

Материалы VII Междунар. конф. по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ2008). Алушта, Крым, 25-31 мая 2008. - М.: Вузовская книга, 2008.

## **Расчет течений со свободными границами методами непрерывных и дискретных маркеров**

Бураго Н.Г. (ИПмех РАН, Москва)

В общих чертах рассмотрена история вопроса (подробнее см. [1]) и описан собственный опыт применения известных методов непрерывных и дискретных маркеров для расчета течений тяжелой жидкости со свободными границами (подробнее см. [2]). Методы маркеров реализованы на основе вариационной формулировки трехмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса и метода конечных элементов.

В первом подходе для отслеживания области, занятой тяжелой жидкостью, используется непрерывная маркер-функция, равная единице всюду, где есть жидкость, и нулю, если жидкости нет. Маркер-функция подчинена уравнению переноса. Изоповерхность со значением маркер-функции 0.5 представляет свободную подвижную границу. При решении транспортного уравнения для маркер-функции скорость конвекции определяется по значениям скорости в узлах со значением маркера  $> 0.5$ . Поскольку в условиях переменной области решения граничные условия для давления и скоростей на свободных границах реализуются приближенно, консервативность неизбежно нарушается и для ее восстановления в алгоритм введена процедура корректировки функции непрерывного маркера, которая предотвращает размывание границ и поддерживает глобальное сохранение массы в области решения.

Во втором подходе для отслеживания движений жидкости используются дискретные лагранжевы маркеры. Реализован алгоритм порождения маркеров на входных границах и уничтожения маркеров на выходных границах, что позволило рассматривать задачи с открытыми границами на больших временах.

Представлены результаты моделирования ряда задач: 1) о падении капли в бассейн, заполненный водой, 2) о стекании воды с этажа на этаж через дыру; 3) об обрушении водяной колонны и о колебаниях жидкости в замкнутом бассейне; 4) о фонтане и луже от вертикальной струи; 5) о падении горизонтальных струй в бассейн с жидкостью и др. Представлены сравнения результатов с имеющимися решениями других авторов.

Материалы VII Междунар. конф. по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ2008). Алушта, Крым, 25-31 мая 2008. - М.: Вузовская книга, 2008.

Рассмотрен набор специфических тестовых задач для отладки алгоритмов, использующих непрерывные и дискретные маркеры, дополняющих стандартные тесты для методов расчета задач Навье-Стокса. Например, дополнительно проверялась правильность расчета гидростатики в условиях частично заполненной тяжелой жидкостью области решения, сохранение массы во времени в покоящейся и в свободно падающей жидкости со свободными границами (капли). Эти тесты нетривиальны и позволяют эффективно отсеять неудачные варианты алгоритмов.

### **Список литературы**

1. Бурого Н.Г., Кукуджанов В.Н. Обзор контактных алгоритмов. МТТ. 2005. N. 1. С. 44-85. (Интернет: <http://www.ipmnet.ru/~burago/papers/cont-rn.pdf>)
2. Бурого Н.Г. Численное решение задач МСС с подвижными границами раздела. Диссерт. на соискание ученой степени доктора физ.-мат наук. М.: ИПМех РАН, 2003. 222 с. (Интернет: [http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/dis\\_Burago\\_Doc2003.pdf](http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/dis_Burago_Doc2003.pdf))