

МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПОРНЫХ ДВИЖЕНИЙ СМЕСИ В ТРУБОПРОВОДАХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Xayrullayev Rahmatillo Saydullayevich.

Toshkent Xalqaro Moliyaviy Boshqaruv Va Texnologiyalar Universiteti

E-mail: tillorahmatullaev56@gmail.com.

Xakimova Gulmira To'xtayevna

Toshkent Xalqaro Moliyaviy Boshqaruv Va Texnologiyalar Universiteti

E-mail: gulmirahakimova77@gmail.com

Abstract

To the article: "Modeling of pressure movements of the mixture in the pipelines of engineering structures" A uniform pressure flow of a dispersed mixture of water and suspended sediments is considered. The movement of the mixture in a round cylindrical tube is turbulent. An equation for the pressure movement of the mixture is given and the hydraulic parameters of the mixture are found.

Аннотация

К статье: «Моделирования напорных движений смеси в трубопроводах инженерных сооружений» Рассматривается равномерный напорный поток дисперсной смеси воды и взвешенных наносов. Движение смеси в круглой цилиндрической трубе является турбулентным. Приводится уравнение для напорного движения смеси и находятся гидравлические параметры смеси.

Аннотация

К статье: «Мухандислик қувурларидаги напорли суюқлик аралашмасы ҳаракатини моделлаштириш» Мухандислик қувурларида оқаётган напорли суюқлик ҳаракатида муаллақ сузувчи нанолар аралашмасы оқими дисперс аралашманинг текис напорли оқими деб қаралиб, бу ҳаракат учун ҳаракат тенгламаси ёзилиб, гидравлик параметрлари топилади.

Во многих задачах инженерных сооружений рассматривается равномерный напорный поток смеси - воды и взвешенных наносов, которая моделируется как дисперсная смесь. Рассмотрим турбулентное движение смеси в круглой цилиндрической трубе ($d_r \ll R_0$). Гидравлические параметры трубы: R_0 - радиус трубы; ω - площадь живого сечения; χ - смоченный периметр (рис.1). Для составления уравнения

равномерного движения смеси, в потоке напорного трубопровода выделяем два сечения, с расстоянием L - между сечениями (рис.1).

В напорном трубопроводе движется дисперсная смесь двух вязких жидкостей с динамической вязкостью смеси- $\mu_{см}$; плотностью смеси- $\rho_{см}$; со средней скоростью- $V_{см}$, где $\mu_{см} = f_1\mu_1 + f_2\mu_2$, $\rho_{см} = \rho_1 + \rho_2$, $\rho_n = \rho_{n_i} f_n$ здесь f_n и ρ_{n_i} - концентрация и истинные плотности фаз [1;2;3].

Касательное напряжение, обусловленное трением смеси состоит из отдельных касательных напряжений составляющих фаз смеси при стенке трубы $\tau_0 = \tau_{01} + \tau_{02}$ где τ_{0n} - касательное напряжение n -ю смеси на стенке трубы, которое для ламинарного движения определяется равенством [2] здесь

$$\tau_{0n} = f_n \mu_n \left(\frac{\partial V_n}{\partial n} \right)_{r=R_0} \quad (1)$$

где n –обозначает, производную по направлению нормальной к оси симметрии трубы. С учетом (1) выражение касательного напряжения для смеси ламинарного движения можно написать, как

$$\tau = f_1 \mu_1 \left(\frac{\partial V_1}{\partial n} \right)_{r=R_0} + f_2 \mu_2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial n} \right)_{r=R_0} . \quad (2)$$

Рассмотрим равновесное движение смеси между сечениями I-I и II-II.

Из рис.1, видно, что процесс равновесного движения смеси происходит под действием следующих

сил: силы тяжести смеси:

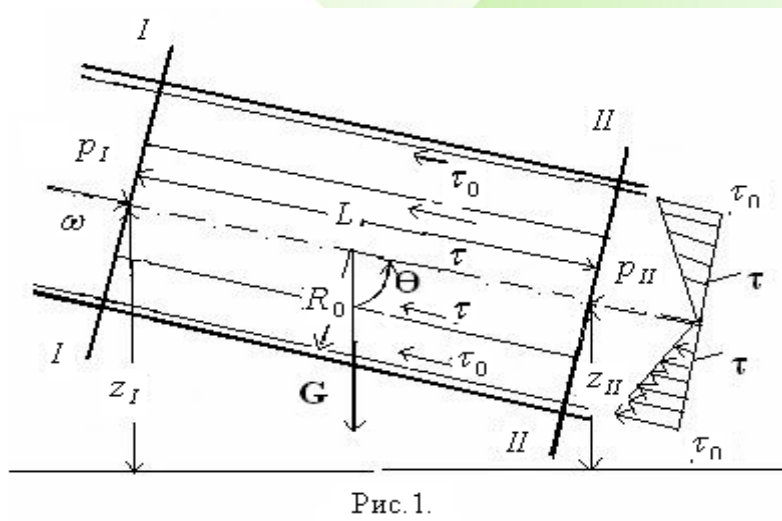


Рис.1.

$$G = (\rho_1 f_1 + \rho_2 f_2) \pi R_0^2 L g ;$$

силы гидродинамического давления P_I , P_{II} - действующие на сечения I и II , и тогда, равнодействующая этих сил- P определяется равенством:

$$P = (p_I - p_{II})\omega;$$

силы трения смеси со стенкой трубы:

$$T = \tau_0 2\pi R_0 L = \tau_0 \chi L;$$

а сила трения, выделенная с нутри потока объема, определяется равенством

$$T = \tau 2\pi r l;$$

а также из рис.1 имеем

$$z_1 - z_2 = L \cos \theta.$$

Для равномерного движения смеси средние скорости движения воды V_1 и взвешенных частиц V_2 , а также смеси V постоянны вдоль трубы, тогда можно считать, что:

$$\left[\alpha_1 \frac{\rho_1 V_1^2}{2} + \alpha_2 \frac{\rho_2 V_2^2}{2} \right]_I = \left[\alpha_1 \frac{\rho_1 V_1^2}{2} + \alpha_2 \frac{\rho_2 V_2^2}{2} \right]_{II} \quad (3)$$

где, α_1 и α_2 (всегда $\alpha_k > 1$) - коэффициенты кинетической энергии или (коэффициенты Кориолиса), поправочные коэффициенты, учитывающие неравномерности распределения скоростей движения воды и взвеси, соответственно; ρ_1 и ρ_2 - приведенные плотности воды и наносов, соответственно; V_1 и V_2 - средние скорости движения воды и наносов соответственно. С принятыми условиями составим уравнения равномерного движения смеси [1]:

$$(p_I - p_{II})\omega - \tau_0 \chi L + \rho_{см} g \omega L \cos \theta = 0,$$

откуда

$$p_I - p_{II} - \tau_0 \frac{\chi L}{\omega} + \rho_{см} g L \cos \theta = 0.$$

Учитывая, что равенство

$$z_1 - z_2 = L \cos \theta \text{ будем иметь:}$$

$$p_I - p_{II} - \tau_0 \frac{\chi L}{\omega} + \rho_{см} g (z_I - z_{II}) = 0.$$

Таким образом, для равномерного движения смеси имеем уравнение:

$$\left(z_I + \frac{p_I}{\rho_{см} g} \right) - \left(z_{II} + \frac{p_{II}}{\rho_{см} g} \right) = \frac{\tau_0 \chi L}{\rho_{см} g \omega} = h_{ол} \quad (4)$$

где $\frac{\tau_0 \chi L}{\rho_{см} g \omega} = h_{ол}$ тогда, для касательного напряжения смеси имеем выражение:

$$\tau_0 = \rho_{cm} g \frac{\omega}{\chi} \cdot \frac{h_{\partial l}}{L} \quad (5)$$

т.к. $\frac{\omega}{\chi} = R$ - гидравлический радиус и $\frac{h_{\partial l}}{L} = J$ - гидравлический уклон, тогда для круглой трубы с радиусом R_0 , $\tau_0 = \rho_{cm} g R J$. Гидравлический радиус круглой трубы- $R = \frac{R_0}{2}$, тогда касательное напряжение для смеси определяется

$$\tau_0 = \rho_{cm} g \frac{R_0}{2} J, \quad \tau = \rho_{cm} g \frac{r}{2} J. \quad (6)$$

Используя понятие динамической скорости или осредненную местную скорость в рассматриваемой точке потока u_* как $\frac{\tau_0}{\rho} = u_*^2$, для которой записываем выражение [1;2]:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = g R J \quad (7)$$

Или

$$u_* = \sqrt{\frac{\mu_1 f_1}{\rho_{1i} f_1 + \rho_{2i} f_2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial r} \right)_0 + \frac{\mu_2 f_2}{\rho_{1i} f_1 + \rho_{2i} f_2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial r} \right)_0}.$$

Принимая во внимание, что вдоль стенки трубы действует касательное напряжение, $\tau_0 = \rho g \frac{R_0}{2} J$, а внутри потока между слоями

$$\tau = \rho g \frac{r}{2} J.$$

Тогда касательное напряжение трения между слоями определяется равенством:

$$\tau = \tau_0 \cdot \frac{r}{r_0} \quad (8)$$

Таким образом, получили, что касательное напряжение при равномерном движении будет линейной функцией от радиуса (8). Из равенства (5) имеем, что

$$h_{\partial l} = \frac{\tau_0 L}{\rho_{cm} g R}. \quad (9)$$

Из равенств (7), (9) и (13) для динамической скорости имеем равенство:

$$\frac{\tau_0}{\rho} = u_*^2 = \frac{L}{g R} h_{\partial l} = \frac{g R}{g R L} \cdot \frac{L}{4 R} \cdot \frac{V^2}{2 g} \lambda = \frac{V^2}{8} \lambda \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{u_*^2}{V^2} 8,$$

где, λ - коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси) при равномерном движении потери напора по длине можно определить через касательное напряжение

смеси. Если поток смеси в трубе ламинарное, то для распределения скорости смеси будем иметь известный результат [3;4]:

$$\tau_{cm} = \pm \mu_{cm} \frac{dV_{cm}}{dr}.$$

Тогда из уравнения для выделенного объема между сечениями I и II получим выражения для средней скорости потока смеси:

$$V_{cm} = \frac{gJ}{4\nu_{cm}} (R_0^2 - r^2) \text{ где } \nu_{cm} = \frac{\mu_{cm}}{\rho_{cm}} \text{ здесь } \mu_{cm} = f_1\mu_1 + f_2\mu_2.$$

Расход смеси определяется равенством:

$$Q = \frac{\pi R_0^2}{2} u_{\max} = \frac{\pi gJ}{128\nu_{cm}} d_o^4 \quad (10)$$

где $u_{\max} = \frac{gJ}{4\nu_{cm}}$; а средняя скорость будет равной $V_{cm} = \frac{gJ}{8\nu_{cm}} R_0^2$;

коэффициент гидравлического трения имеет вид[4]:

$$\lambda = \frac{64}{Re_{cm}},$$

где $Re_{cm} = \frac{2R_0 V_{cm}}{\nu_{cm}}$. Скорости смеси определяется из равенств

$$V_{cm} = \frac{V_1 + \frac{f_2}{f_1} V_2}{1 + \frac{f_2}{f_1}}, \quad \hat{\rho} = \frac{\rho_{2i}}{\rho_{1i}}. \quad (11)$$

Теперь переходим к рассмотрению турбулентного движения смеси, для которой касательное напряжение смеси имеет вид:

$$\tau_{cm} = \rho_{cm} L_T^2 \left(\frac{dV_{cm}}{dr} \right)^2, \quad (12)$$

где $L_T = \phi \sqrt{\frac{r}{R_0}} (R_0 - r)$.

2.Теперь переходим к полностью турбулизированному потоку смеси в трубе, тогда, учитывая сильное воздействие инерционной силы, будем иметь следующее уравнение для определения средней скорости смеси в трубе:

$$\rho_{cm} \phi^2 (R_0 - r)^2 \frac{r}{R_0} \left(\frac{dV_{cm}}{dr} \right)^2 = \frac{\rho_{cm} g r J R_0}{2},$$

где ϕ - коэффициент Кармана, $\phi = F \cdot \phi_0$ где

$$F = \left(\frac{1 + \frac{f_2}{f_1} \hat{\rho} \frac{V_{20}^2}{V_{10}^2}}{1 + \frac{f_2}{f_1} \hat{\rho} \frac{Q_2^2}{Q_1^2}} \right)^{1/2}, \quad (13)$$

для воды $\phi_0 = 0.4$ [2]. Переводя в безразмерный вид, будем иметь:

$$\frac{dV_{cm}}{dr} = \frac{1}{2\phi} \sqrt{\frac{J}{Fr}} \cdot \frac{1}{1-r}.$$

Интегрируя, получим:

$$V_{cm} = \frac{1}{2\phi} \sqrt{\frac{J}{Fr}} \ln(1-r).$$

Уравнение для определения границы между двумя потоками с различными характерами движения имеет вид:

$$1-r_* = \exp \left[\frac{2\phi \text{Re}_{cm}}{16} \sqrt{\frac{J}{Fr}} \right]_0 (1-r_*^2),$$

где $\text{Re}_{cm} = \frac{2R_0 V_{cm}}{V_{cm}}$. Для горизонтальной трубы

$$h_z = \frac{d}{dl} \left(z + \frac{p}{\rho g} \right) = \zeta \frac{V^2}{2g}.$$

Потеря напора на трение в горизонтальной трубе при турбулентном движении смеси с мелкими наносами определяется как [4]:

$$h_{mp} = \zeta_0 \left(\frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{\rho_1 + \rho_2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} = \zeta_0 \left[V_1 + \frac{1-f_1}{f_1} \rho V_2 \right]^2 - \left[2g \left(1 + \frac{f_2}{f_1} \rho \right) \right]^{-2}.$$

Тогда, местные потери напора определяют по выражению:

$$h_m = \zeta_m \cdot \frac{h_{mp}}{\zeta_{mp}}.$$

Полный напор в трубе для смеси воды с наносами определяется равенством [3]:

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha_1^* V_1^2 + \alpha_2^* V_2^2}{2g}, \quad \alpha_n^* = \frac{\rho_n}{\rho} \alpha_n.$$

Для гидравлического уклона, имеем:

$$J = \frac{h_{mp}}{\ell} = \frac{1}{\ell} (H_1 - H_2),$$

где

$$H_m = z_m + \frac{p_m}{\rho g} + \left[\frac{\alpha_1 V_1^2 + \alpha_2 V_2^2}{2g} \right]_m.$$

Учитывая равенство [2] $J = \frac{dH}{dl}$ будем иметь уравнение:

$$\frac{dH}{dl} = -\frac{d}{dl} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha_1^* V_1^2 + \alpha_2^* V_2^2}{2g} \right);$$

а пьезометрический уклон для равномерного потока примет вид:

$$J = -\frac{d}{dl} \left(z + \frac{p}{\rho g} \right),$$

откуда получим уравнение для безнапорного движения в виде:

$$J + \frac{d}{dl} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha_1^* V_1^2 + \alpha_2^* V_2^2}{2g} \right) = 0. \quad (14)$$

Для равномерного потока, пьезометрический уклон, определяется из равенства (14) в виде:

$$J_n = -\frac{d}{dl} \left(z + \frac{p}{\rho g} \right).$$

Литература

- 1.Хамидов А.А. Плоские и осесимметрические струйные течения идеальной несжимаемой жидкости Ташкент, «Наука»1978г.
- 2.Нигматуллин Р.И. Динамика многофазных сред.– М.: Наука, 1987. 464 с.
- 3.Хамидов А.А., Худайкулов С.И «Теория струй многофазной вязкой жидкости «ФАН» 2003.140 с.
- 4.Хамидов А.А., Худайкулов С.И., Махмудов И.Э.«Гидромеханика» «ФАН» 2009. 360 с.