

МАССООБМЕН В ДВУХФАЗНОМ ДИСПЕРСНО-КОЛЬЦЕВОМ ВОСХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ

Карпушин М. Ю. студент, Кононенко А. П. к.т.н., доцент
Донецкий национальный технический университет

Приведены зависимости для определения доли массы капель жидкости дисперсно-кольцевого потока, не участвующих в массообменных процессах ядра потока и пристенной пленки.

При восходящем движении двухфазных дисперсно-кольцевых вертикальных потоков в них протекают процессы массообмена жидкости пристенной пленки с ядром потока, который представляет собой движущийся газ с жидкостными включениями (каплями).

Очевидно, что в процессе массообмена на определенном участке в течение определенного времени принимают участие не все капли ядра дисперсно-кольцевого потока. Найдем массовую часть капель, не участвующих в массообмене.

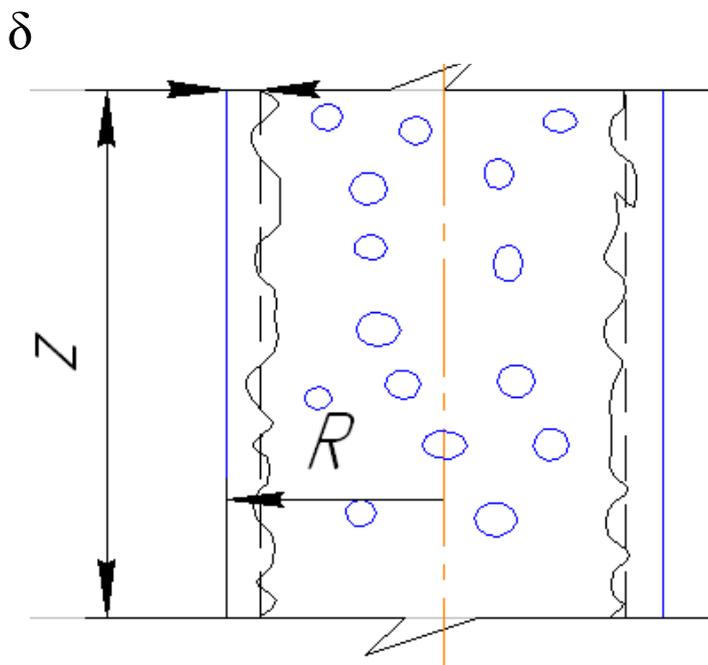


Рис. 1. Структура двухфазного дисперсно-кольцевого восходящего потока

Масса объема жидкости, заключенного между двумя исследуемыми сечениями вертикального трубопровода (рис. 1), по

которому протекает дисперсно-кольцевой восходящий поток, может быть определена как

$$m_{жс} = \rho' \cdot V' = \rho' \cdot Q' \cdot t, \quad (1)$$

где ρ' – плотность жидкой фазы; V' – объем жидкости, заключенный между двумя исследуемыми сечениями; Q' – расход жидкой фазы; t – время, за которое элементарная частица жидкой фазы проходит путь z от нижнего сечения к верхнему (на рис. 1).

Определим время t как среднее арифметическое между временем t_f прохождения пленкой жидкости длины трубы z и временем t_c прохождения каплями ядра потока той же длины

$$t = \frac{t_f + t_c}{2} = \frac{\frac{z}{v_f} + \frac{z}{v_c}}{2} = \frac{z}{2} \frac{(v_c + v_f)}{v_f \cdot v_c}, \quad (2)$$

где v_f – истинная скорость пленки жидкости; v_c – истинная скорость капель в ядре потока (принимается равной скорости газа в ядре потока).

Масса жидкости в объеме пленки

$$m_f = \rho' \cdot V_f = \rho' \cdot \pi \cdot [R^2 - R_c^2(z)] \cdot z = \rho' \cdot \pi \{ R^2 - [R - \delta(z)]^2 \} \cdot z, \quad (3)$$

где V_f – объем жидкости в пленке высотой z и толщиной δ ; R_c – радиус ядра потока; R – радиус трубопровода.

Теперь найдем массу жидкости в капелях, участвующих в массообмене. Интенсивность осаждения капель из ядра потока на пристенную пленку жидкости [1]

$$J_{cf} = \frac{2 \cdot m_c}{R_c} \cdot \frac{v_c}{v_c}, \quad (4)$$

где v_c – средняя поперечная скорость осаждения капель, которую можно определить из уравнения [1]

$$\frac{v_c}{v_c} = 0,3 \cdot (1 - 7,5[1 - \beta_c(z)]) \cdot \Pi, \quad (5)$$

где $\beta_c(z)$ – объемное воздухосодержание ядра газожидкостного потока; Π – параметр Крошила-Кухаренко.

Тогда масса капель жидкости, участвующих в массообмене на участке z с учетом (4) и (5)

$$m_c = \frac{J_{cf} \cdot R_c}{0,6(1 - 7,5[1 - \beta_c(z)]) \cdot \Pi} \quad (6)$$

Интенсивность осаждения капель на пленку можно найти из уравнения импульсов, составленного для ядра потока

$$\frac{d}{dz} \{ \rho''(z)[v_c(z)]^2 \cdot \omega_c(z) \} = -\omega_c(z) \cdot \frac{dp(z)}{dz} - F_v(z) - P_{cf}(z) - \rho''(z) \cdot \omega_c(z) \cdot g \quad (7)$$

где $\rho''(z)$ – плотность газа; $\omega_c(z)$ – поперечное сечение ядра потока; $dp(z)$ – перепад давления на длине z ; F_v – сила трения между пленкой и стенкой трубы, отнесенная к единице длины трубы; P_{cf} – инерционная сила капельного массообмена между ядром потока и пристенной пленкой, отнесенная к единице длины трубы

$$P_{cf}(z) = [J_{cf}(z) - J_{fc}^{(s)}(z)]v_c(z) - [J_{fc}(z) - J_{fc}^{(s)}(z)]v_f(z), \quad (8)$$

где J_{fc} – интенсивность уноса жидкости с пленки в ядро; $J_{fc}^{(s)}$ – интенсивность ударного брызгоуноса.

Если рассматривать течение на стабилизированном участке, когда $J_{cf} = J_{fc}$ и при $J_{fc}^{(s)} = k^{(s)}(z) \cdot J_{cf}(z)$, где $k^{(s)}(z)$ – коэффициент разбрызгивания пленки, то выражая интенсивность осаждения капель на пленку из последних уравнений и решая их совместно, получим

$$J_{cf} = - \left\{ \frac{\omega_c(z) \frac{dp(z)}{dz} + \frac{d}{dz} (\rho''(z)[v_c(z)]^2 \omega_c(z)) + F_v(z) + \rho_c(z) \omega_c(z) g}{(v_c(z) - v_f(z) - k^{(s)}(v_c(z) + v_f(z)))} \right\} \quad (9)$$

Теперь можем определить массу капель жидкости, не участвующих в массообмене на участке трубопровода высотой z за время t

$$m_{кнм} = m_{жс} - m_f - m_c, \quad (10)$$

$$m_{кнм} = \rho'(z) \cdot Q' \cdot \frac{z(v_f + v_c)}{2 v_f \cdot v_c} - \rho'(z) \pi (R^2 - (R - \delta)^2) - \frac{J_{cf}(R - \delta)}{0,6(1 - 7,5[1 - \beta_c(z)]) \cdot \Pi} \quad (11)$$

Доля капель, не участвующих в массообмене на данном участке трубы, определяется как

$$m_{кнм} = \frac{m_{кнм}}{m_k}, \quad (12)$$

где m_k – масса всех капель на исследуемом участке.

Список источников.

1. Нигматулин Б. И. Динамика многофазных сред. 2 т. М: Наука, 1987. – 328с.

