



Применение модели переноса площади межфазной поверхности для описания двухфазного потока¹

Никулин А.С., Мелихов В.И.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Введение

На кафедре АЭС НИУ «МЭИ» разработан расчетный код STEG, предназначенный для моделирования движения пароводяной среды в объеме горизонтального парогенератора (ПГ) на основе подхода, использующего балансовые уравнения массы, импульса и энергии для воды и пара, дополненные полуэмпирическими корреляциями для описания силового и теплового взаимодействия фаз между собой и с окружающими конструкциями (трубные пучки, погружной дырчатый лист и т.п.). В целом код STEG качественно и количественно воспроизводит все основные процессы, характерные для горизонтального ПГ [1].

Модель переноса и результаты анализа

В коде STEG для определения площади межфазной поверхности, которая необходима для расчета силового и теплового взаимодействия между фазами, использовался упрощенный подход, основанный на введении карты режимов течения (пу-

зырьковый, снарядный, эмульсионный, дисперсный). Целью данной работы было внедрение специального уравнения переноса площади межфазной поверхности в код STEG и выяснение преимуществ/недостатков его использования. Общий вид этого уравнения приведен ниже.

$$\frac{\partial a_i}{\partial t} + \operatorname{div}(a_i u_i) = \frac{2}{3} \frac{a_i}{\alpha} \left[\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \operatorname{div}(\alpha u_g) - \eta_{ph} \right] + \left(\sum_j \phi_j + \phi_{ph} \right) \quad (1)$$

где a_i — концентрация площади межфазной поверхности, 1/м; u_i — скорость движения межфазной поверхности, м/с; α — объемная доля пара; u_g — скорость движения газовой фазы, м/с; η_{ph} — скорость генерации парового объема в единичном объеме пароводяной смеси при образовании зародышей пузырьков пара в перегретой воде или зародышей капелек воды в переохлажденном паре; ϕ_j — изменение межфазной поверхности вследствие j -го процесса взаимодействия; ϕ_{ph} — изменение межфазной поверхности вследствие фазового перехода. Рассматривались три механизма взаимодействия: 1) слияние пузырьков из-за случайных соударений, 2) слияние из-за ускорение пузырька в следе другого пузырька, 3) дробление пузырька турбулентными вихрями.

¹Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00793, <https://rscf.ru/project/22-19-00793/>

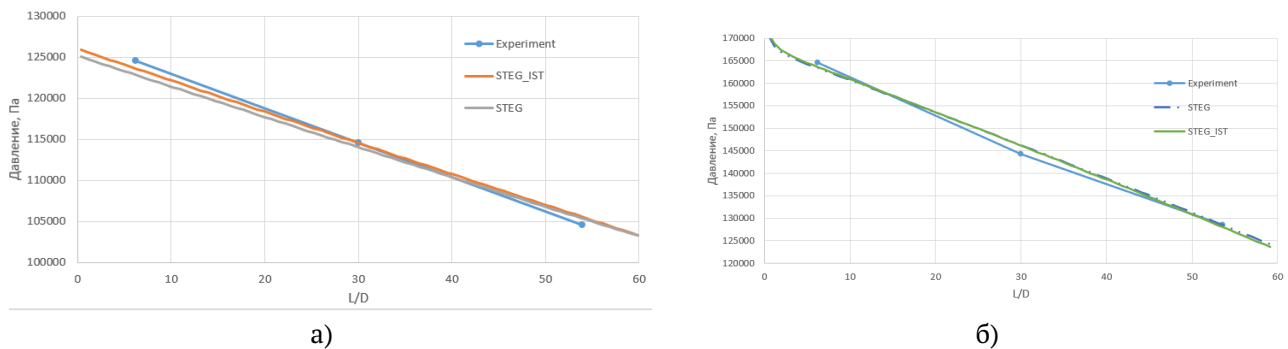


Рис. 1. Распределение давления по длине канала а) скорость жидкости 0,491 м/с, скорость газа 0,19 м/с б) скорость жидкости 5 м/с, скорость газа 3,9 м/с

В [2] были выполнены экспериментальные исследования характеристик двухфазных водовоздушных потоков при атмосферном давлении. Использовалась вертикальная труба диаметром 50,8 мм и длиной 3 метра. Для тестирования модели переноса площади межфазной поверхности был выбраны два режима со следующими параметрами расчета:

- скорость жидкости 0,491 м/с, скорость газа 0,190 м/с, давление на входе 0,127 МПа, объемная доля газа 0,220
- скорость жидкости 5,0 м/с, скорость газа 3,90 м/с, давление на входе 0,170 МПа, объемная доля газа 0,357

На Рис. 1 и 2 представлены результаты сравнения перепада давления и изменение объемной доли по длине канала, полученные при использовании двух подходов с экспериментальными данными.

Как видно из результатов, приведенных на Рис. 1(а) и 2(а) STEG с модулем расчета площади межфазной (STEG-IST) поверхности ближе к эксперименту, чем STEG с картой режимов потока. Максимальное отклонение от экспериментальных значений объемной доли для го кода STEG-IST составило 3,4%, для давления 0,8%, в то время как

для STEG с картой режимов потока данное значение 9,2% и 1,5% соответственно. При рассмотрении графиков на Рис. 1(б) и 2(б) видно, что STEG-IST несколько уступает в точности расчета распределения объемной доли газовой фазы STEG с картой режимов потока, однако максимальное отклонение от эксперимента составило 7,3%, против 5,4%.

Заключение

Результаты, полученные с помощью кода STEG-IST значительно ближе к экспериментальным значениям при низких скоростях движения фаз, чем результаты кода STEG с картой режимов потока и незначительно уступают в точности при высоких скоростях. Стоит отметить, что данная модернизация позволяет расширить диапазон параметров, в котором код STEG способен качественно и количественно воспроизводить моделирование движения двухфазного потока.

Список литературы

- [1] Мелихов В.И., Мелихов О.И., Ле Т.Т. Экспериментально-расчетные исследования гидродинамических процессов в горизонтальном парогенераторе // М.: Наука, 2022. 213 с.
- [2] Hibiki T., Ishii M. One-group interfacial area transport of bubbly flows in vertical round tubes // Int. J. Heat Mass Transfer, 2000. V. 43, p. 2711–2726.

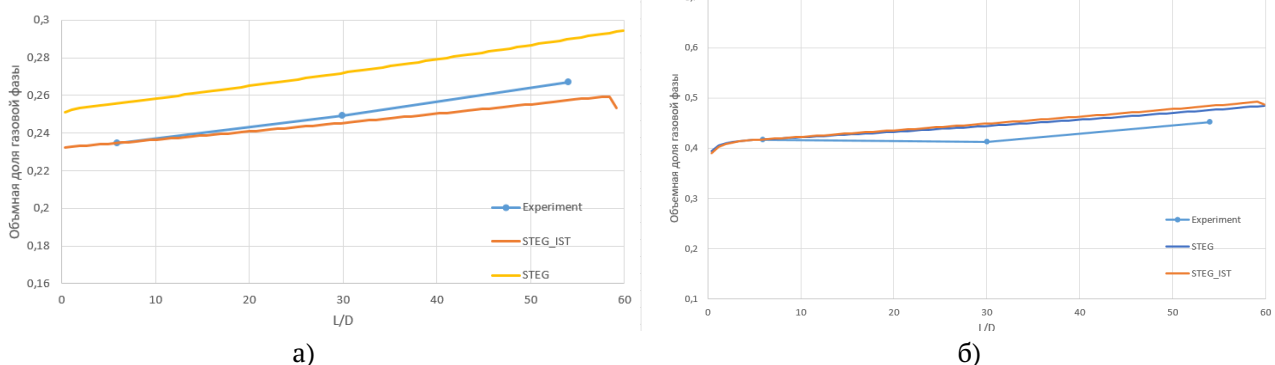


Рис. 2. Распределение объемной доли газа по длине канала а) скорость жидкости 0,491 м/с, скорость газа 0,19 м/с б) скорость жидкости 5 м/с, скорость газа 3,9 м/с