

РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ АППАРАТА УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ С РЕГУЛЯРНОЙ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

А.А.Волненко, Л.И.Раматуллаева, Б.Н.Корганбаев
ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент

В основе процесса осаждения частиц пыли в мокром пылеуловителе ударно-инерционного действия лежит так называемый «механизм удара». Эффективность подобного осаждения определяется инерционным параметром и скоростью истечения газового потока из отверстия. Важное значение для эффективности аппарата имеет расстояние от среза газоподводящего патрубка до зеркала жидкости. С уменьшением этого расстояния возрастает как эффективность аппарата, так и его гидравлическое сопротивление, и наоборот, с увеличением расстояния оба этих показателя снижаются. Поэтому поддержание оптимального уровня жидкости в аппаратах этого типа является определяющим условием их нормальной эксплуатации [1].

Основным параметром, характеризующим энергозатраты насадочных пылеулавливающих аппаратов, является гидравлическое сопротивление, а эффективность определяется степенью пылеулавливания. Нами проведены экспериментальные исследования гидравлического сопротивления и степени очистки аппарата ударно-инерционного действия с регулярной подвижной насадкой (УИД с РПН) в зависимости от режимных и конструктивных параметров [2]. Результаты этих исследований обобщены в следующей методике расчета.

Гидравлическое сопротивление аппарата УИД с РПН определим, исходя из аддитивности сопротивлений зоны эжекции и насадочной зоны:

$$\Delta P_{\text{ап}} = \Delta P_z + \Delta P_L, \quad (1)$$

где ΔP_z - гидравлическое сопротивление зоны эжекции, Па;

ΔP_L - гидравлическое сопротивление насадочной зоны, Па.

Уравнение для определения гидравлического сопротивления зоны эжекции имеет вид:

$$\Delta P_z = \lambda \frac{\rho_r \cdot W_{\text{пат}}^2}{2} + \rho_{\text{ж}} g [(1 - \varphi_z) \Delta h]. \quad (2)$$

Здесь Δh - количество вытесненной в насадочную зону жидкости, определяемое по формуле:

$$\Delta h = h_1 + h_0, \quad (3)$$

где h_1 - зазор между срезом готового патрубка и зеркалом жидкости, м;

h_0 - динамический уровень жидкости, определяемый скоростным напором газового потока, м.

Величину h_0 рассчитываем по формуле:

$$h_0 = \lambda \frac{W_{\text{пат}}^2}{2g}. \quad (4)$$

В этой формуле λ - опытный коэффициент, значение которого получено обработкой экспериментальных данных

$$\lambda = \frac{3,15}{\text{Re}_{\text{пат}}^{0,5}}, \quad (5)$$

здесь $\text{Re}_{\text{пат}} = \frac{W_{\text{пат}} \cdot d_{\text{пат}}}{\nu_{\text{г}}}$ - число Рейнольдса.

Газосодержание в зоне эжекции φ может быть определено по известной зависимости:

$$\varphi = 1 - \frac{1}{1 + \sqrt{F_r}}, \quad (6)$$

где F_r - модифицированное число Фруда:

$$F_r = \frac{\rho_{\text{г}} \cdot W_{\text{пат}}^2}{2\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot \Delta h}. \quad (7)$$

Гидравлическое сопротивление насадочной зоны определим по формуле:

$$\Delta P_L = \xi_L \frac{H}{t_{\text{в}}} \cdot \frac{\rho_{\text{г}} \cdot W_{\text{г}}^2}{2\varepsilon_0^2}. \quad (8)$$

Коэффициент сопротивления орошаемой насадки ξ_L учитывает степень взаимодействия вихрей в вертикальном и радиальном направлениях, потери давления на трение газа о поверхность жидкости и изменение уровня жидкости. Обработкой опытных данных получено выражение для определения ξ_L :

$$\xi_L = 0,7 \cdot \theta_{\text{в}} \cdot \theta_{\text{р}} \cdot \frac{\text{Re}_{\text{ж}}^{0,25}}{\text{Re}_{\text{г}}^{0,1}}, \quad (9)$$

где $\text{Re}_{\text{ж}}$ и $\text{Re}_{\text{г}}$ - критерии Рейнольдса по газу и жидкости, отнесенные к эквивалентному диаметру насадки.

Эквивалентный диаметр насадки $d_{\text{экв}}$, может быть определен по следующей зависимости:

$$d_{\text{экв}} = \frac{2(t_{\text{в}} \cdot t_{\text{р}}^2 - b^2 \cdot \delta_{\text{н}})}{b^2 + 2b \cdot \delta_{\text{н}}}. \quad (10)$$

Отличительной особенностью предлагаемого метода расчета гидравлического сопротивления насадочной зоны аппарата УИД с РПН является то, что для определения ΔP_L , найдена зависимость скорости течения эжектируемой жидкости в насадочную зону.

Рассматривая силы, действующие на эжектируемую жидкость, получено выражение для скорости движения жидкости в следующем виде:

$$U_{\text{ж}} = 0,024 \sqrt{g \cdot \Delta h}, \quad (11)$$

где 0,024 – опытный коэффициент, полученный сопоставлением значений гидравлического сопротивления противоточного аппарата с регулярной подвижной пластинчатой насадкой и аппарата УИД с РПН в условиях равенства расходов газового потока в насадочной зоне аппарата.

Сопоставление расчетных данных, вычисленных по уравнениям (2), (8) и (1) с экспериментальными, полученными при $W_{\Gamma} = 2 \div 7$ м/с; $h_1 = +0,03 \div -0,03$ м, показывает, что погрешность составляет $\Delta P_3 - \pm 10\%$; $\Delta P_L - \pm 11\%$; $\Delta P_{\text{ан}} - \pm 11\%$. Погрешность $h_0 - \pm 12\%$.

Суммарную эффективность процесса пылеулавливания в аппарате УИД с РПН рассчитывают по формуле:

$$\eta_{\text{общ}} = 1 - (1 - \eta_{St_k}) (1 - \eta_D) \quad (12)$$

где η_{St_k} и η_D – эффективность улавливания частиц за счет инерционного и диффузионного осаждения, соответственно.

Эффективность пылеулавливания за счет инерционного механизма рассчитывают по формуле:

$$\eta_{St_k} = 1 - \exp \left(- \frac{3}{2} \cdot \frac{m_y \cdot K_3 \cdot g_{\text{отн}} \cdot t_B}{U_k \cdot d_k} \right), \quad (13)$$

где $m_y = \frac{V_{\text{ж}}}{V_{\Gamma}}$ – величина удельного орошения, м³/м³;

$g_{\text{отн}} = |u_{\text{ч}} - u_{\text{к}}|$ – скорость осаждения частиц на капли, м/с;

$u_{\text{к}}$ – скорость движения капель, м/с;

d_k – диаметр капель, м;

K_3 – коэффициент захвата.

Коэффициент захвата рассчитывают по уравнению:

$$K_3 = \frac{St_k^2}{(St_k + 0,25)^2} \cdot \left(e^{-5,1 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{d_k}{d}} - e^{-4,5 \frac{\ell_k}{d_k}} \right), \quad (14)$$

где $St_k = \frac{\rho \cdot d \cdot u}{18 \mu_{\Gamma} \cdot d_k}$ – критерий Стокса;

μ_{Γ} – динамическая вязкость газа, Па·с;

$d_{\text{ч}}$ – диаметр частиц, м;

$\ell_k = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_{\Gamma} - \rho_{\text{ж}})}}$ – капиллярная постоянная, м;

σ – поверхностное натяжение, Н/м.

Диаметр капель жидкости в насадочной зоне рассчитывают по формуле:

$$d_k = B_k \cdot \xi_L^{1/3} \frac{\rho_{\text{ж}}^{1/6} \cdot d_{\text{стр}}^{2/3} \cdot \sigma^{1/3} \cdot U_{\Gamma}}{U_{\text{стр}}^{5/3} \cdot \rho_{\Gamma}^{1/2}}, \quad (15)$$

здесь $d_{\text{стр}}$ – диаметр струи, м;

$u_{\text{стр}}$ – скорость струи, м.

Диаметр струи определяют по уравнению:

$$d_{с\text{ тp}} = \frac{B_{с\text{ тp}}}{\xi_L^{2/5}} \cdot \frac{\sigma^{3/5} \cdot \delta_{пл}^{2/5}}{\rho_{ж}^{1/5} \cdot \rho_{г}^{2/5} \cdot U_{г}^{6/5}}, \quad (16)$$

а скорость струи:

$$U_{с\text{ тp}} = 1,28 \frac{\sigma^{1/2}}{\rho_{г}^{1/3} \cdot \rho_{ж}^{1/6} \cdot d_{с\text{ тp}}^{1/2}} \quad (17)$$

Эффективность пылеулавливания за счет диффузионного осаждения рассчитывают по формуле:

$$\eta_D = 1 - (1 - \eta') \cdot (1 - \eta''), \quad (18)$$

где η' и η'' – эффективность пылеулавливания зоны эжекции и насадочной зоны.

Эффективность пылеулавливания зоны эжекции рассчитывают по формуле:

$$\eta' = B'_k \cdot \left(\frac{W_{п\text{ ат}} \cdot d_{k1}}{D'_T} \right)^{-1/4}, \quad (19)$$

а эффективность пылеулавливания насадочной зоны по формуле:

$$\eta'' = B''_k \cdot \left(\frac{W_{г} \cdot d_{k1}}{D''_T} \right)^{-1/4} \quad (20)$$

Входящие в выражения коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывают по уравнениям:

для зоны эжекции:

$$D'_T = B_1 (\xi_{п\text{ ат}})^{1/3} \cdot \left(\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1}{\Delta h} \right)^{1/3} \cdot d_{k1}^{4/3} \cdot W_{п\text{ ат}} \cdot St_k; \quad (21)$$

для насадочной зоны:

$$D''_T = B_2 (\xi_L)^{1/3} \cdot (1 - \varepsilon_0)^{1/3} \cdot \left(\frac{H}{t_B} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1}{h_0} \right)^{1/3} \cdot d_{k1}^{4/3} \cdot u_{г} \cdot St_k. \quad (22)$$

Диаметр капель, образующихся в зоне эжекции, рассчитывают по формуле:

$$d_{k1} = B_{k1} \cdot \frac{\sigma^{3/5} \cdot (1 - \varphi_э)^{2/5} \Delta h^{2/5}}{\rho_{ж}^{1/5} \cdot \rho_{г}^{2/5} \cdot W_{г\text{ л}}^{6/5}}.$$

Таким образом, в результате проведенных исследований получены экспериментальные данные, которые обработаны в виде уравнений для расчета основных гидродинамических характеристик и параметров пылеулавливания.

Литература

- 1 Корганбаев Б.Н. Интенсивные массообменные аппараты с комбинированным взаимодействием вихревых потоков /Под ред. Волненко А.А. - Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауезова, 2001. – 98с.
- 2 Волненко А.А. Научные основы разработки и расчета вихревых массообменных и пылеулавливающих аппаратов: дис. ...докт. техн.наук.- Шымкент, 1999.-300с.

Қорытынды

Зерттеулер жүргізу нәтижесінде алынған эксперименттердің мәліметтері, шаңұстау параметрлерін және негізгі гидродинамикалық есептеулерге теңдеулер түрінде өңделген.

Summary

In the results of research given an experiential facts, which are worked up in form of equation to calculate the main hydrodynamical characteristics and catch dusting paramets.