



ВНИИА
РОСАТОМ

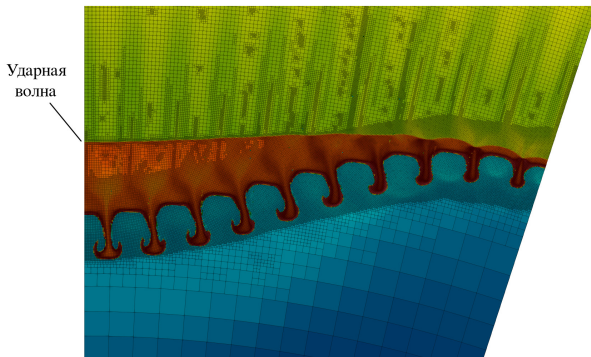
Сравнительный анализ критериев локальной сеточной адаптации

ФГУП ВНИИА

Муратов Родион Владимирович

31 мая 2023 г.

Задача — сократить число ячеек до минимума. Оставить только необходимое число ячеек, при котором качественно воспроизводится решение на сетке с высоким разрешением.



Для этого требуется отыскать области решения, которые наиболее сильно влияют на численное решение задачи.

Задача о схлопывании пузырька

Пузырек газа под водой схлопывается при взаимодействии с ударной волной. Интересно рассмотреть мелкомасштабные процессы на поверхности пузырька.

►[Nourgaliev R. et. al. // J. Comput. Phys. (2006)]

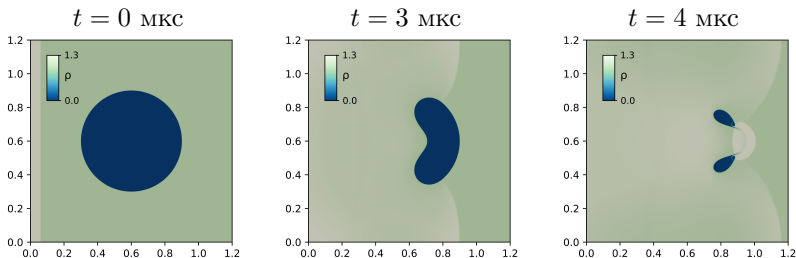


Рис. 1: Распределение плотности в различные моменты времени.

Адаптация интерфейса — адаптируются ячейки, для которых расчетный шаблон содержит более одного материала.

Такой простой критерий позволяет получить решение, которое не отличается от решения на референсной сетке.

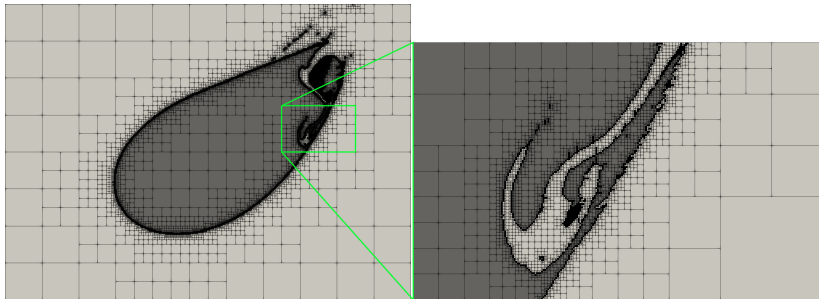


Рис. 2: Структура сетки в момент разрушения пузырька.

Задача о схлопывании пузырька

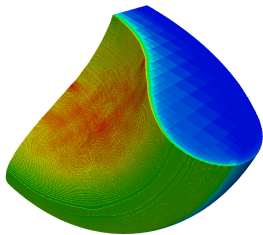


Трехмерная постановка

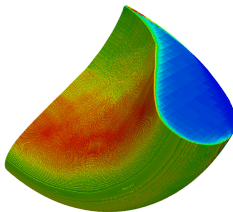
Для трехмерных задач увеличение производительности при использовании адаптации становится очень существенным.

Решение ниже получено за три дня, решение на декартовой сетке с таким же разрешением заняло бы около **8.6 лет**.

$t = 3.0$ мкс



$t = 3.2$ мкс



$t = 3.5$ мкс

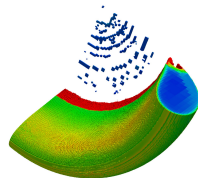


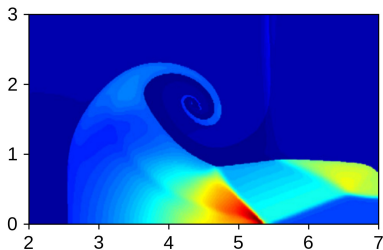
Рис. 3: Деформация пузырька в различные моменты времени.
Цветом показано поле плотности.

Классическая задача многоматериальной газодинамики.

► [Kucharik M., Shashkov M. // J. Comput. Phys. (2014)]

► [Dobrev V., et al. // Comput. Fluids. (2013)]

а) Кучарик и Шашков



б) Добрев и др.

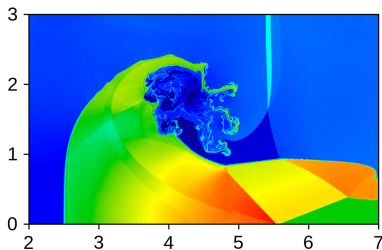
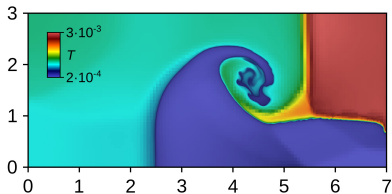


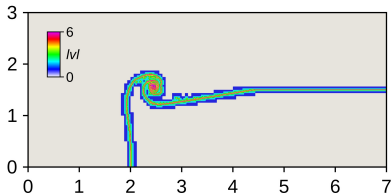
Рис. 4: Распределение плотности вещества в последний момент времени. Результаты получены с использованием ALE методов.

Такой простой критерий не позволяет получить решение с качественным разрешением вихрей.

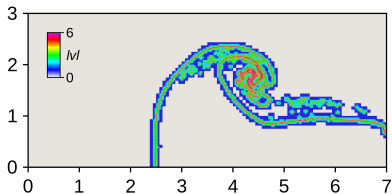
Температура, $t = 5$.



Уровень адаптации, $t = 2$.



Уровень адаптации, $t = 5$.



Введем характеристику χ по формуле:

$$\chi = \sqrt{\frac{\sum_{i,j} A_{ij}^2}{\sum_{i,j} (B_{ij} + \epsilon C_{ij})^2}} \in [0, 1], \quad (1)$$

$$A_{ij} = \sum_{\sigma} \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)_{\sigma} n_{\sigma,j} S_{\sigma} \approx \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_j},$$

$$B_{ij} = \sum_{\sigma} \left| \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)_{\sigma} \right| |n_{\sigma,j}| S_{\sigma},$$

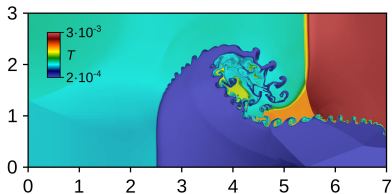
$$C_{ij} = \frac{1}{V} \sum_{\sigma} |u|_{\sigma} |n_{\sigma,i}| S_{\sigma} \cdot \sum_{\sigma} |n_{\sigma,j}| S_{\sigma},$$

здесь σ — грань между ячейками, S_{σ} — площадь грани, n_{σ} — нормаль грани, V — объем ячейки, $\epsilon \ll 1$ — некоторый малый параметр, u — функция индикатор.

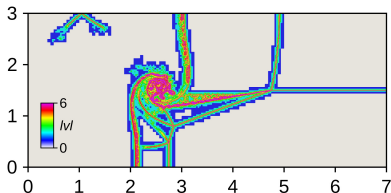
► [Lohner R. // Comput. Methods Appl. Mech. Eng. (1987)]

χ -критерий захватывает ударные волны, контактные разрывы и другие мелко-масштабные возмущения.

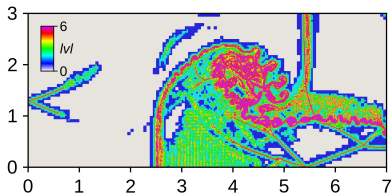
Температура, $t = 5$.



Уровень адаптации, $t = 2$.

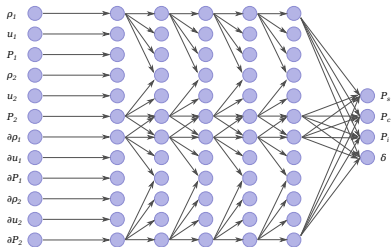


Уровень адаптации, $t = 5$.



Структура нейронной сети
— многослойный персептрон:

- 12 входных параметров;
- 5 внутренних слоев;
- 4 выходных нейрона.



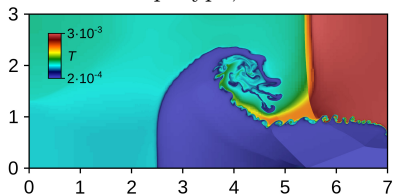
Входные параметры: значения величин слева и справа от грани, а также значения производных.

Выходные параметры: вероятности разрывного решения (ударной волны P_s или контактного разрыва P_c) или гладкого течения P_i , δ — расстояние до разрывного решения.

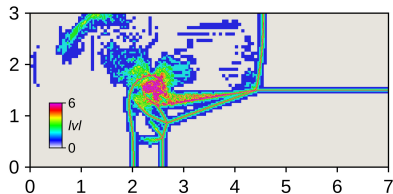
► [Serezhkin A. // Available at SSRN 4241668]

ИНН-классификатор хорошо захватывает ударные волны, но имеет и ложноположительные срабатывания.

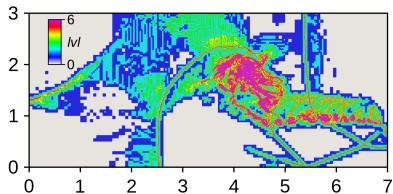
Температура, $t = 5$.



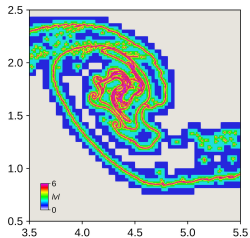
Уровень адаптации, $t = 2$.



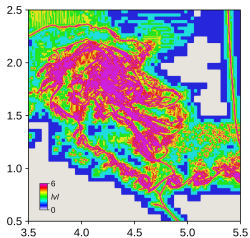
Уровень адаптации, $t = 5$.



По интерфейсу



ИНН-классификатор



χ -критерий

