

ПРИМЕНЕНИЕ НАЛОЖЕННЫХ СЕТОК К РАСЧЕТУ ТЕЧЕНИЙ В ОБЛАСТЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ

Н.Г. Бураго¹, И.С. Никитин^{2,3}, Якушев В.Л.²
(¹ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, ²ИАП РАН, ³МАИ, г. Москва)

История вопроса подробно рассмотрена в [1]. Здесь описаны алгоритмы и результаты применения методов наложенных сеток [2], непрерывных и дискретных маркеров [3,4] для расчета течений тяжелой жидкости со свободными границами. Использована вариационная формулировка трехмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса и метод конечных элементов. Сквозной счет течений проведен на окаймляющих область течения регулярных лагранжево-эйлеровых адаптивных сетках [2] в трех вариантах. В первом варианте область, занятая тяжелой жидкостью, определяется наложенной подвижной лагранжевой сеткой. Во втором варианте применены подчиненные уравнению переноса непрерывные маркер-функции, равные единице всюду, где есть жидкость, и нулю там, где жидкости нет. Изоповерхность со значением маркер-функции 0.5 представляет подвижную границу. Из-за диффузии граница размывается и определяется приближенно, что влечет нарушение консервативности. Для исправления в алгоритм введена процедура антидиффузии с корректировкой поддерживающей глобальное сохранение массы в области решения. В третьем варианте движение жидкости отслеживается дискретными лагранжевыми маркерами. 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 (рис. 1);
2. о стекании воды с этажа на этаж через отверстие (рис. 2);
3. об обрушении водяной колонны и о колебаниях воды в замкнутом бассейне (рис.3);
4. о фонтане и луже от вертикальной струи (рис. 4);
5. о падении горизонтальных струй в бассейн с жидкостью (рис. 5) и др.

Рассмотрен набор специфических тестовых задач для отладки алгоритмов, использующих непрерывные и дискретные маркеры, дополняющих стандартные тесты для методов расчета задач Навье-Стокса.

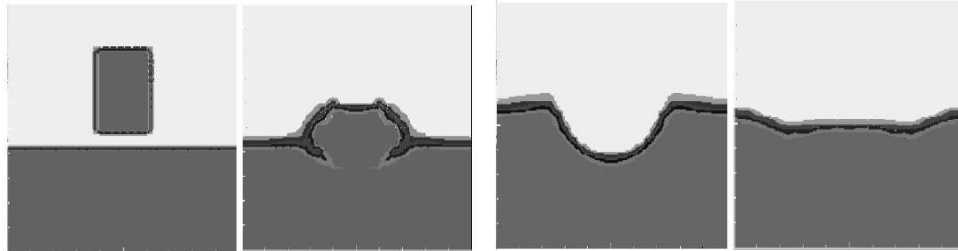


Рис. 1. Падение капли в бассейн. Тяжелая вязкая жидкость.
(Непрерывная маркер-функция)

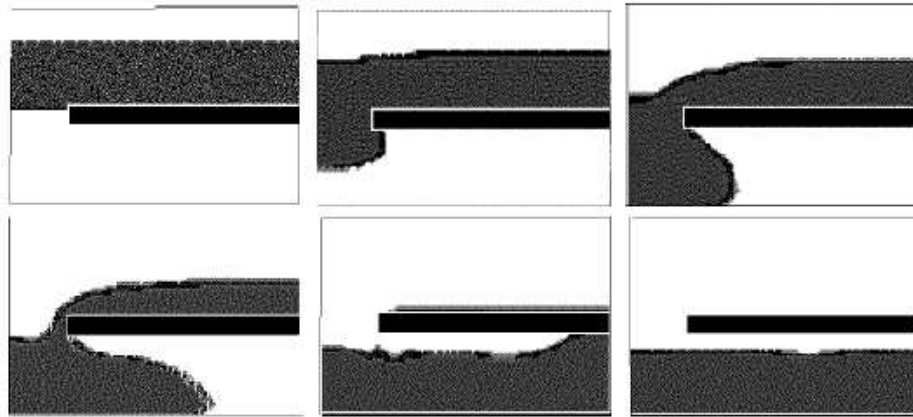


Рис. 2. Стеkanie воды с этажа на этаж через отверстие. Тяжелая вязкая жидкость.
(Непрерывная маркер-функция)

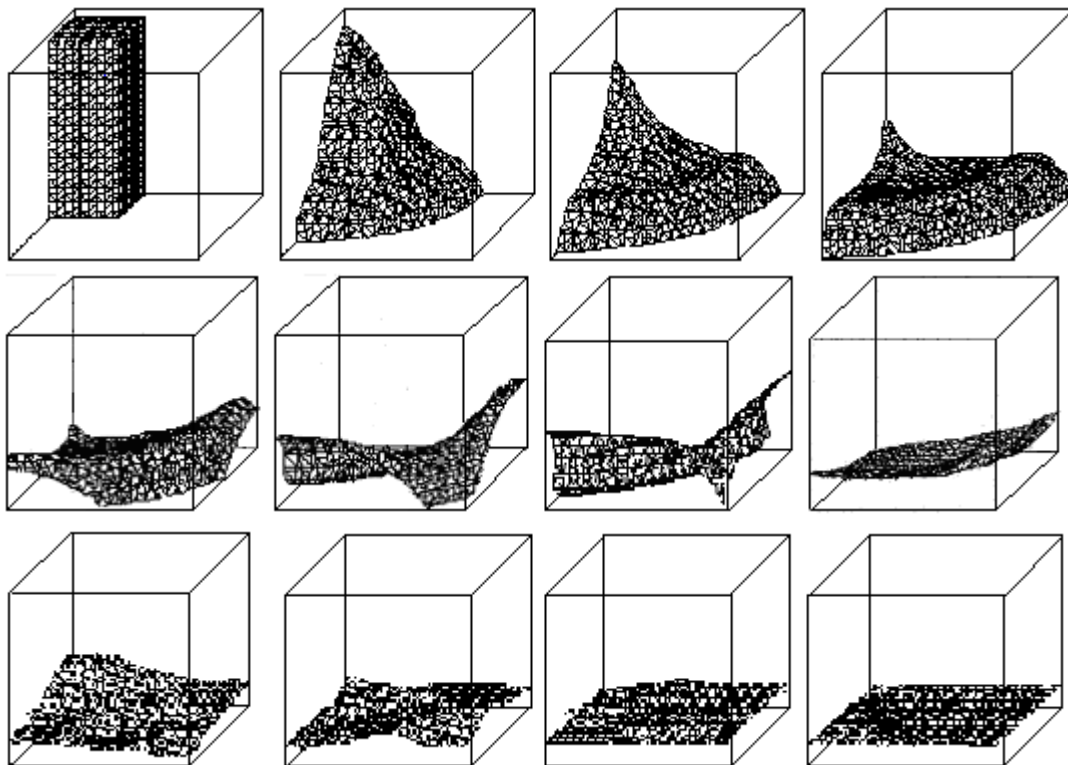


Рис. 3. Обрушение водяной колонны в замкнутом бассейне. Тяжелая вязкая жидкость.
(Непрерывная маркер-функция).

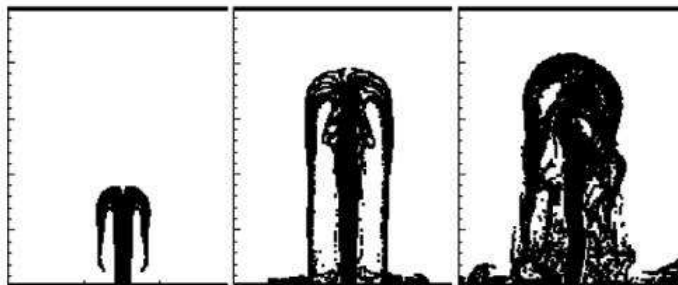


Рис. 4. Фонтан от вертикальной струи. Тяжелая вязкая жидкость. Течение теряет устойчивость и симметрию. (Дискретные маркеры)



Рис. 5. Падение горизонтальной струи в бассейн. Тяжелая вязкая жидкость. (Дискретные маркеры).

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. Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ [15-08-02392](https://www.rfdb.ru/funding/project/number/15-08-02392).

Список литературы

1. Бураго 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. Бураго Н.Г., Никитин И.С., Якушев В.Л. Гибридный численный метод решения нестационарных задач механики сплошной среды с применением адаптивных наложенных сеток// ЖВММФ. 2016. Т. 56. N.6. С. 1082-1092.
3. Бураго Н.Г., Никитин И.С., Якушев В.Л. Гибридный численный метод решения нестационарных задач механики сплошной среды. Сборник трудов XVI Всероссийской конференции-школы молодых исследователей «Современные проблемы математического моделирования». Ростов на Дону. Изд-во ЮФУ. 2015. С. 40-46.
4. Бураго Н.Г., Никитин И.С. О методе наложенных сеток.// Материалы XVIII международной конф. по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2013) - М.: МАИ-ПРИНТ, 2013. С. 514-516.