

УДК 662.642: 621.926.7

Е.М.Иванова (5 курс, каф. ГАД), А.А.Шмидт, к.ф.-м.н., с.н.с. ФТИ им. Иоффе,
У.Ибен, Ph.D., Ф.Врона, Dipl.-Ing., Robert Bosch GmbH

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В СИСТЕМАХ С ВЫСОКИМИ ГРАДИЕНТАМИ ДАВЛЕНИЯ

Численное моделирование кавитации играет важную роль в развитии современных гидравлических систем, таких как системы впрыскивания топлива в дизельных двигателях внутреннего сгорания. Быстро открывающиеся и закрывающиеся клапаны индуцируют зависящую от времени смену уровней высокого и низкого давления. Резкое понижение давления и высокие температуры могут вести к образованию в течении кавитационных зон. Кавитация снижает расход жидкости, влияет на работу клапанов, может вести к шумам и разрушениям в гидравлических системах.

Во многих работах, посвященных моделированию этого явления, используется комбинация из непрерывного и дискретного подходов, в которой течение жидкости описывается уравнениями Эйлера или Навье-Стокса, а осцилляции отдельных пузырьков и кавитационных зон – с помощью специальных дискретных моделей. Но в случае систем с высокими градиентами давления такой способ моделирования становится неудобным, так как ведет к решению систем с большим количеством параметров.

Целью данной работы являлась проверка эффективности модели, основанной на предположении о механическом и термодинамическом равновесии в системе и детально изложенной в [1]. Для описания кавитирующего течения используется система равновесных двухфазных уравнений Эйлера в одномерном приближении и в предположении баротропности. Она включает в себя уравнения баланса массы для каждой из фаз (газово-паровой и жидкостной) и уравнение баланса импульса для смеси. Расщепление уравнения баланса массы произведено для улучшения устойчивости решения системы. В правых частях уравнений баланса массы стоят источники члены, описывающие процессы межфазного массопереноса. В [1] сделано предположение об изэнтальпичности процессов испарения и конденсации, откуда было получено выражение для массовой доли пара как функции от давления в смеси и давления насыщенного пара, замыкающее систему уравнений Эйлера.

Численно задача решалась с помощью схемы Хартена, Лакса и Ван-Лира. В качестве модельной жидкости была взята вода. Работоспособность модели тестировалось на решении проблемы Римана. При задании разницы в давлениях 100 бар и -0.15 бар (давления были подобраны таким образом, чтобы обеспечить наличие жидкостной и паровой фаз по разные стороны перегородки) выяснилось, что расщепленные уравнения баланса массы ведут к более устойчивым решениям, чем единственное уравнение баланса массы для смеси, что подтверждает выводы в [1] и [2].

Для обеспечения более высокого качества моделирования физических явлений в кавитирующих течениях необходимо добавить в данную модель уравнение энергии и использовать улучшенное представление для источников члена в уравнении баланса массы, описывающего фазовый переход. Важным представляется и включение в модель реальных свойств дизельного топлива, которое является смесью, чьи компоненты характеризуются различными давлениями насыщенного пара.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Iben U., Wrona F., Munz C.-D., Beck M. Cavitation in hydraulic tools based on thermodynamic properties of liquid and gas // Journal of Fluids Engineering, Vol. 124, 2002, No. 4.
2. Wrona F. Numerische Umsetzung von homogenen Kavitationsmodellen // Master's thesis, University Stuttgart, 2001.