

УДК 66.015.23

ТРЕНИЕ В ВОСХОДЯЩЕМ ГАЗОЖИДКОСТНОМ ПОТОКЕ В КАНАЛЕ С ХАОТИЧНОЙ НАСАДКОЙ

Е.А. Лаптева, Е.Ю. Столярова, А.Г. Лаптев

Казанский государственный энергетический университет
tvt_kgeu@mail.ru

Резюме: Рассматривается подход определения касательного напряжения на поверхности раздела фаз газ-жидкость. В качестве примера выбрана газлифтовая труба. Труба заполнена мелкой хаотичной насадкой. Насадка применяется для интенсификации тепло- и массообменных процессов. Получено выражение для определения касательного напряжения на поверхности раздела. Для этого используется значение средней объемной скорости диссипируемой энергии, связанной с гидравлическим сопротивлением канала с насадкой.

Ключевые слова: хаотичная насадка, турбулентное движение, газожидкостный поток, касательное напряжение, динамическая скорость.

FRICITION IN ASCENDING GAS-LIQUID FLOW IN THE CHANNEL WITH CHAOTIC NOZZLE

E. A. Lapteva, E. Y. Stolyarova, A. G. Laptev

Kazan state power engineering University
tvt_kgeu@mail.ru

Annotation: The approach determining the shear stress at the interface. As an example chosen gazliftovaya pipe. The tube is filled with fine chaotic showerheads. Nozzle is used for intensification of heat and mass transfer processes, and thus for the calculation of the efficiency of transport phenomena theoretically necessary to determine the shear stress at the interface/ For this purpose, values of the average volumetric rate of energy dissipation.

Keywords: chaotic nozzle, turbulent flow, gas-liquid flow, shear stress, speed logic.

При использовании в расчетах тепломассообмена моделей пограничного слоя, а также гидродинамической аналогии переноса необходимо иметь среднее значение касательного напряжения трения τ на рабочих поверхностях аппаратов или каких-либо технических устройств.

В ряде случаев значение τ можно определить на основе известного перепада давления или коэффициента гидродинамического сопротивления. Однако при обтекании тел сложной геометрии или в аппаратах с подводом внешней энергии в рабочую зону вычислить τ не представляется возможным. Тогда используется подход определения среднего значения τ с применением мощности, вводимой в аппарат, и далее с вычислением средней объемной скорости диссипируемой энергии [1–5].

На примере газлифтовой трубы, заполненной мелкой хаотичной насадкой, в работе рассмотрен подход для определения касательного напряжения на поверхности раздела фаз в восходящем газожидкостном потоке.

Газлифтовые трубы применяются при проведении газожидкостных реакций, для интенсификации процесса теплообмена и транспортирования дисперсной фазы.

В случае плоского течения гомогенной жидкости в ламинарном подслое записывают

$$\varepsilon_0 = \nu \rho \left(\frac{du}{dy} \right)^2, \quad (1)$$

где ε_0 – скорость диссипации энергии; ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ – плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\frac{du}{dy}$ – градиент скорости, с^{-1} .

Так как $\tau = \nu \rho \left(\frac{du}{dy} \right)$, то имеем

$$\frac{\tau}{\rho \nu} = \left(\frac{\varepsilon_0}{\nu \rho} \right)^{1/2}. \quad (2)$$

Отсюда записывают касательное напряжение и динамическую скорость $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$ [1]:

$$\tau = (\nu \rho \varepsilon_0)^{1/2}; \quad u_* = \left(\frac{\varepsilon_0 \nu}{\rho} \right)^{1/4}. \quad (3)$$

Данные выражения являются достаточно общими, так как позволяют вычислить τ и u_* и в случаях, когда отсутствует направленное течение жидкости вдоль стенки, а турбулентность вносится внешним источником. В работах *CalderbankPH.*, *Моо – YoungM.*, на основе теории турбулентности Колмогорова установлена справедливость зависимостей (3) в случае изотропной турбулентности, когда вводимая мощность N рассеивается равномерно во всем объеме среды, т.е. $\varepsilon = N/V$, где V – объем, м^3 . Это справедливо с точностью до коэффициента пропорциональности χ и в случаях, близких к изотропной турбулентности. Предполагая, что в хаотичной насадке при восходящем движении газожидкостной среды создается турбулентность близкая к изотропной, то долю диссипации энергии ε_0 в пристенном слое, вызванную пульсацией в жидкости от воздействия газа и хаотичной насадкой, можно представить в виде

$$\varepsilon_0 = \chi^4 \varepsilon, \quad (4)$$

где коэффициент χ устанавливается экспериментально. Для большинства аппаратов он получен в интервале $\chi = 1,7 \div 2,4$ [1]. В среднем можно принять $\chi \approx 2,0$, а для насадок получено $\chi \approx 1,85$ [3].

На основе рассмотренного подхода касательное напряжение и динамическая скорость в хаотичной насадке при турбулентном движении однофазной среды получены в формах [3]:

$$\tau_{\text{CT}} = 1,85^2 \rho \left(\frac{\xi w^3 v}{2d_3} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

$$u_* = 1,85 \left(\frac{\xi w^3 v}{2d_3} \right)^{1/4}, \quad (6)$$

где ξ – коэффициент сопротивления насадки; w – скорость среды в насадке, м/с; d_3 – эквивалентный диаметр насадочного слоя, м.

Отсюда касательное напряжение и динамическую скорость можно представить в более удобной форме:

$$\tau_{\text{CT}} = 2,43 \rho w^2 \left(\frac{\xi}{\text{Re}_3} \right)^{1/2}, \quad (7)$$

$$u_* = 1,56 w \left(\frac{\xi}{\text{Re}_3} \right)^{1/4}, \quad (8)$$

где $\text{Re}_3 = \frac{w d_3}{\nu}$ – число Рейнольдса для насадочного слоя.

Тогда для восходящего потока в канале можно использовать формулу [1]

$$u_* = \left[\left(\tau_{\text{CT}} / \rho^2 \right) + \chi^4 v_{\text{ж}} \rho u_{\text{OT}} \varphi (1 - \varphi)^2 \right]^{1/4}, \quad (9)$$

где φ – среднее объемное газосодержание; u_{OT} – относительная скорость фаз, м/с.

В выражении (9) τ_{CT} вычисляется по формуле (7), а правое слагаемое учитывает наличие пузырей.

Применение уравнения (9) дает положительные результаты при вычислении коэффициентов тепло- и массоотдачи в газожидкостных средах с использованием моделей турбулентного пограничного слоя. Так, например, при применении мелкой хаотичной насадки со свободным объемом 95% и удельной поверхностью 580 м²/м³ в несколько раз повышается эффективность переноса по сравнению с газлифтовой трубой без насадки.

Литература

1. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы Л. : Машиностроение, 1976. 216 с.
2. Башаров М.М., Зиятдинова А.Х. Определение касательного напряжения на стенке в газожидкостных средах // Вестник ИГЭУ. 2012. Вып. 3. С. 47–50.
3. Лаптев А.Г., Фарахов Т.М., Лаптева Е.А. Модели явлений переноса в неупорядоченных насадочных и зернистых слоях // Теоретические основы химической технологии. 2015. №4. С. 407–414.

4. Каган А.М., Пушнов А.С., Шилин М.В. Влияние площади перфорации нерегулируемых тепломассообменных металлических насадок на их массообменные и гидродинамические характеристики // Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 2(76). С.64–66.

5. Reza Enayatollahi, Roy Jonathan Nates, Timothy Anderson, Characterising the heat and mass transfer coefficients for a crossflow interaction of air and water // International Journal of Heat and Mass Transfer - Volume 111, August 2017, Pages 94–104.

Авторы публикации

Лаптева Елена Анатольевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: tvtkgeu@mail.ru.

Столярова Екатерина Юрьевна – магистрант кафедры «Технология воды и топлива» (ТБТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: esenin44_44@mail.ru.

Лаптев Анатолий Григорьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология воды и топлива» (ТБТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: tvtkgeu@mail.ru.

References

1. Sokolov V.N., Domanskii I.V. Gas-liquid reactors. – Leningrad: Mashinostroenie, 1976. – 216 p.
2. Basharov M.M., Ziyatdinova A.Kh. Determining the shear stress on the wall in gas-liquid media / Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta, 2012. – No. 3. – P. 47-50.
3. Laptev A.G., Farakhov T.M., Lapteva E.A. Models of transport phenomena in random packed and granular beds // Theoretical foundations of chemical engineering. – 2015, Vol.49. – No.4. – P. 388–395.
4. Kagan A. M., Pushnov A. S., Shilin V. M. Influence of perforation area unregulated heat-mass-transfer, metal tips on their mass transfer and hydrodynamic characteristics // energy Saving and water treatment, 2012, № 2(76), pp. 64-66. Elena A. Lapteva, Ph.D., Associate Professor of Department “Industrial Electronics” of Kazan State Power Engineering University, tvtkgeu@mail.ru, +7(843)519-42-53
5. Reza Enayatollahi, Roy Jonathan Nates, Timothy Anderson, Characterising the heat and mass transfer coefficients for a crossflow interaction of air and water // International Journal of Heat and Mass Transfer - Volume 111, August 2017, Pages 94–104.

Authors of the publication

Lapteva Elena Anatolievna, Cand. tech. D., associate Professor of the Department "Industrial electronics" Kazan state power engineering University, tvtkgeu@mail.ru, 8(843)519-42-53

Ekaterina Yu. Stolyarova, undergraduate, Department “Technology of Water and Fuel” of Kazan State Power Engineering University, esenin44_44@mail.ru, +7(843)519-42-53

Anatoly G. Laptev, D.Sc., Professor of Department “Technology of Water and Fuel” of Kazan State Power Engineering University, tvtkgeu@mail.ru, +7(843)519-42-54

Поступила в редакцию

15 декабря 2016 г.