

**Численное исследование кавитационных течений в рамках модели  
равновесного фазового перехода**

***Мажнов Андрей Васильевич***

*Аспирант*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт  
прикладной математики и механики, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: a\_makhnov@mail.ru*

Прогнозирование явления кавитации играет важную роль при решении широкого круга прикладных проблем - от задач высокоскоростного движения тел в жидкости до проблем технологии обработки материалов [1]. Исследования кавитационных процессов важны также с точки зрения развития фундаментальных представлений механики гетерогенных сред (см., например, [4]).

Численное моделирование кавитационных течений с применением существующих моделей гомогенной и гетерогенной нуклеации паровых пузырей (см., например, [3]) требует серьезных вычислительных затрат. Одним из альтернативных подходов к описанию двухфазной среды с фазовым переходом является использование моделей равновесной квазигомогенной баротропной смеси (см., например, [2]).

Модель, сформулированная в этой работе, основана на комбинации уравнений Навье-Стокса с уравнением состояния баротропной среды, учитывающим фазовый переход при давлении жидкости ниже давления насыщенных паров. Жидкая фаза описывается в приближении слабо сжимаемой среды с постоянной скоростью звука, для паровой фазы используется уравнение состояния совершенного газа. Для обеих фаз учитываются эффекты вязкости. Температура среды считается постоянной.

Особенный интерес в данном исследовании представляет гидродинамическая кавитация, т.е. случай, когда фазовый переход жидкость - пар происходит в высокоскоростном потоке жидкости в локальных областях низкого давления. В таких потоках одним из основных факторов, влияющих на развитие течения (и, как следствие, на возникновение и развитие кавитации), становится турбулентность. В данной работе моделирование турбулентности осуществляется с применением вихреразрешающих подходов.

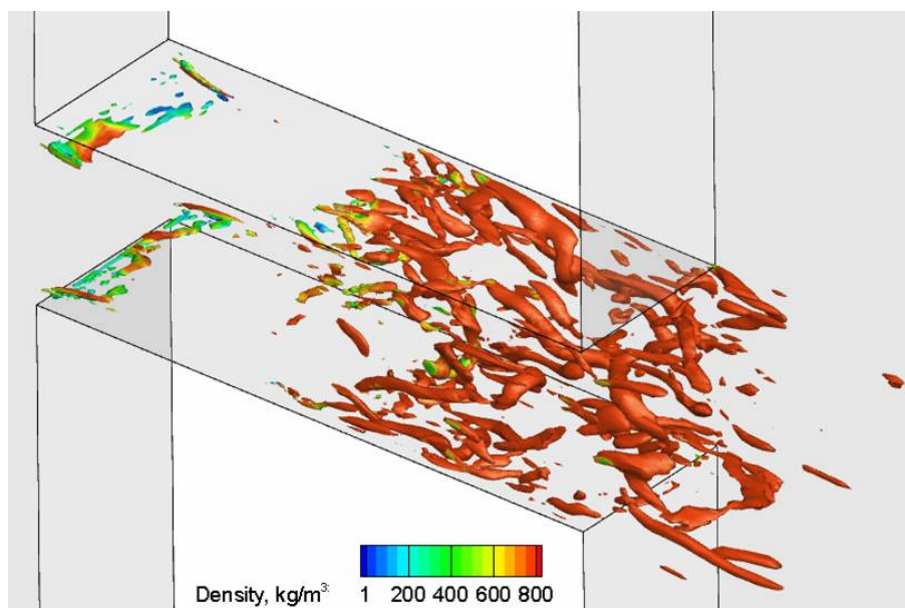
Также рассмотрена задача о коллапсе парового пузыря вблизи твердой стенки, представляющая прикладной интерес с точки зрения анализа кавитационной эрозии.

Все расчеты выполнены на базе открытой вычислительной среды OpenFOAM. Полученные результаты и их сопоставление с экспериментальными данными демонстрируют эффективность и надежность разработанного алгоритма.

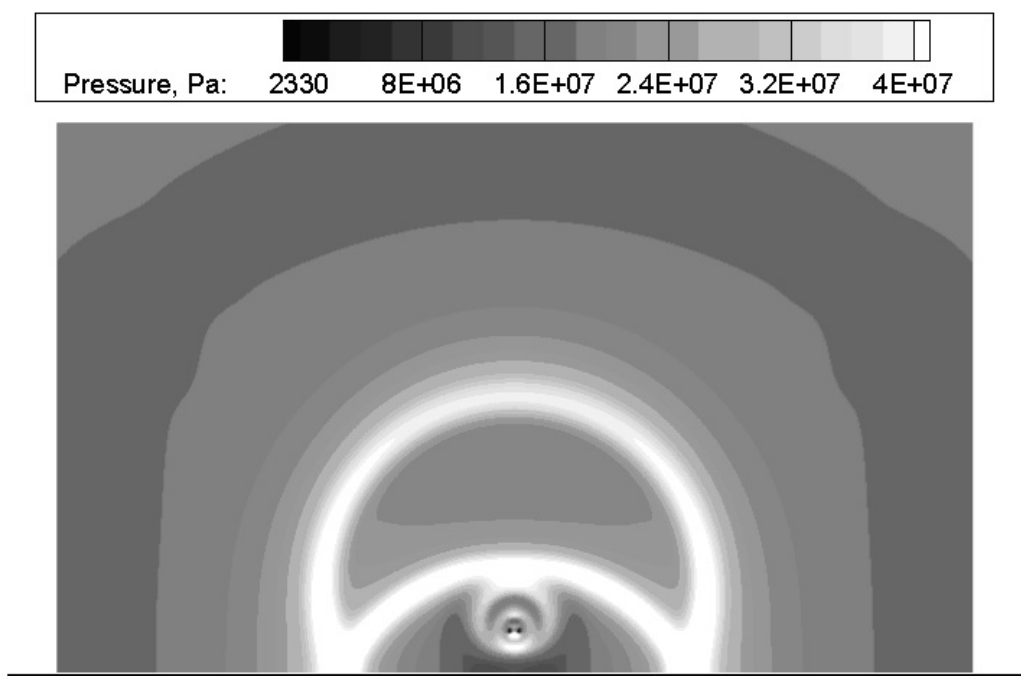
**Источники и литература**

- 1) Столяр С.В., Баюков О.А., Исхаков Р.С., Ярославцев Р.Н., Ладыгина В.П. // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43. В. 24. С. 3-8.
- 2) Berg A., Iben U., Meister A., Schmidt J., Shock Waves 14(1), 111-121 (2005).
- 3) Chernyshev A., Kitanin E., Kumzerova E., Schmidt A. Numerical simulation of degassing liquid flow in tube // 6th International Conference on Multiphase Flow, Leipzig, Germany, July 9 - 13, 2007.
- 4) Franc J.-P., Michel J.-M. Fundamentals of cavitation // Fluid mechanics and its applications. 2004. Volume 76. Series Editor: Moreau R. Kluwer Academic Publishers, 321 p.

**Иллюстрации**



**Рис. 1.** Расчет турбулентного течения жидкости в канале в условиях кавитации. Визуализация вихревых структур с помощью изоповерхностей  $\lambda_2$ -критерия, окрашенных полем плотности.



**Рис. 2.** Визуализация волновых структур, генерируемых при коллапсе сферического парового пузыря вблизи твердой стенки (результат расчета в осесимметричной постановке).