

Моделирование динамики распределения пузырьков по сечению канала. Методы дельта-аппроксимации и Population Balance Equation¹

Богатко Т.В.*, Лобанов П.Д.*, Пахомов М.А.*, Das P.K.**

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

**Indian Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur, India

Турбулентные пузырьковые течения в вертикальных трубах или каналах часто применяются в химической, атомной, в теплоэнергетике и в других практических приложениях. Ключевую роль в понимании физических механизмов влияющих на распределение газовых пузырьков по сечению канала или трубы оказывают их диаметр и концентрация. Сложность математического описания таких течений связана с необходимостью учета большого количества факторов различной физической природы и различных масштабов: турбулентность несущей среды, межфазное взаимодействие, процессы дробления и коалесценции.

В работе представлены результаты моделирования структуры течения, распределения воздушных пузырьков по сечению трубы в вертикальном полидисперсном газожидкостном потоке с использованием двух подходов: методов баланса популяции (Population Balance Equation-PBE) [1] и дельта-аппроксимации [2]. Метод PBE является одним из наиболее информативных методов описания динамики пузырьков в полидисперсных течениях на сегодняшний момент. Эта модель дополняется уравнениями неразрывности и баланса импульса и широко используется в эйлеровых методах различными авторами. Одним из способов решения PBE является расчет с использованием разбиения всех пузырьков на несколько классов по размерам и (или) скоростям. В этом подходе уравнения баланса массы и импульса решаются для каждой «монодисперсной» группы с учетом процессов дробления и коалесценции пузырьков, что приводит к нелинейному росту вычислительного времени при увеличении числа групп. С целью уменьшения времени счета используются допущения о том, что несколько фракций пузырьков [2,3] или даже, что все группы пузырьков [1] имеют одинаковую скорость.

Другим способом моделирования эволюции спектра дисперсных частиц по размерам является

метод δ -функций. Авторами [4] данный способ был модифицирован для эйлерова описания пузырьковых турбулентных течений. В [4] показано, что способ δ -аппроксимации является эффективным при описании полидисперсных пузырьковых течений с учетом коалесценции и дробления и требует небольшого числа групп при разбиении спектра по размерам по сравнению PBE подходом. В [3] для получения достоверных результатов было использовано более 20 групп пузырьков. В [4] оказалось достаточным использовать от 4-х до 6-ти групп частиц.

Математические модели авторов модель основаны на использовании эйлерова описания с учетом обратного влияния пузырьков на осредненные характеристики и турбулентность несущей фазы. Полидисперсность двухфазного течения описывается методом дельта-аппроксимации и PBE с учетом процесса дробления и коалесценции пузырьков. Турбулентность несущей фазы рассчитывается с применением как уравнений переноса рейнольдсовых напряжений, так и с использованием k - ϵ модели. Результаты моделирования показали хорошее согласие с экспериментальными и численными данными других работ.

Список литературы:

- [1] Das A.K., Das P.K., Thome J.R. Transition of bubbly flow in vertical tubes: new criteria through CFD simulation // ASME Journal Fluids Engineering, 2009. Vol. 131. Paper 091303. 12 pages.
- [2] Pakhomov M.A., Terekhov V.I.. Modeling of flow structure, bubble distribution, and heat transfer in polydispersed turbulent bubbly flow using the method of delta function approximation // Journal Engineering Thermophysics. 2019. Vol. 28. No. 4. P. 453-471.
- [3] Krepper E., Lucas D., Frank T., Prasser H.-M., Zwart P.J. The inhomogeneous MUSIG model for the simulation of polydispersed flows // Nuclear Engineering Design. 2008. Vol. 238. P. 1690–1702.
- [4] Зайчик Л.И., Мукин Р.В., Мукина Л.С., Стрижов В.Ф. Развитие диффузионно-инерционной модели для расчета пузырьковых турбулентных течений. Изотермическое полидисперсное течение в вертикальной трубе // ТВТ. 2012. Т. 50. № 5. С. 665-675.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 18-58-45006 и 18-08-00477).