

## ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КЛАПАННЫХ ТАРЕЛОК

И. Ф. МАЛЕЖИК, В. Н. СТАБНИКОВ

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Приведены результаты исследования гидравлического сопротивления различных конструкций клапанных тарелок. Выявлено, что сопротивление клапанных тарелок при неполностью открытых клапанах увеличивается с увеличением веса клапана. В зоне равномерной работы сопротивление клапанных тарелок равняется сопротивлению ситчатых тарелок и не зависит от веса клапана. Даны уравнения для расчета гидравлического сопротивления клапанных тарелок и скорости газа (пара), необходимой для открытия клапана.

Среди новых конструкций контактных устройств значительный интерес представляют клапанные тарелки ректификационных аппаратов. Клапанные тарелки применяют в нефтяной и химической промышленности в основном двух типов: с пластинчатыми и дисковыми клапанами [1]. Имеющиеся данные об их работе довольно скудны и часто противоречивы.

Нами исследованы различные конструкции клапанных тарелок с целью изучения возможности их применения для элюации и ректификации этилового спирта. Мы сконструировали и изготовили несколько конструкций клапанных тарелок [2] и комплекты клапанов различной толщины и из различного материала. Во время опытов их меняли.

Работы проводили в двух направлениях, исследуя гидродинамические условия и эффективность работы клапанных тарелок. Гидродинамику исследовали на холодном стенде [2], где тарелки закрепляли между прозрачными царгами диаметром 300 мм. Сверху их орошали водой, а снизу через них продували воздух со скоростью 0—1,4 м/сек; плотность орошения 1,5—25 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·час.

Весьма важная величина при конструировании новых аппаратов — гидравлическое сопротивление тарелок, определяющее предел нагрузки колонны (предел захлебывания). Необходимо установить зависимость гидравлического сопротивления от конструктивных параметров и режимных условий.

Многие исследователи считают, что полное гидравлическое сопротивление барботажной тарелки любой конструкции является суммой сопротивления сухой тарелки, сопротивления, обусловленного силами поверхностного натяжения, и сопротивления газо-жидкостного слоя на тарелке. Рассмотрим значения их для различных конструкций клапанных тарелок, исследованных на системе воздух—вода.

Потеря напора в сухой клапанной тарелке выражается уравнением:

$$\Delta p_1 = \zeta \frac{w_0^2}{2g} \gamma_2 \quad (1)$$

где  $\zeta$  — коэффициент местного сопротивления, определяемый из опытных данных;

$w_0$  — скорость газа (пара) в отверстиях под клапаном, м/сек;

$g$  — ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>;

$\gamma_z$  — удельный вес газа (пара), кг/м<sup>3</sup>.

Найдено, что  $\zeta$  для клапанных тарелок в среднем составляет 1,2—2. При этом с увеличением скорости воздуха в свободном сечении колонны, а следовательно, с увеличением открытия клапанов коэффициент незначительно уменьшается. Это объясняется тем, что при большем открытии клапанов увеличивается свободное сечение тарелки; это уменьшает потери напора на преодоление местных сопротивлений.

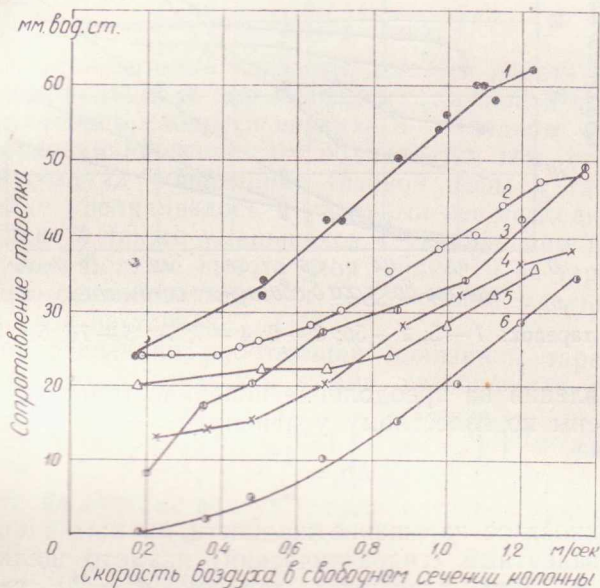


Рис. 1. Номера тарелок: 1 — 1, 1а; 2 — 1б; 3 — 1д; 4 — 2; 5 — 3; 6 — 9.

На рис. 1 показана зависимость сопротивления различных типов сухих тарелок с пластинчатыми клапанами, а на рис. 2 — с круглыми клапанами от скорости воздуха. Для сравнения на рис. 1 дана зависимость сопротивления от скорости воздуха для ситчатой тарелки, а на рис. 2 — для ситчатой и колпачковой тарелок. Как видно из рисунков, сопротивление большинства сухих клапанных тарелок с увеличением скорости воздуха в свободном сечении колонны и с увеличением веса клапана возрастало. Рис. 2 показывает, что сопротивление некоторых клапанных тарелок с увеличением скорости воздуха оставалось примерно постоянным. Это объясняется тем, что они имели наибольшее живое сечение и значительный вес клапанов. Поэтому с увеличением скорости воздуха клапаны включались постепенно, и тарелка начинала работать всем живым сечением (при полностью открытых клапанах) только при скорости воздуха  $> 1,4$  м/сек, а это уже выходило за пределы исследованной нами области скоростей. До открытия всех клапанов сопротивление оставалось постоянным, так как при увеличении скорости воздуха в свободном сечении колонны уве-



личивалось рабочее живое сечение тарелки, а скорость воздуха в щелях под клапанами оставалась постоянной.

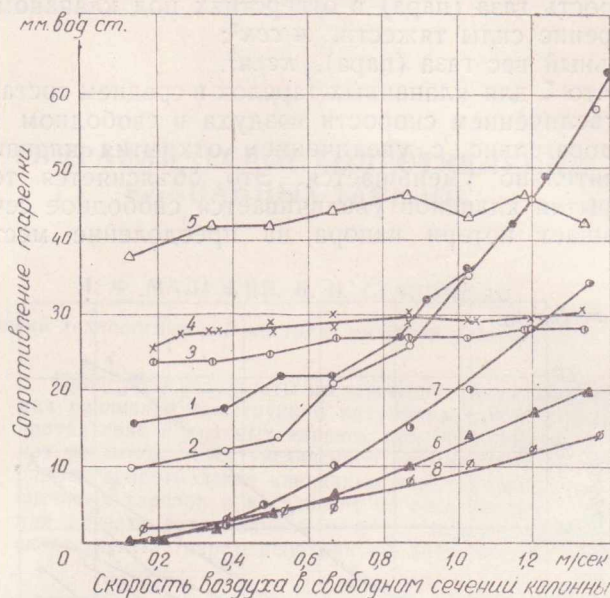


Рис. 2. Номера тарелок: 1—5; 2—5б; 3—6; 4—7, 7а; 5—7б; 6—8; 7—9; 8—10.

Потери давления на преодоление поверхностного натяжения могут быть определены по известному уравнению:

$$\Delta p_2 = \frac{4\sigma}{d_s}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение жидкости,  $\text{кг/м}$ ;

$d_s$  — эквивалентный (гидравлический) диаметр щели под клапаном,  $\text{м}$ . Для клапанных тарелок  $d_s = 2a$ , где  $a$  — высота щели под клапаном для прохода газа или пара,  $\text{м}$ .

Подставляя значение  $d_s$  в формулу (2), получим:

$$\Delta p_2 = \frac{4\sigma}{2a} = \frac{2\sigma}{a}. \quad (3)$$

При полностью открытых клапанах величина  $\Delta p_2$  настолько мала, что практически ею можно пренебречь.

Статическое давление столба барботируемой газом жидкости на тарелке определяется размерами сливной перегородки, плотностью орошения и удельным весом газо-жидкостного слоя на тарелке. Статическое давление жидкости на работающей тарелке состоит из давлений столба газо-жидкостного слоя ниже кромки сливной перегородки  $h_1$  и над кромкой сливной перегородки  $h_2$ .

Сопротивление газо-жидкостного слоя между верхней кромкой сливной перегородки и тарелкой составит:

$$h_1 = h_{cl} \frac{\gamma_{г-ж}}{\gamma_{ж}} \text{ мм ст. жидкости}, \quad (4)$$

где  $h_{cl}$  — высота сливной перегородки,  $\text{мм}$ ;

$\gamma_{г-ж}$  — удельный вес газо-жидкостного слоя,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\gamma_{ж}$  — удельный вес поступающей жидкости,  $\text{кг/м}^3$ .

Величина  $h_2$  определяется из уравнения водослива [3]:

$$h_2 = 2,84 \sqrt[3]{\frac{\gamma_{г-ж}}{\gamma_{ж}} \left(\frac{V}{l}\right)^2} \text{ мм ст. жидкости,} \quad (5)$$

где  $V$  — расход жидкости,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;  
 $l$  — длина сливной перегородки,  $\text{м}$ .

Тогда окончательное выражение для определения полного сопротивления газо-жидкостного слоя на тарелке будет:

$$\Delta p_3 = kh_{с.л} + 2,84 \sqrt[3]{k \left(\frac{V}{l}\right)^2} \text{ мм ст. данной жидкости,} \quad (6)$$

где  $k = \frac{\gamma_{г-ж}}{\gamma_{ж}}$ .

Результаты исследований показали, что при работе на системе воздух — вода коэффициент  $k$  для клапанных тарелок в среднем равнялся 0,5, с увеличением скорости воздуха в свободном сечении колонны он несколько уменьшался. Это объясняется тем, что при увеличении скорости воздуха содержание газовой фазы в газо-жидкостном слое на тарелке увеличивалось и удельный вес последнего уменьшался. Коэффициент  $k$  также уменьшался с увеличением высоты сливной перегородки; чем больше высота слоя жидкости на тарелке, тем лучше происходит пенообразование и тем меньше удельный вес газо-жидкостного слоя на тарелке.

Общее сопротивление работающей клапанной тарелки газовому или паровому потоку равняется сумме разобранных сопротивлений:

$$\Delta p = \zeta \frac{\omega_o^2}{2g} \gamma_2 + \frac{2\sigma}{a} + \left[ kh_{с.л} + 2,84 \sqrt[3]{k \left(\frac{V}{l}\right)^2} \right] \frac{\gamma_{жс}}{\gamma_в} \text{ мм вод. ст.} \quad (7)$$

При работе на системе воздух — вода, согласно данным наших опытов, можно принять  $\xi = 1,5$  и  $k = 0,5$ . Тогда уравнение (7) будет иметь вид:

$$\Delta p = 0,092 \omega_o^2 + \frac{2\sigma}{a} + 0,5 h_{с.л} + 2,25 \left(\frac{V}{l}\right)^{2/3} \text{ мм вод. ст.} \quad (8)$$

При сравнении значений сопротивлений, рассчитанных по уравнению (8), с опытными данными,

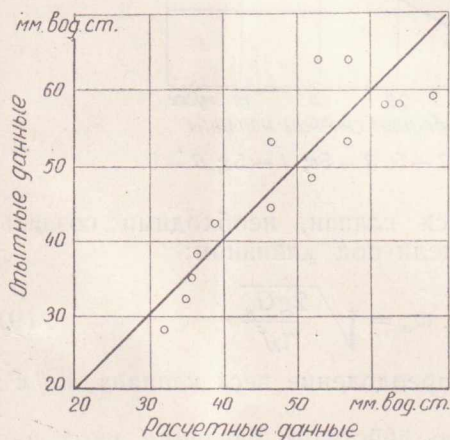


Рис. 3.

полученными на различных конструкциях клапанных тарелок, отклонения оказались в пределах  $\pm 15\%$  (рис. 3).

На рис. 4 показана зависимость полного сопротивления тарелок с пластинчатыми клапанами, а на рис. 5 — с круглыми от скорости воздуха при плотности орошения 16—17  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ . Для сравнения дана зависимость сопротивления ситчатой тарелки от скорости воздуха при аналогичных условиях работы.



Рисунки показывают, что при равномерной работе полное сопротивление клапанных тарелок с увеличением скорости воздуха в колонне возрастает и примерно равняется сопротивлению ситчатой тарелки такого же живого сечения и с равной высотой сливной перегородки.

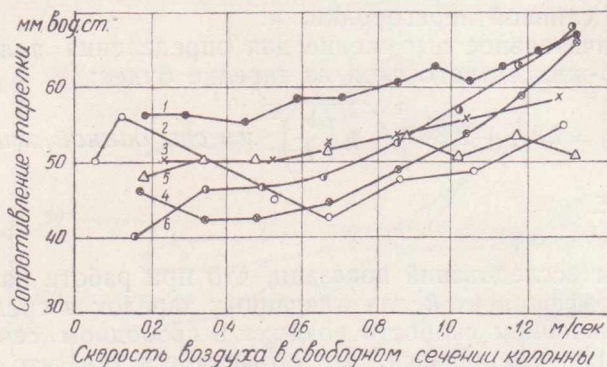


Рис. 4. Номера тарелок: 1 — 1б; 2 — 1в; 3 — 1г; 4 — 1о; 5 — 2; 6 — 9.

Сопротивление клапанной тарелки зависит от веса клапанов до тех пор, пока все клапаны не открываются полностью. В дальнейшем вес клапана не влияет на сопротивление клапанной тарелки и характер изменения этого сопротивления в зависимости от скорости газа (пара) не отличается от характера изменения сопротивления для колпачковой и ситчатой тарелок.

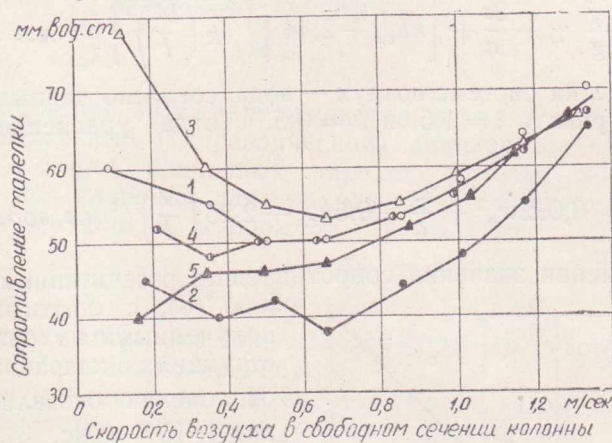


Рис. 5. Номера тарелок: 1 — 5а; 2 — 5; 3 — 5в; 4 — 5г; 6 — 9.

Чтобы на сухой тарелке открылся клапан, необходимо создать следующую скорость газа (пара) в щели под клапаном:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2g\Delta p_k}{\gamma_2}} \quad \text{или} \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{2gG_k}{\gamma_2 f}}, \quad (9)$$

где  $\Delta p_k$  — потеря напора, идущая на преодоление веса клапана,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;  
 $G_k$  — вес клапана,  $\text{кг}$ ;  
 $f$  — площадь клапана, на которую действует давление пара или газа,  $\text{м}^2$ .

Для орошаемой тарелки

$$\omega_o = \sqrt{\frac{2g(G_k + G_{жс})}{f\gamma_2}}, \quad (10)$$

где  $G_{жс}$  — вес столба жидкости над клапаном, кг.

### ВЫВОДЫ

1. Гидравлическое сопротивление клапанных тарелок в зоне равномерной работы приблизительно равняется сопротивлению ситчатых тарелок и может быть определено по уравнению (7).

2. В зоне неравномерной работы сопротивление клапанных тарелок увеличивается с увеличением веса клапана.

Кафедра процессов и аппаратов

Поступила 12 X 1961

### ЛИТЕРАТУРА

1. Brook W. E., Honnold D. E., Cunningham W. C., Huntington R. L. *Petrol. Engr.*, № 8, С—32, 1955.
2. Маложик И. Ф., Стабников В. Н. *Тр. Киевск. технол. ин-та пищ. пром-сти*, вып. 22, 158, 1960.
3. Багатуров С. А. *Теория и расчет перегонки и ректификации*, Гостоптехиздат, М., 1961.