

АДАПТИВНЫЕ И НАЛОЖЕННЫЕ СЕТКИ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

Н.Г. Бураго¹, И.С. Никитин^{1,2}, В.Л. Якушев²
(¹ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, ²ИАП РАН, г. Москва)

Генерация расчетных сеток для описания сложной и, возможно, переменной во времени геометрии области решения является непростой и трудоемкой задачей, над решением которой математики активно работают, начиная с шестидесятых годов 20-го века [1]. Помимо трудностей, связанных с конструированием методов построения сеток, например, с помощью отображений, значительные затраты труда расчетчика требуются потом при подготовке входных данных о геометрии области и при задании сеток на ее границах. Рассматриваемый подход позволяет упростить решение упомянутых проблем.

В основе применяемого в данной работе метода решения лежит идея сквозного счета эволюции течения сплошной среды по модифицированной схеме SUPG FEM на произвольно подвижных адаптивных сетках. Расчет проводится в областях сложной переменной геометрии на основной сетке, окаймляющей (покрывающей с запасом) область решения. Основная сетка является произвольно подвижной и адаптивной к решению. Целью движения узлов является уменьшение ошибок аппроксимации около скачков и в пограничных слоях, что реализуется приближенно с помощью метода упругих сеток [2]. Подвижность узлов основной сетки ограничена требованием невырожденности ячеек. Для описания сложной переменной геометрии области решения применяются методы наложенных сеток, непрерывных маркер-функций и лагранжевых дискретных частиц-маркеров, движущихся со средой (см. обзор [1]). Истоки данных методов можно обнаружить в трудах по численным методам полувековой давности, например, в [3,4]. В настоящее время, благодаря значительно возросшей мощности современных компьютеров, данные методы уже обеспечивают достаточную точность и становятся все более привлекательными [6]. Подробности используемых алгоритмов описаны в работах [5,6]. Ниже представлены типовые примеры расчетов.

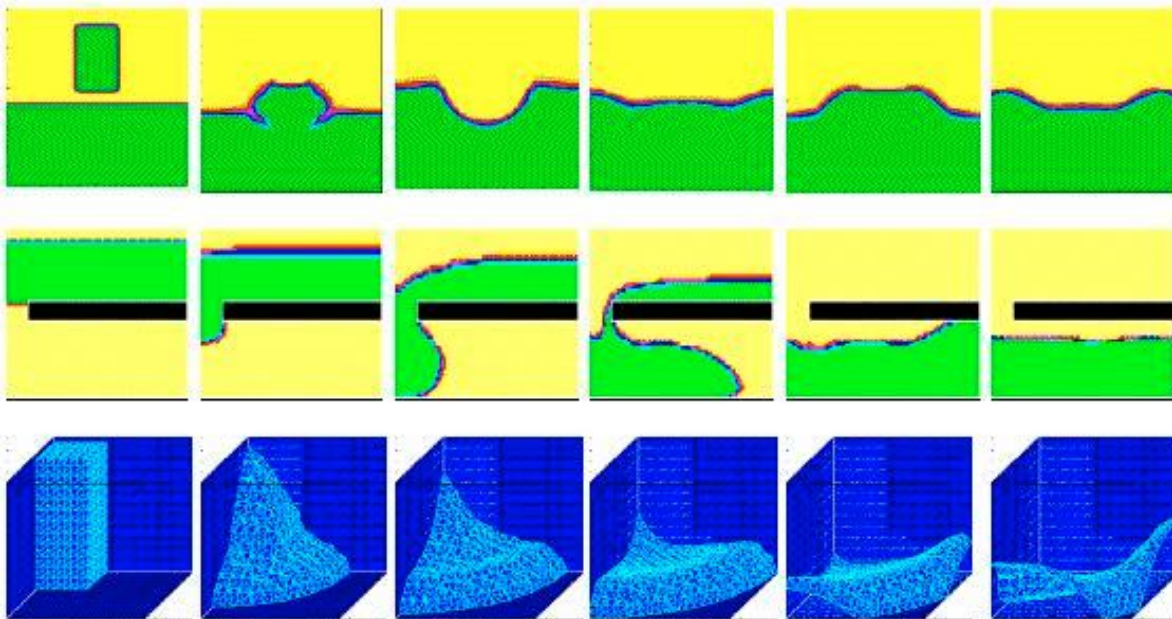


Рис. 1. Применение непрерывных маркер-функций для течений со свободными границами (падение капли в бассейн, стекание жидкости с этажа на этаж, обрушение водяной колонны)

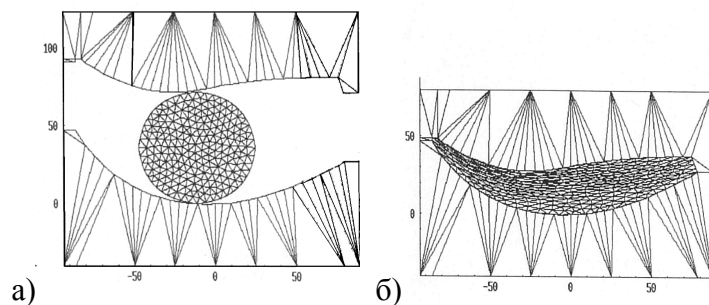


Рис. 2. Применение адаптивных сеток для расчета формования упругопластической лопатки турбины жесткими штампами. Адаптивная сетка в начале (а) и конце (б) процесса.

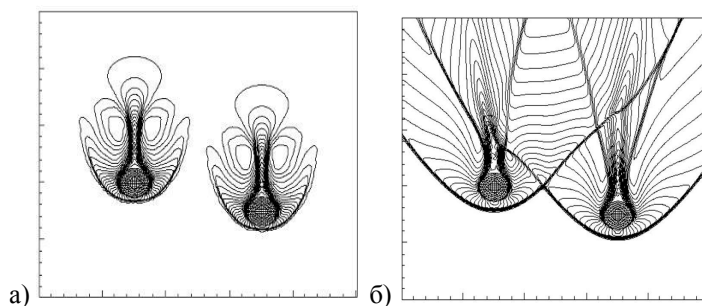


Рис. 3. Обтекание препятствий, заданных наложенными сетками, сверхзвуковым потоком идеального газа ($M=3$, $\gamma=1.4$). Показаны 25 изолиний местного числа Маха.



Рис. 4. Применение дискретных маркеров для расчета падения в водоем горизонтальной струи.

Положительными качествами методов адаптивных наложенных сеток, дискретных и непрерывных маркеров являются простота реализации и использования.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ 15-08-02392.

Литература

1. Бураго Н.Г., Кукуджанов В.Н. Обзор контактных алгоритмов // Известия РАН. Механика твердого тела. 2005. № 1. С. 44-85.
2. Бураго Н.Г., Иваненко С.А. Применение уравнений теории упругости к построению адаптивных сеток // Труды Всеросс. Конф. по прикладной геометрии, построению сеток и высокопроизводительным вычислениям, Москва, ВЦ РАН, 28 июня - 1 июля 2004г. / Под ред. В.А. Гаранжи. М.: ВЦ РАН, 2004. С. 107-118.
3. Вычислительные методы в гидродинамике / Ред. Б. Олдер, С. Фернбах, М. Ротенберг, М., Мир, 1967.
4. Численные методы в механике жидкостей / Ред. О.М. Белоцерковский. М., Мир, 1973.
5. 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. DOI: 10.13140/RG.2.1.1677.9601
6. 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. № 6. С. 163-173.