

## Раздел 1. ХОЛОД

УДК 621.75.44

# Гидродинамическое исследование модели контактного аппарата с орошаемой регулярной насадкой

Д.В. ВИНОГРАДОВ, канд.техн.наук В.Т. ПЛОТНИКОВ

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий

*In the article is presented method of data processing and results of the hydrodynamics experiments of the contact apparatus's nozzle.*

Гидродинамическое исследование контактного аппарата с насадкой [1] необходимо для получения основных характеристик регулярной насадки и обработки экспериментальных данных по тепло- и массопереносу при конденсации водяного пара на этой насадке. Насадка была разработана в Государственном институте азотной промышленности и представляет собой плоскопараллельную насадку с турбулизаторами. Общий вид насадки представлен на рис. 1. Во многих работах приводятся экспериментальные данные по гидродинамическому сопротивлению для ряда орошаемых насадок, таких, как кольца Рашига, кольца Паля, седла Берля, седла «Инталокс» [2, 3, 5]. Однако теоретические данные достаточно высокой точности по сопротивлению двухфазного потока при орошении регулярных насадок такого типа отсутствуют. Поэтому необходимо было провести исследование с целью определения возможности использования выражений, известных для указанных выше насадок, и получения расчетного выражения для определения гидродинамического сопротивления орошаемой регулярной насадки такого типа.

Схема экспериментального стенда представлена на рис. 2. Стенд состоит из корпуса модельного аппарата

2, самовсасывающего насоса 1, центробежного вентилятора 5. Внутри вертикально расположенного корпуса аппарата вмонтированы 18 слоев исследуемой насадки 3 с общей высотой блока  $H = 1$  м. Характер движения сред – противоток. Вода подается насосом в верхнюю часть аппарата, где для равномерного орошения насадки установлено форсуночное устройство. Воздух через патрубок с калиброванной диафрагмой 7, имеющий участок динамической стабилизации длиной 0,5 м, поступает в исследуемый аппарат ниже блока насадки. Диафрагма выполнена в соответствии с [3], диаметр отверстия диафрагмы 41,85 мм. Имеющийся

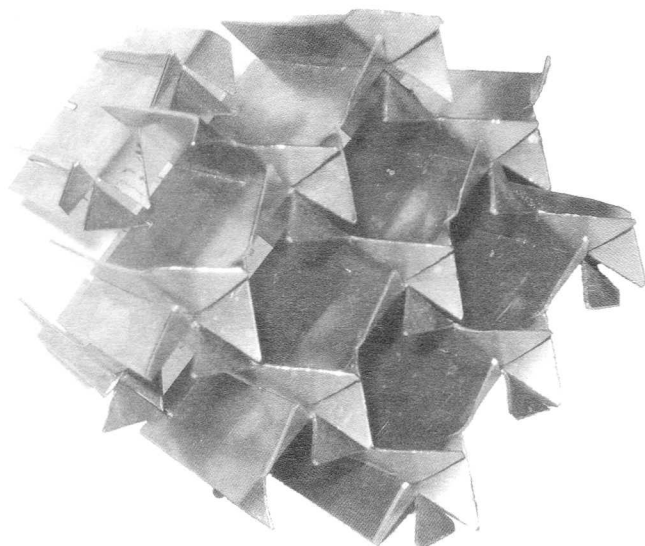


Рис. 1. Общий вид плоскопараллельной насадки с турбулизаторами

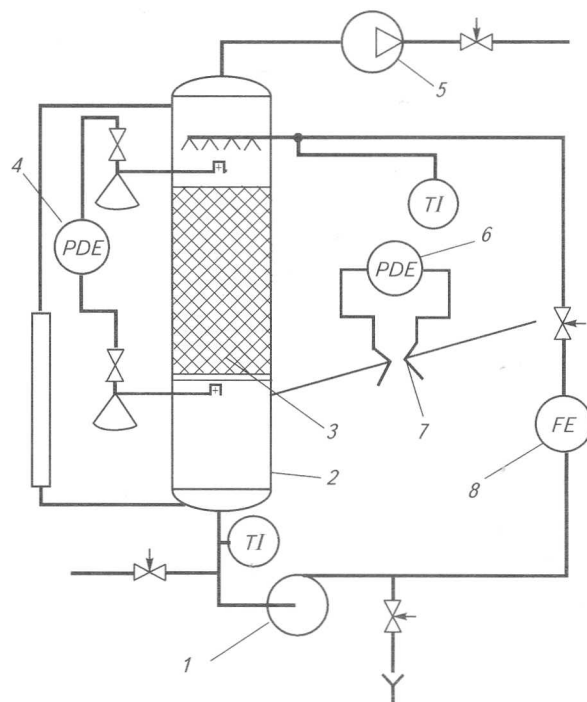


Рис. 2. Схема экспериментального стенда для исследования гидродинамического сопротивления орошаемой насадки:

- 1 – самовсасывающий насос; 2 – корпус модельного аппарата; 3 – блок исследуемой насадки;
- 4 – дифференциальный микроманометр;
- 5 – центробежный вентилятор;
- 6 – дифференциальный микроманометр;
- 7 – калиброванная диафрагма; 8 – расходомер

стенд позволил обеспечить режимы с максимальными объемными расходами воды  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  и воздуха –  $190 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что позволило получить данные при режимах ниже точки инверсии.

Условия проведения эксперимента:

$$t = 20,7 \dots 25 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{Re}_{\text{ж}} = 468,8 \dots 1086,3;$$

$$\text{Fr}_{\text{ж}} = 0,002775 \dots 0,016508;$$

$$\text{Re}_{\text{г}} = 1395,3 \dots 2760,1.$$

Основные характеристики насадки: коэффициент порозности  $E = 0,93$ ; удельная поверхность  $a = 132,2 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ; эквивалентный диаметр  $d_{\text{экв}} = 0,02826$ .

В ходе эксперимента измеряли следующие параметры: объемный расход воздуха – дифференциальным чашечным микроманометром  $b$  (см. рис. 2), класс точности 1;

температуру воздуха на входе в аппарат – лабораторным термометром с точностью  $0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

падение давления потока газа на насадке – дифференциальным чашечным микроманометром  $4$ , класс точности 1;

объемный расход воды, подаваемой в аппарат, – электромагнитным счетчиком-расходомером  $\delta$ , класс точности 1 (см. рис. 2);

температуру воды на входе и выходе из аппарата – медь-константановыми термопарами и вторичным преобразователем – цифровым комбинированным прибором Ш301-2.

*Методика обработки экспериментальных данных*

Большая часть массива полученных точек приходится на пленочный режим. Плотность орошения насадки  $U$  ( $\text{м}/\text{с}$ ):

$$U = \frac{V_w}{3600 F_a},$$

где  $V_w$  – объемный расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$F_a$  – свободная площадь поверхности поперечного сечения аппарата с насадкой.

Критерий Рейнольдса для воздуха

$$\text{Re}_b = \frac{4W_b}{av},$$

где  $v$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Наиболее полно экспериментальные данные по сопротивлению ряда орошаемых насадок обобщены в работах Тейтча [5] и Кафарова [2]. В основе обобщения [5] использован безразмерный комплекс  $K$ , а сопротивление орошаемой насадки соотнесено с аэродинамическим сопротивлением сухой насадки:

$$K = 0,12 \text{Fr}_{\text{ж}} \text{Re}_{\text{ж}}^{-0,8} (1 + 7,5 \cdot 10^{-5} \text{Re}_b),$$

где  $\text{Fr}_{\text{ж}}$  – критерий Фруда для жидкости;

$$\text{Fr}_{\text{ж}} = \frac{U^2 a}{9,81},$$

$\text{Re}_{\text{ж}}$  – критерий Рейнольдса для жидкости, рассчитан по плотности орошения [2],

$$\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{4U}{v_w a},$$

где  $v_w$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

Здесь можно выделить два основных фактора [5]:

$(\text{Fr}_{\text{ж}} \text{Re}_{\text{ж}}^{-0,8})$  – учитывает влияние жидкости на изменение свободных объемов насадки и площади живого сечения для потока газа;

$(1 + 7,5 \cdot 10^{-5} \text{Re}_b)$  – фактор турбулизации потоков, который при  $\text{Re}_b < 1500$  не оказывает существенного влияния.

В работе [5] произведено обобщение насадок типа колец Рашига, седел Бойля и «Инталокс», данные представлены для воды – воздуха, но ограничиваются доинверсионной областью. На рис. 3 показано сравнение линии  $\Delta p_0 / \Delta p = f(K)$ , представленной в [5], с нашими экспериментальными данными. Очевидно, что полученные точки, относящиеся к пленочному режиму, коррелируются с линией, представленной в [5]. Однако конечного выражения для определения сопротивления орошаемой насадки там не приводится.

Обработка, учитывающая гидродинамический режим, выполнена Кафаровым [2]. В основу положена зависимость

$$\Delta p_0 / \Delta p = f(C, U/\Gamma, \gamma_{\text{г}}/\gamma_{\text{ж}}, \mu_{\text{ж}}/\mu_{\text{г}}),$$

где  $C$  – безразмерная величина, являющаяся не только функцией гидродинамического состояния двухфазной системы, но и зависящая от свойств конкретной насадки;

$U/\Gamma$  – отношение массовых скоростей жидкости и газа;

$\gamma_{\text{г}}/\gamma_{\text{ж}}$  – отношение удельного веса газа и жидкости;

$\mu_{\text{ж}}/\mu_{\text{г}}$  – отношение коэффициента динамической вязкости жидкости и газа.

Ввиду того что аппараты подобного типа в основном работают при режимах ниже точки инверсии и в большинстве случаев при пленочном режиме мы получили

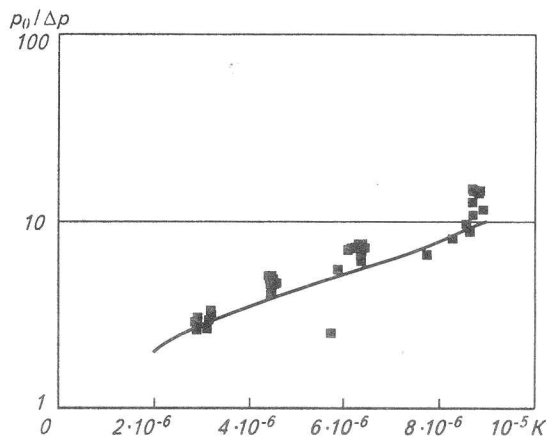


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных с линией Тейтча

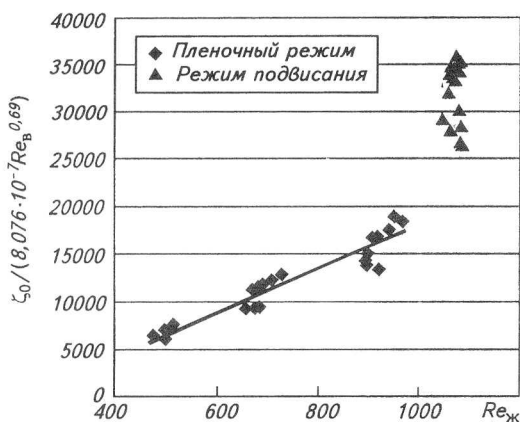


Рис. 4. Зависимость комплекса  $\zeta_0 / (8,076 \cdot 10^{-7} Re_B^{0,69})$  от критерия  $Re_{ж}$

для коэффициента местного сопротивления при орошении насадки для пленочного режима выражение

$$\zeta_0 = 8,076 \cdot 10^{-7} Re_{ж}^{1,42} Re_B^{0,69},$$

где  $\zeta_0$  – рассчитывается по выражению

$$\zeta_0 = \frac{8\Delta p_{ст} E^3}{aH\rho_B W_B^2},$$

где  $\Delta p_{ст}$  – разность статических давлений до и после насадки, Па;

$\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

На рис. 4 показана зависимость комплекса  $\zeta_0 / (8,076 \cdot 10^{-7} Re_B^{0,69})$  от критерия  $Re_{ж}$ . Точки, характерные для начала режима подвисяния, располагаются выше полученной линии. Начало режима подвисяния характеризуется переломом функции  $\Delta p_0 / \Delta p = f(Re_{ж}, Re_B)$ , что объясняется торможением жидкости потоком газа. Вследствие этого скорость течения жидкости уменьшается, а толщина ее пленки и количество удерживаемой насадкой жидкости увеличиваются. Режим подвисяния получен нами при максимальной плотности орошения насадки.

Максимальные относительные погрешности определения критерия Рейнольдса по воздуху не превышают 2,0 %; критерия Рейнольдса по воде – 2,1 %; коэффициента местного сопротивления при орошении – 14 %.

### Список литературы

1. Виноградов Д.В., Плотников В.Т. Результаты аэродинамического исследования насадки контактного конденсатора пароводяного теплового насоса // Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. – СПб, 2003, № 1(5).
2. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1962.
3. Правила 28 – 64, измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами.
4. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976.
5. Teutch T. Chem. Ing. Techn., 1964, Bd 36, № 5.