

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ НА СТЕПЕНЬ ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ГАЗОВОГО ПОТОКА В ГАЗООЧИСТНОМ АППАРАТЕ

А.Е.Хусанов, Д.С. Сабырханов, Б.М. Калдыбаева, С.И.Худайкулов
ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент,
ТИИиМ, г.Ташкент

Исходя из разработанной теории, можно рассмотреть движение двухфазных потоков [1]. В качестве силы взаимодействия потока с наносом рассматриваются силы, возникшие вследствие обтекания частиц потоком. Применяя известные подходы из теории движения взаимопроникающих многофазных жидкостей, можно получить теорию движения несущего потока частицы твердого тела [2].

Для исследования задачи принимаем модель взаимопроникающих двухфазных потоков академика Х.А.Рахматулина и имеем:

$$\vec{V}_n(\vec{\nabla}, \vec{V}_n) = -\frac{1}{\rho_{ni}} \text{grad} p + \nu_n \nabla^2 \vec{V}_n + \frac{k}{\rho} (\vec{V}_p - \vec{V}_n) \quad (1)$$

$$\{\rho, n\} = (1.2) \quad \text{и} \quad p \neq n,$$

$$\text{div} \rho_n \vec{V}_n = 0, \quad \rho_n = f_n \rho_{ni}, \quad f_1 + f_2 = 1. \quad (2)$$

$$\text{границные условия:} \quad r=a \quad \vec{V}_n=0, \quad r=\infty \quad \vec{V}_n = u_{no} \vec{i} \quad (3)$$

где ρ_n, ρ_{ni} - приведенные и истинные плотности полной фазы смеси,
 $\vec{V}_n$ - вектор скоростей частиц n-ой фазы жидкости,
 f_n - объемная концентрация n-ой фазы жидкости.

$$\rho_n u_{no} \frac{\partial \vec{V}'_n}{\partial x} = -f_n \text{grad} p + f_n \mu_n \nabla^2 \vec{V}'_n + K(\vec{V}'_p - \vec{V}'_n) + K(u_{po} - u_{no}) \vec{i} \quad (4)$$

$$\text{div} \vec{V}'_n = 0$$

$$\vec{V}'_n = 0 \quad \text{при} \quad r=a, \quad \vec{V}'_n = 0 \quad \text{при} \quad r=\infty. \quad (5)$$

После проведения rot, div уравнение (4) имеет вид:

$$\nabla^2 p = 0$$

$$\rho_n u_{no} \frac{\partial \vec{\Omega}_n}{\partial x} = \mu_n f_n \nabla^2 \vec{\Omega}_n + K(\vec{\Omega}_p - \vec{\Omega}_n)$$

Течение симметрично относительно ОХ, как следует из [3] $\Omega_{nx}=0$.
Введем функцию: $\chi_n(x, y, z)$

$$\Omega_{ny} = -\frac{\partial \chi_n}{\partial z}, \quad \Omega_{nz} = \frac{\partial \chi_n}{\partial y}$$

$$\rho_n u_{no} \frac{\partial \chi_n}{\partial x} = f_n \mu_n \nabla^2 \chi_n + K(\chi_p - \chi_n) \quad (6)$$

Для относительных скоростей:

$$u'_n = -\chi_n + \frac{\partial \theta_n}{\partial x}; V'_n = \frac{\partial \theta_n}{\partial y}; W'_n = \frac{\partial \theta_n}{\partial z} \quad (7)$$

Из (2) получим:

$$\nabla^2 \theta_n = \frac{\partial \chi_n}{\partial x}$$

а) Сила взаимодействия двух фаз отсутствует [3]:

$$\rho_n u_{no} \frac{\partial \chi_n}{\partial x} = f_n \mu_n \nabla^2 \chi_n; \quad \nabla^2 \theta_n = \frac{\partial \chi_n}{\partial x} \quad (8)$$

$$\nabla^2 \left[\theta_n - \frac{f_n \mu_n}{\rho_n u_{no}} \chi_n \right] = 0$$

Относительно скорости:

$$u'_n = -\chi_n + \frac{\mu_n f_n}{\rho_n u_{no}} \cdot \frac{\partial \chi_n}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_n}{\partial x}; V'_n = \frac{\mu_n f_n}{\rho_n u_{no}} \cdot \frac{\partial \chi_n}{\partial y} + \frac{\partial \varphi_n}{\partial y};$$

$$W'_n = \frac{\mu_n f_n}{\rho_n u_{no}} \cdot \frac{\partial \chi_n}{\partial z} + \frac{\partial \varphi_n}{\partial z},$$

Решение (8): $\chi_n = e^{\frac{u_{no} x}{2v_n}} \psi_n(r)$

$$\nabla^2 \psi_n = \frac{u_n^2}{4v_n^2} \psi_n \quad \frac{d^2}{dr^2} (r \psi_n) - \frac{u_{no}^2}{4v_n^2} r \cdot \psi_n = 0.$$

Решая, получим $\psi_n = \frac{B_{n1}}{r} e^{\frac{u_{no} r}{2v_n}} + \frac{B_{n2}}{r} e^{-\frac{u_{no} r}{2v_n}}$

Учитывая условие не бесконечности [4]: $\psi_n = \frac{e^{-\frac{u_{no} r}{2v_n}}}{r}$

Фундаментальным решением является [1]:

$$\psi_n = \sum_{k=0}^{\infty} C_{kn} \frac{\partial^k}{\partial r^k} \left[\frac{e^{-\frac{u_{no} r}{2v_n}}}{r} \right] \quad \chi_n = -u_n^0 + e^{\frac{u_{no} x}{2v_n}} \sum_{k=0}^{\infty} C_{kn} \frac{\partial^k}{\partial x^k} \left[\frac{e^{-\frac{u_{no} r}{2v_n}}}{r} \right]$$

$$\varphi_n = \sum_{k=0}^{\infty} A_{nk} \frac{\partial^k}{\partial x^k} \left(\frac{1}{r} \right)$$

Учитывая то, что $x = r \cos \theta$, имеем:

$$\begin{aligned}\chi_n(r, \theta) &= -u_{no} + C_{no} \left[\frac{1}{r} - \frac{u_{no}}{2v_n} (1 - \cos \theta) + \frac{u_{no}}{2v_n} \cdot \frac{r}{2} (1 - \cos^2 \theta) \right] - \\ &- C_{n1} \left[\frac{\cos \theta}{r^2} + \frac{u_{no}}{2v_n} \cos^2 \theta \right] + C_{n2} \frac{3 \cdot \cos^2 \theta - 1}{r^3} + \dots; \\ \varphi_n(r, \theta) &= \frac{A_{no}}{r} - \frac{A_{n1} \cos \theta}{r^2} + A_{n3} \frac{3 \cos^2 \theta - 1}{r^3}\end{aligned}$$

Распределение скоростей вблизи обтекаемой сферы выражается следующим образом:

$$\begin{aligned}V_{nr} &= -\frac{3a[4v_n^2 - a^2 u_{no}^2]}{8\gamma_n - 3au_{no}} \cdot \frac{1}{r^2} - \frac{8a^3 v_n u_{no}}{8v_n - 3au_{no}} \cdot \frac{\cos \theta}{r^3} - \frac{12a v_n^2}{8v_n - 3au_{no}} \times \\ &\times \frac{\exp\left[-\frac{u_{no} r}{2v_n} (1 - \cos \theta)\right]}{r^2} \left[\left(1 + \cos \theta\right) \frac{u_{no}}{2v_n} + 1 \right] + u_{no} \cos \theta; \\ V_{no} &= -\frac{4a^3 v_n u_{no}}{8v_n - 3au_{no}} \cdot \frac{\sin \theta}{r^3} + \frac{6a v_n u_{no}}{8v_n - 3au_{no}} \frac{\sin \theta}{r} \cdot e^{-\frac{u_{no}}{v_n} (1 - \cos \theta) r} + \\ &+ \frac{6au_{no}}{8v_n - 3au_{no}} \exp\left[-\frac{u_{no}}{v_n} r (1 - \cos \theta)\right] - u_{no} \sin \theta\end{aligned}$$

Сила, действующая на контактное устройство:

$$W = \iint_S [(P_{1ss} + P_{2ss}) \cos \theta - (P_{1r\theta} + P_{2r\theta}) \sin \theta] ds.$$

Имеем:

$$W = 12a \left[\frac{f_1 u_{10} (a^2 \rho_{1i}^2 u_{10}^2 - 4\mu_1^2)}{a \rho_{1i} u_{10} - 8\mu_1} + \frac{f_2 u_{20} (a^2 \rho_{2i}^2 u_{20}^2 - 4\mu_2^2)}{a \rho_{2i} u_{20} - 8\mu_2} \right]$$

При обтекании контактного устройства потоком при малых скоростях получим:

$$W = 6af_1 \mu_1 u_{10} \left\{ \frac{1 - \frac{Re_1^2}{4}}{1 - \frac{Re_1}{8}} + \frac{f_2 \mu_2 u_{20}}{f_1 \mu_1 u_{10}} \frac{1 - \frac{Re_2^2}{4}}{1 - \frac{Re_2}{8}} \right\}$$

б) $Re_1 = Re_2$:

$$\frac{\rho_1 u_1}{f_1 \mu_1} = \frac{\rho_2 u_2}{f_2 \mu_2} = 2\alpha,$$

$$2\alpha \frac{\partial \chi_n}{\partial x} = \nabla^2 \chi_n = -k_n (\chi_p - \chi_n)$$

$$\left(k_n = \frac{k}{f_n \mu_n} \right)$$

$$\chi_n = e^{\alpha x} \psi_n$$

Получим:

$$\nabla^2 \psi_n - \sigma^2 \psi_n = 0$$

$$\sigma_1^2 = \alpha^2 + k_1 + k_2; \quad \sigma_2^2 = \alpha^2$$

Предположим:

$$\Psi_1 = \psi_1 - \psi_2; \quad \Psi_2 = \psi_1 - \frac{k_1}{k_1 - \alpha^2} \psi_2$$

$$\begin{aligned} \psi_1 &= \frac{k_2 e^{-\sigma_2 r} + k_1 e^{-\sigma_1 r}}{r(k_1 + k_2)}; & \chi_1 &= \frac{(k_1 e^{-\sigma_1 r} + k_2 e^{-\sigma_2 r}) \cdot e^{\alpha x}}{(k_1 + k_2)r}; \\ \psi_2 &= \frac{k_2 (e^{-\sigma_2 r} - e^{-\sigma_1 r})}{r(k_1 + k_2)} & \chi_2 &= \frac{k_2 (e^{-\sigma_2 r} - e^{-\sigma_1 r}) \cdot e^{\alpha x}}{(k_1 + k_2)r} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{1n} = u_{10} + & \left\{ 1 + \frac{1}{(k_1 + k_2)r^2} \sum (k_m - k_{mr} - k_m \sigma_m r + k_m \alpha r) \exp[-\sigma \hat{r} + \alpha x] + \right. \\ & \left. + \sum_{k=0}^{\infty} A_{1k} \frac{\partial^k}{\partial x^k} \left(\frac{1}{r} \right) \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{в) } \frac{\partial \chi_n}{\partial x} = \frac{V_n}{u_{no}} \nabla^2 \chi_n + k_{no} (\chi_\rho - \chi_n) \quad (10)$$

$$\chi_{n(x,y,z)} = e^{-x} \hat{\psi}_n(y,z)$$

$$\frac{\partial^2 \hat{\psi}_n}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \hat{\psi}_n}{\partial z^2} + \left(K \frac{u_{no}}{v_n} - K^* \right) \hat{\psi}_n + K_{\rho o}^* \hat{\psi}_n = 0$$

$$\frac{\partial^2 \tilde{\Psi}_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tilde{\Psi}_1}{\partial z^2} + B_1 \tilde{\Psi}_1 = 0$$

$$\frac{\partial^2 \tilde{\Psi}_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tilde{\Psi}_2}{\partial z^2} + B_2 \tilde{\Psi}_2 = 0$$

Или в цилиндрических координатах запишем так:

$$B_1 = K - \frac{u_{20}}{v_2}, \quad B_2 = -K \frac{u_{10}}{v_2} + \frac{K}{f_1 \mu_1}$$

$$\frac{\partial^2 \tilde{\Psi}_n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tilde{\Psi}_n}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \tilde{\Psi}_n}{\partial \theta^2} + B_n \tilde{\Psi}_n = 0$$

Методом разделения переменных:

$$\tilde{\Psi}_n(r, \theta) = \Psi_n(r) \cdot P_n \theta$$

Имеем решение:

$$\tilde{\Psi}_n(r, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} I_n(\sqrt{B_n} r) (A_n \cos \theta + B_n \sin \theta) \quad (11)$$

Пользуясь формулой, имеем:

$$\tilde{\Psi}_n = C_{1n} I_o(\sqrt{B_n} r) + C_{2n} K_o(\sqrt{B_n} r)$$

$$\hat{\psi}_n(r) = \sum_{k=1}^2 \left[C_{kn}^1 I_0(\sqrt{B_k} r) + C_{kn}^2 K_0(\sqrt{B_k} r) \right].$$

Литература

- 1 Хамидов А.А., Худайкулов С.И. Теория струй вязких многофазных жидкостей.-Ташкент: Фан, 2003. -140 с.
- 2 Чертоусов. М.Д. Специальный курс гидравлики.- Л.: Гидрометеиздат, 1964.
- 3 Штеренлихт Д.В. Гидравлика, кн.2.- М.: Энергоатомиздат, 1991.
- 4 Хамидов А.А. Плоские и осесимметричные задачи о струйном течении идеальной сжимаемой жидкости.- Ташкент: Фан, 1978.-120 с.

Қорытынды

Бұл ғылыми мақалада саптамамен жабдықталған аппараттың гидродинамикалық кедергісінің саптама элементтерінің пішініне байланыстылығының зерттеу нәтижелері қарастырылған. өзара әсерлесуші сұйық және газ фазаларының белгілі қозғалыс заңдылықтарына сүйене отырып саптама элементтерінің гидродинамикалық көрсеткіштері баяндалған.

Summary

In clause « Influence of contact devices on a degree of clearing of energy of a gas stream in разоочистном the device » is investigated movement streams. As force of interaction of a stream with a deposit the forces which have arisen owing to a flow of contact devices by a biphasе stream are accepted. Applying, known approaches from the theory of movement of interpenetrating multiphase liquids are received laws of movement of a bearing(carrying) stream and resistance of contact devices.