

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ИМПАКТНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ГАЗОНАСЫЩЕННОЙ СТРУЕ

М.А. Пахомов, В.И. Терехов

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия*

Введение. Импактные струйные течения являются одним из наиболее часто встречающихся методов интенсификации теплообмена [1]. Причиной этого является высокая интенсивность процессов переноса, обеспечиваемой особенностями струйных течений в районе точки торможения потока [1,2]. В различных областях потока присутствуют свободные и пристенные сдвиговые слои с развивающимися в них крупномасштабными вихревыми структурами. Наложение пульсаций скорости (расхода потока) является другим эффективным методом активного управления динамическими и тепловыми характеристиками двухфазного течения. Не исследовано влияние газосодержания и частоты подачи импульсов на структуру течения и теплообмен. Попытке ответить на эти вопросы и посвящена данная работа. Целью настоящей работы было проведение моделирования влияния частоты подачи импульсов и концентрации пузырьков на интенсивность теплообмена в районе точки торможения импульсной импактной двухфазной струи.

При описании пузырькового течения был использован эйлеров подход. В данной работе численные результаты получены с использованием осесимметричного Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes (URANS) подхода с учетом обратного влияния пузырьков на осредненные и пульсационные характеристики течения. В целом, допущения подобны таковым из работы [1,2] (за исключением нестационарности математической модели). Все расчеты выполнялись для случая нестационарного потока и в уравнения модели были добавлены слагаемые с нестационарностью. Турбулентность жидкой фазы описывается с использованием модели переноса компонент рейнольдсовых напряжений [3] с учетом дополнительной генерации турбулентности жидкости при обтекании пузырьков [1,2]. Шаг по времени равнялся $\Delta t = 10^{-5}$ с. Число Куранта для все расчетов не превышало 1.1. Направление течения восходящее. В работе не принимается во внимание эффекты коалесценции и дробления пузырьков, что для пузырьковых турбулентных течений вполне применим в случае небольшой концентрации пузырьков.

Все расчеты были проведены для смеси воды и монодисперсных пузырьков воздуха при атмосферном давлении. Внутренний диаметр трубы $2R = 20$ мм. Во входном сечении заданы профили параметров жидкой фазы на основе предварительного расчета однофазного течения в круглой трубе длиной $150R$. Начальное распределение газовой фазы задано в виде равномерного профиля параметров по сечению трубы. Среднемассовая скорость потока жидкости на срезе трубы составляла $U_{m1} = 1.15$ м/с, число Рейнольдса для несущей фазы $Re = 2RU_{m1}/\nu = 23000$. Частота подачи импульсов $f = 0 - 300$ Гц, что соответствует числу Струхала, характеризующему меру нестационарности течения, $Sr = f2R/U_{m1} = 10^{-2} - 5.2$. Диаметр воздушных пузырьков составлял $d = 1$ мм, а объемное расходное газосодержание варьировалось в диапазоне $\beta = 0 - 10\%$. Температура стенки $T_w = 313$ К = const, а начальные температуры жидкости и газа на срезе трубы равнялись $T_1 = T_{b1} = 293$ К. Все численные расчеты выполнены для расстояния между срезом трубы и преградой $H/(2R) = 2$ и 6. Все расчеты были проведены для прямоугольной формы импульса подачи двухфазного потока и при равенстве осредненного по времени расхода для

импульсной и стационарной импактных струй.

Зависимость числа Нуссельта в точке торможения от числа Струхалия струи для двух расстояний до поверхности преграды $H/(2R) = 2$ и 6 показана на рисунке. Число Струхалия в данной серии расчетов варьировалось только за счет изменения частоты импульсов. Горизонтальные пунктирные линии 1 и 2 соответствуют величинам числа Нуссельта при $x/(2R) = 2$ и 6 для пузырьковой стационарной импактной струе. В случае импульсной импактной двухфазной струи возможно как повышение интенсивности теплопереноса (до 20 % по сравнению со стационарным пузырьковым струйным потоком), так и подавление теплообмена (до 20 %). В области малых частот ($f = 1-2$ Гц, $Sr = 0.015-0.02$) все кривые имеют характерный минимум, затем величина теплообмена возрастает, достигая соответствующего значения в стационарной струе, и далее можно отметить интенсификацию теплообмена по мере возрастания числа Струхалия за счет обновления поверхности преграды и формирования более тонких пограничных слоев. Для больших частот ($f > 200$ Гц, $Sr > 3.5$) характерным является снижение теплообмена с выходом на характеристики теплообмена для стационарного режима двухфазного течения при $f > 500$ Гц, $Sr > 5$ для исследованного диапазона изменения начальных параметров. В случае малого расстояния от среза трубы до поверхности преграды при $x/(2R) = 2$ интенсификация теплообмена достигает 20%, тогда как при $x/(2R) = 6$ увеличение теплообмена незначительно (до 6%). Можно сказать, что небольшие расстояния являются более выгодными с точки зрения интенсификации теплопереноса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-08-03909).

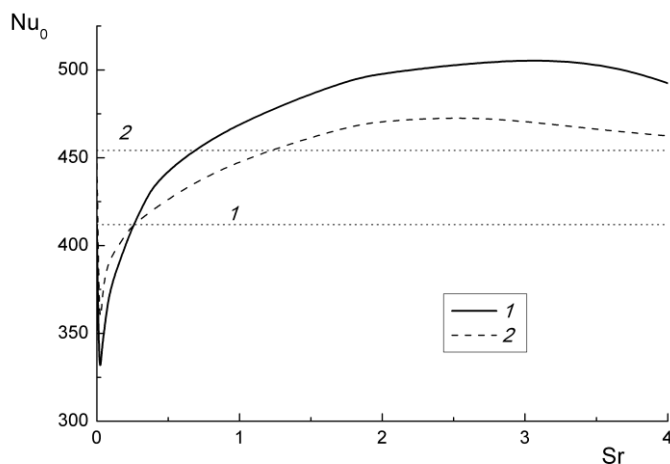


Рис. 1. Теплообмен в точке торможения импактной газожидкостной струи в зависимости от числа Струхалия при $H/(2R) = 2$ (1) и 6 (2). $2R = 20$ мм, $Re = 2.3 \times 10^4$, $U_{m1} = 1.15$ м/с, $U_{b1} = 0.9$ м/с, $\beta = 5\%$, $d = 1$ мм, $t_1 = 20$ °С, $t_w = 40$ °С. 1 — $H/(2R) = 2$; 2 — 6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Pakhomov M.A., Terekhov V.I.** Numerical study of the flow and heat transfer in a turbulent bubbly jet impingement // Int. J. Heat Mass Transfer. 2016. V. 92. P. 689–699.
2. **Пахомов М.А., Терехов В.И.** Влияние размера воздушных пузырьков на интенсификацию теплопереноса в импактной жидкостной струе // Теплофизика высоких температур. 2016. Т. 54. № 1. С. 147-149.