись вода и воздух. При определении уноса с тарелок со стационарными клапанами проводились опыты при различных нагрузках по газу и жидкости, а также различных высотах сливного порога. Высота сливного порога  $h_{сл}$  составляла 0,025, 0,040 и 0,050 м при его длине  $L_{пер} = 0,180$  м. Нагрузка по жидкости на перелив  $q_L$  в различных сериях проведения опытов равнялась 0,0003, 0,0006, 0,0012 и 0,0027 м<sup>3</sup>/(м·с). Нагрузка по газу определялась значением фактора газовой нагрузки  $F_S$ , которое в ходе эксперимента варьировалось от 0,8 до 3,2 Па<sup>0,5</sup>. Величину  $q_L$  вычисляли по формуле:

$$q_L = \frac{Q_L}{L_{пер}}, \quad (1)$$

где  $Q_L$  – объемный расход жидкости через тарелку, м<sup>3</sup>/с.

Значение  $F_S$  определяли по зависимости:

$$F_S = w\sqrt{\rho_y} = \frac{Q_G}{S}\sqrt{\rho_y}, \quad (2)$$

где  $\rho_y$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_G$  – объемный расход газа через тарелку, м<sup>3</sup>/с;

$S$  – площадь поперечного сечения тарелки, м<sup>2</sup>.

Относительный объемный унос жидкости  $v_x$ , %, рассчитывали:

$$v_x = \frac{V_x}{\tau Q_L}, \quad (3)$$

где  $V_x$  – объем жидкости, унесенной с тарелки за время  $\tau$ , м<sup>3</sup>.

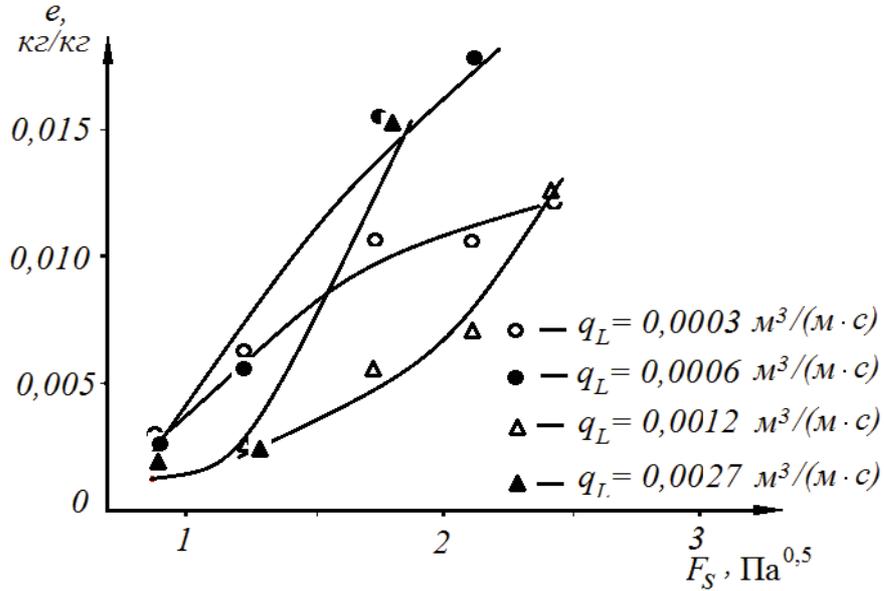
Относительный массовый унос жидкости  $e$ , кг/кг, определяли:

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

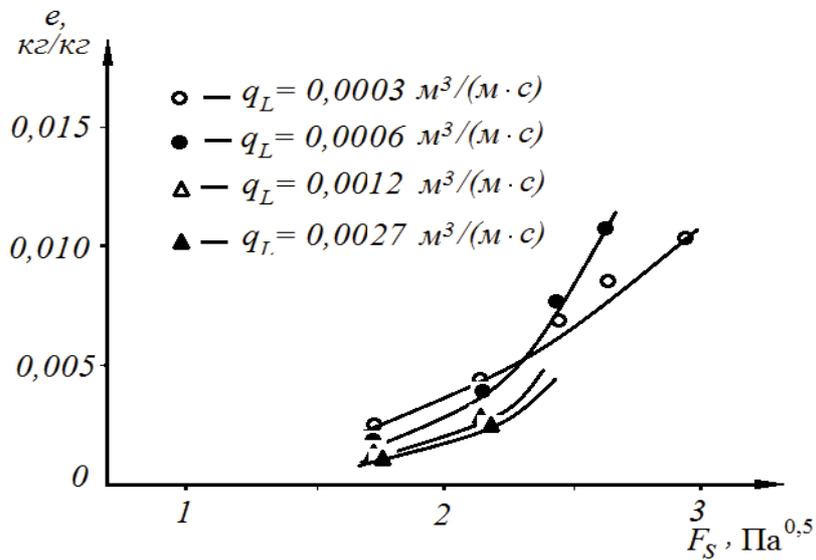
где  $\rho_x = 998$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воды.

Исследования показали, что наилучшие параметры работы, характеризуемые величиной диапазона устойчивой работы, имеют тарелки с  $f_{св} = 0,053$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> и  $f_{св} = 0,106$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> при значениях высоты сливной планки 0,04 и 0,05 м. В качестве примеров на рисунках 2 – 4 приведены для указанных выше тарелок зависимости относительного массового уноса жидкости  $e$ , от  $F$ -фактора и различных нагрузках по жидкости на перелив. Следует еще раз отметить, что нижний предел фактора газовой нагрузки  $F_S$  во всех сериях опытов составлял 0,8 Па<sup>0,5</sup>. Однако при  $F_S$  меньше определенной величины (меньше 1,8 Па<sup>0,5</sup> на

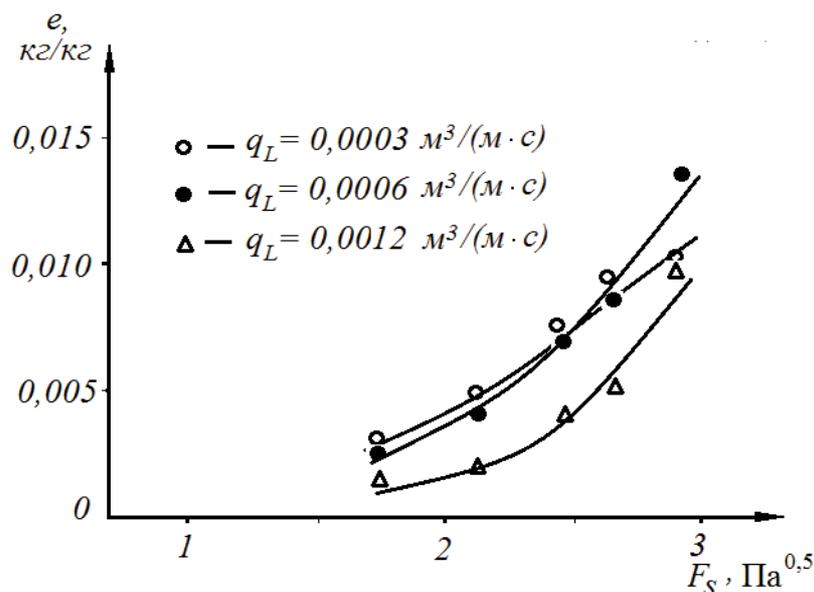
рис. 3 и 4) унос жидкости был настолько мал, что количественно в ходе эксперимента не определялся.



**Рис. 2 – Зависимость относительного уноса жидкости с тарелки с постоянными клапанами  $e$ , кг/кг, от значения фактора газовой нагрузки  $F_S$  при  $f_{св} = 0,053 \text{ м}^2/\text{м}^2$  и  $h_{сч} = 40 \text{ мм}$**



**Рис. 3 – Зависимость относительного уноса жидкости с тарелки с постоянными клапанами  $e$ , кг/кг, от значения фактора газовой нагрузки  $F_S$  при  $f_{св} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$  и  $h_{сч} = 40 \text{ мм}$**



**Рис. 4 – Зависимость относительного уноса жидкости с тарелки с постоянными клапанами  $e$ , кг/кг, от значения фактора газовой нагрузки  $F_S$  при  $f_{\text{св}} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$  и  $h_{\text{ст}} = 50 \text{ мм}$**

Во всех представленных на рисунках случаях унос жидкости составлял не более 10 % от ее количества, подаваемого на тарелку. Предварительные расчеты и их анализ показали: унос жидкости с тарелок со стационарными клапанами не превышает его величины ситчатых тарелок при идентичных нагрузках по жидкости и газу [5]. Однако для тарелок со стационарными клапанами диапазон устойчивой работы может достигать четырех и выше, что значительно больше, чем у ситчатых.

#### Список использованных источников

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973.
2. Клапанные тарелки EDV [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.bts.net.ua/column/edv](http://www.bts.net.ua/column/edv). – Дата доступа: 12.02.2020.
3. Колонное оборудование [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ingehim.ru/files/colonnoe--oborudovanie.pdf>. – Дата доступа: 14.02.2020.
4. Тарелки для переноса массы [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.rubbersealing.com/trays-Ru.html](http://www.rubbersealing.com/trays-Ru.html). – Дата доступа: 12.02.2020.
5. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976.