

ISSN 0579—3009

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

**СПЕЦВЫПУСК**

*ПОСВЯЩЕН ДЕТСКОМУ МОЛОЧНОМУ ПИТАНИЮ*

1-3  
88

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВАЛА ЖИДКОСТИ НА ПРЯМОТОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

А. Н. ПРОХОРОВ, В. А. АНИСТРАТЕНКО

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт  
пищевой промышленности

Однонаправленные чешуйчатые тарелки получили широкое распространение в спиртовой и гидролизной промышленности. Рабочая часть тарелки состоит из выштампованных арочных прорезей, расположенных в шахматном порядке. Жидкость движется по контактно-му устройству от приемного до сливного карманов, откуда стекает по сливным трубам в приемный карман нижележащего контактного устройства. Пар, проходя через прорези рабочей части тарелки, передает жидкости свою кинетическую энергию.

Зависимость провала жидкости от режимных параметров является одной из важнейших рабочих характеристик контактного устройства.

Отмечено [1, 2], что 10%-ный провал происходит у приемной стороны тарелки, снижает ее эффективность на 20—25%.

В нашей работе рассмотрена упрощенная модель провала жидкости, происходящего у приемной части чешуйчатой тарелки. Контактное устройство рассматривается как канал прямоугольной формы шириной  $b$  и длиной  $l$ . Выделим элементарный участок тарелки  $\Delta x$  у приемочной части тарелки, где происходит провал жидкости, и запишем для него уравнение расхода и движения жидкой фазы в соответствии с [3],

$$\frac{d}{dx}(v_x h) + \varphi_1 v_n = 0; \quad (1)$$

$$\rho_L q h = \Delta P + \varphi_1 \rho_L v_n^2; \quad (2)$$

$$\frac{d}{dx}(v_x^2 h) + \varphi_1 v_x v_n = 0, \quad (3)$$

где  $v_x$  — скорость жидкости на полотне тарелки, м/с;

$v_n$  — скорость протекания жидкости сквозь полотно тарелки, м/с;

$\varphi_1$  — относительное свободное сечение тарелки, через которое протекает жидкость;

$h$  — высота слоя жидкости на тарелке, м;

$\Delta P$  — сопротивление сухой тарелки, Па;

$\rho_L$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Совместное решение уравнений (1) и (3) приводит к следующему условию

$$v_x h \frac{d}{dx}(v_x) = 0. \quad (4)$$

В начале пути жидкости по тарелке при  $x=0$

$$h = h_0 \text{ и } h(x) = \frac{L}{v_x}, \quad (5)$$

где  $L$  — удельная нагрузка по жидкости, м<sup>3</sup>/(м·с).

Для теоретического обоснования изменения величины скорости двухфазного потока по длине рабочей части тарелки рассмотрена модель процесса, которая не учитывает сил трения потока о контактное полотно тарелки. Это допущение правомочно, так как при работе контактного устройства в струйном режиме газожидкостный поток приподнят над тарелкой и движется в межтарелочном пространстве.

В основу модели заложена гипотеза, что все газовые струи обмениваются количеством движения с жидкостью.

Составим дифференциальное уравнение баланса количества движения для элементарной поверхности  $dS$ , через которую в единицу времени протекает жидкость объемом  $Q_c$  и проходит газ массой  $dM$

$$dM W_0 \cos \beta + Q_c \rho_L v_x = (dM + Q_c \rho_L) (v_x + \alpha v_x), \quad (6)$$

где  $W_0$  — скорость газа на выходе из прорезей чешуи, м/с;

$\beta$  — угол наклона осей прорези к плоскости тарелки, градус;

$v_x$  — скорость жидкой фазы, м/с;

$\rho_L$  — плотность жидкой фазы, кг/м<sup>3</sup>.

Масса газа, проходящего через элементарную поверхность, вычисляется

$$dM = \omega_k \rho_G dS, \quad (7)$$

где  $\omega_k$  — скорость газа над контактным слоем, м/с;

$\rho_G$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

Элементарная поверхность  $dS$  описывается системой уравнений

$$dS = 2\sqrt{R^2 - (R - K - x)^2} dx, \quad 0 \leq x \leq R - K; \quad (8)$$

$$dS = 2\sqrt{R^2 - (R + K - x)^2} dx, \quad R - K \leq x \leq 2(R - K),$$

где  $R - K = R_1$ ,  $R + K = R_2$ .

После ряда преобразований и вычислений получаем дифференциальное уравнение скорости жидкой фазы от изменения режимных и геометрических характеристик контактного устройства

$$\frac{2 \omega_k \rho_G}{Q_c \rho_L} \sqrt{R^2 - (R_{1,2} - x)^2} dx = \frac{dv_x}{W_0 \cos \beta - v_x}, \quad (9)$$

где  $R$  — радиус контактного устройства, м;

$R_{1,2}$  — рабочая часть контактного устройства, м.

В результате экспериментов была обнаружена неравномерность изменения давления по длине рабочей части тарелки. Неравномерность распределения давления по длине рабочей части зависит от величины скорости газа в колонне.

Математическая обработка опытных данных позволила установить функциональную зависимость, описывающую неравномерность распределения давления по длине рабочей части чешуйчатой тарелки

$$\Delta P = A_1 B_1^{-0,2x}. \quad (10)$$

где  $x$  — длина рабочей части тарелки, м;

$A_1, B_1$  — опытные коэффициенты,  $A_1 = 251$ ;  $B_1 = 2,7$ .

Так как статическое давление под контактным устройством распределяется неравномерно, то происходит неравномерное истечение газовой фазы по длине тарелки. Неравномерность истечения газовой фазы по длине тарелки рассчитываем по формуле

$$W_0 = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\xi \rho_G}}, \quad (11)$$

где  $\Delta P$  — давление под контактным устройством, Па;

$\xi$  — коэффициент гидравлического сопротивления неорошаемой тарелки.

Неравномерность истечения газовой фазы по длине чешуйчатой тарелки можно представить в виде

$$W_0 = AB^x, \quad (12)$$

где  $A$  и  $B$  — опытные коэффициенты,  $A = 21,9$ ;  $B = 0,4$ .

С учетом неравномерности распределения газовой фазы по длине рабочей части тарелки и при ширине стеновой колонны, равной  $b$ , м, дифференциальное уравнение можно записать

$$\frac{d}{dx}(v_x) + \alpha v_x b = \alpha f(x) b, \quad (13)$$

где  $f(x)$  — функция неравномерности истечения газовой фазы по длине рабочей части тарелки;

$\alpha = \frac{2 \omega_k \rho_0}{Q_c \rho_L}$  — режимный коэффициент работы контактного устройства.

Путем преобразований и решения уравнения (13) получаем формулу для расчета скорости жидкой фазы с учетом неравномерности истечения газовой фазы

$$v_x = e^{-abx} \frac{\alpha b A}{\ln B + ab} (e^{x(\ln B + ab)} - 1). \quad (14)$$

Высота слоя жидкости на контактном устройстве описывается уравнением

$$h(x) = \frac{h_0 e^{abx} (\ln B + ab)}{\alpha b A (e^{x(\ln B + ab)} - 1)}. \quad (15)$$

На рис. 1 представлен провал жидкости в зависимости от изменения скорости газа в колонне и плотности орошения. Из графика следу-

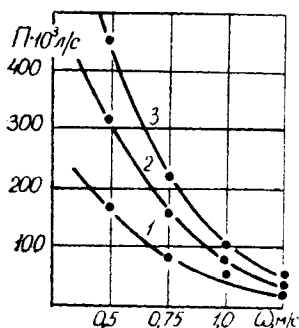


Рис. 1. Значения  $L, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ :  
1 — 0,00278; 2 — 0,00556;  
3 — 0,00833

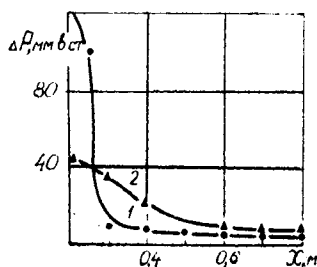


Рис. 2. 1 —  $h(x)$ ; 2 —  $\Delta P(x)$

ет, что провал увеличивается с повышением жидкостной нагрузки. При малых скоростях газа в колонне ( $\omega = 0,5-1,25 \text{ м/с}$ ) провал происходит по всей рабочей площади тарелки. При больших  $\omega$  в колонне провал происходит только у приемной части тарелки. Проанализируем это явление.

Из уравнения (3) и (4) следует, что

$$v_x \frac{dh}{dx} + \varphi_1 v_n = 0. \quad (16)$$

Из уравнения (2) следует, что

$$v_n = \sqrt{(\rho_L gh(x) - \Delta P(x)) / \rho_L \varphi_1}. \quad (17)$$

На рис. 2 представлены зависимости изменения статического давления и высоты слоя светлой жидкости по длине рабочей части тарелки при  $\omega = 1,5 \text{ м/с}$  в колонне. Из рисунка следует, что провал жидкости происходит только на начальном участке рабочей части тарелки, который равен  $x^* = 0,1 \text{ м}$ .

Количество чешуй, через которые происходит провал жидкости, определяется по формуле

$$n = \frac{x^* b}{a_1 a_2}, \quad (18)$$

где  $a_1$  — расстояние между рядами чешуй, м;

$a_2$  — расстояние между чешуями в одном ряду, м.

Оптимальными эксплуатационными характеристиками контактных устройств является  $a_1 = 42 \text{ мм}$ ,  $a_2 = 40 \text{ мм}$ .

Провал жидкости при больших  $\omega$  в колонне равен

$$\Pi = \pi v_n \varphi_1 = \frac{x^* b}{a_1 a_2} \sqrt{\frac{\varphi_1 (\rho_L g h(x) - \Delta P(x))}{\rho_L}} \quad (19)$$

В результате установлено значение  $\varphi_1 = 0,1$ .

Из испытаний следует, что в колоннах с чешуйчатыми тарелками провал жидкости происходит при значительных скоростях газовой фазы. Причиной провала является наличие переливной планки, создающей гидрозатвор сливного стакана контактного устройства. Поэтому необходимо разработать другую конструкцию гидрозатвора.

На рис. 3 представлена конструкция сливного стакана с утепленным гидрозатвором. Сливные устройства предложенной конструкции позволили ликвидировать провал жидкости у приемной стороны чешуйчатых тарелок при значительных скоростях газовой фазы ( $w = 1,25-2,0$  м/с). Производственные испытания, проведенные на Онежском гидролизном заводе, показали, что сливные устройства с утепленным гидрозатвором работают при более высокой жидкостной нагрузке ( $L = 100$  м<sup>3</sup>/(м·ч)) при неизменной скорости газа в колонне.

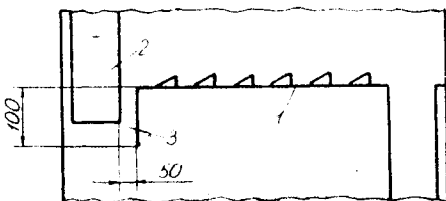


Рис. 3. 1 — полотно тарелки; 2 — сливной стакан; 3 — утепленный гидрозатвор

### ВЫВОДЫ

1. В результате использования идеализированных моделей провала жидкости и взаимодействия паровой и жидкой фаз получены формулы для вычисления провала жидкости по длине рабочей части тарелки.

2. Разработано сливное устройство с утепленным гидрозатвором, позволяющее ликвидировать провал у приемной стороны контактного устройства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Берковский М. А., Александров И. А. и др. Исследование массопередачи при перекрестно-прямоточном движении фаз. — Химия и технол. топлива и масел, 1971, № 1, с. 32.
2. Гинзбург М. С., Круглов С. А. Исследование эффективности массопередачи на клапанной прямоточной тарелке с учетом гидродинамической модели. — Теорет. основы хим. технол., 1980, 14, № 2, с. 289.
3. Чарный И. А. Неустойчившееся движение реальной жидкости в трубах. — М.: Недра, 1975. — 290 с.
4. Анистратенко В. А., Прохоров А. Н. Скорость движения жидкостного потока на чешуйчатых тарелках при неравномерности распределения газовой фазы. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1981, № 2, с. 66.