

Отчет о использовании кластера НГУ

Давыдов М. Н.

Тема работы. Моделирование разрушения жидких сред при динамической разгрузке. В качестве численного метода выбран метод гидродинамических сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics — SPH). Программа для расчетов на C++ и CUDA написана мною, реализован параллельный расчет с использованием графических ускорителей.

Состав коллектива.

Давыдов Максим Николаевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Института гидродинамики СО РАН (лаборатория многофазных сред и кумуляции) и старший преподаватель НГУ (ММФ, кафедра теоретической механики).

Кедринский Валерий Кириллович, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Института гидродинамики СО РАН (лаборатория многофазных сред и кумуляции).

Моделирование разрушения жидкого кубика

Моделирование разрушения жидких сред при ударно волновом нагружении проводилось с помощью метода сглаженных гидродинамических частиц (SPH) для численного моделирования разрушения жидких сред.

Метод сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics - SPH) [1] — эффективный бессеточный лагранжевый численный метод, применяемый для расчетов структуры течения с неизвестной свободной границей, включая, в частности, высокоскоростные процессы в средах с существенно изменяющейся при интенсивном динамическом нагружении топологией моделируемых объектов.

В физическое пространство моделирования помещается N частиц в которых задаются нужные физические величины, значения которых в произвольной точке в пространстве получается в результате дискретизации интерполяционной формулы:

$$\langle f(\bar{r}) \rangle = \int f(\bar{r}') W(\bar{r} - \bar{r}', h) d\bar{r}',$$

где h — радиус сглаживания, а $W(\bar{r} - \bar{r}', h)$ — сглаживающая функция (ядро).

Численная аппроксимация функции $f(\bar{r})$, известной только в N точках, выполняется аналогично методу интегрирования Монте-Карло, соответствующие формулы для функции f и ее производной в SPH-методе выглядят следующим образом:

$$\langle f(\bar{r}) \rangle = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{\rho(\bar{r}_i)} f(\bar{r}_i) W(\bar{r} - \bar{r}_i, h)$$
$$\langle \nabla f(\bar{r}) \rangle = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{\rho(\bar{r}_i)} f(\bar{r}_i) \nabla W(\bar{r} - \bar{r}_i, h)$$

Поскольку сглаживающая функция W не равна нулю только в некоторой (малой) окрестности точки с координатой \bar{r} , то суммирование проводится только по соседним узлам (частицам) в радиусе $2h$, где сглаживающая функция не равна 0. Следует заметить, что задача эффективного (экономичного по времени) поиска соседей является исключительно важной в реализации SPH метода.

Рассматривалась задача о разрушении жидкого кубика, внутри которого имеется полость с высоким давлением, с использованием метода SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics).

В начальный момент времени жидкость представляла собой кубик со стороной 1 см, расположенный на плоскости XY, ось OZ проходит через центр кубика. Внутри жидкости, под верхней гранью, находилась сферическая полость радиуса 1мм, центр которой расположен на оси OZ на расстоянии 2.5 мм от верхней грани куба. Давление в полости оставляло 10000 атм, остальной объем жидкости был при атмосферном давлении.

Хорошо заметно, что к моменту времени 750 мкс (рис. 1) полость расширилась в несколько раз, «вытянулась» вверх, выталкивая слои жидкости, образующие верхнюю грань кубика. Нижняя и боковые грани

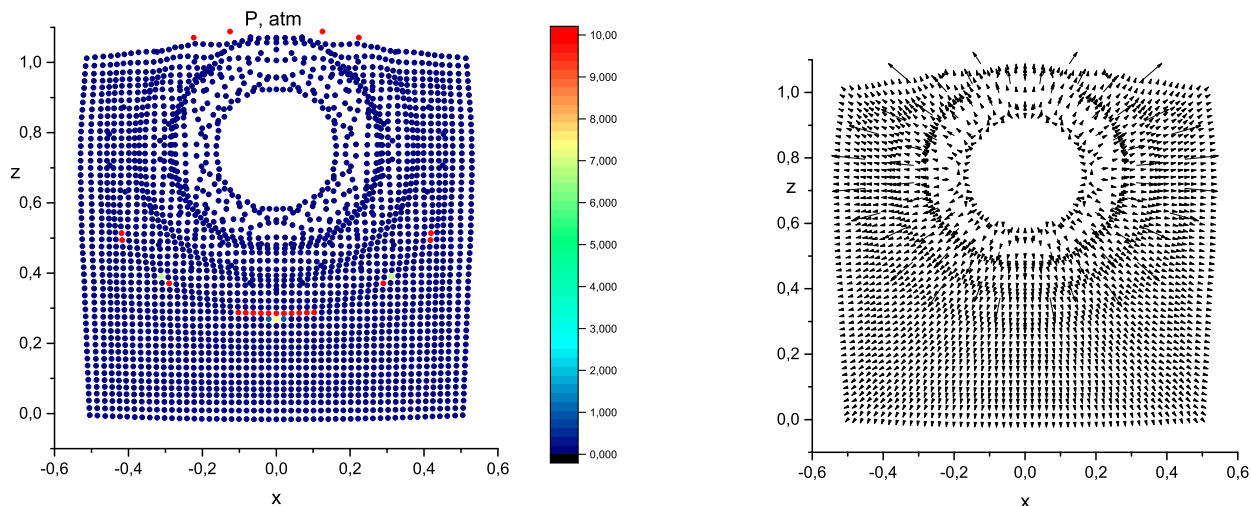


Рис. 1. Распределение давления и скорости частиц в центральном сечении кубика (25 мс)

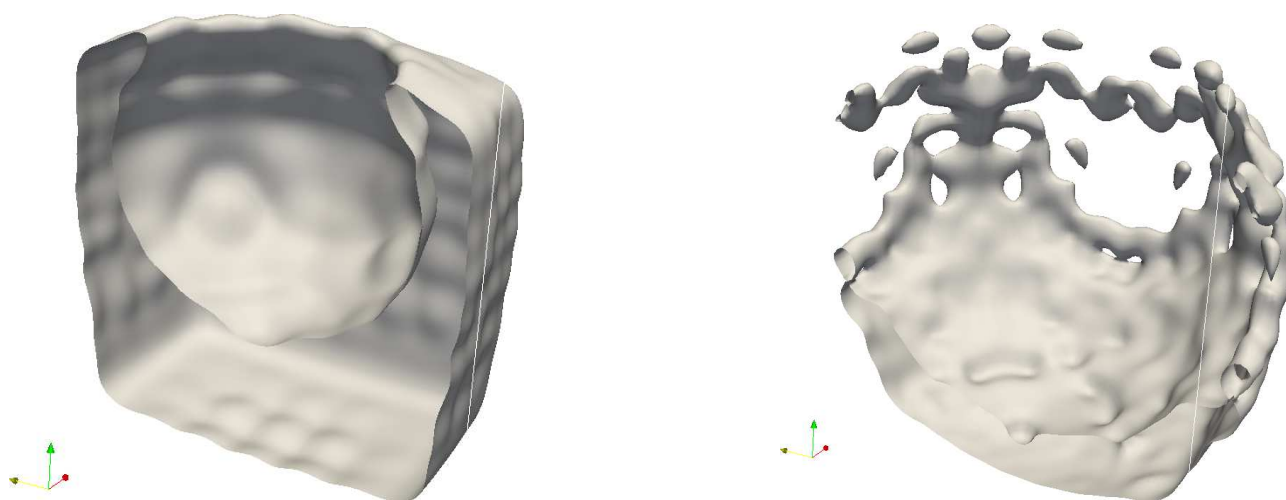


Рис. 2. Исоповерхность $\rho = 0.45 \text{ г/см}^3$ для половины кубика для 500 и 10000 мс

куба деформировались незначительно, а на верхней грани формируется заметная выпуклость. Внутри куба от расширяющейся полости распространяются волны, также хорошо видимые на рисунке, в результате их отражения от граней куба, на некоторой глубине от боковых поверхностей возникают зоны разрежения.

В дальнейшем на верхней грани кубика формируется вертикальная струя жидкости, которая постепенно разрушается. На боковых и нижней гранях, образуются отдельные отлетающие слои, где разрушение пока не настолько сильно выражено. В дальнейшем и на этих участках будет происходить разрушение жидкости и возникновение отколовшихся от основного объема «слоев».

Необходимо отметить, что SPH частицы, отлетая друг от друга на расстояние, большее чем радиус сглаживания, перестают влиять друг на друга, что можно интерпретировать как разрушение среды [2]. Так к моменту времени 1500 мкс частицы, ранее расположенные над полостью, фактически расплылись, и в верхней части объема образовалось отверстие.

На рис. 2 показано развитие процесса в объемном виде. Изображена изоповерхность плотности для «половинки» кубика, построенная по значению 0.55 г/см^3 , то есть изоповерхность ограничивает область, в которой плотность среды больше или равна заданной. Видно, что среда, разлетаясь, теряет связность и распадается на отдельные фрагменты. Дальнейшее развитие процесса приводит к распылению частиц и окончательному разрушению среды.

Список литературы

- [1] Monaghan J.J. // J. of Comp. Phys. 1994. 110. № 2. p. 399–406.

- [2] *Давыдов М.Н., Кедринский В.К.* // ПМТФ. 2013. №6. с. 17–26.
- [3] *Давыдов М.Н., Кедринский В.К.* // ПМТФ. 2003. 44. №6. с. 72–79.
- [4] *Omang M., Vorve S., Trulsen J.* // J. Comp. Phys. V. 2006. **213**, N. 1, p. 391–412.
- [5] *Кедринский В. К., Бесов А. С., Гутник И. Э.* // Доклады РАН 1995. **356**, №4.
- [6] *Кедринский В. К.* Гидродинамика взрыва: эксперимент и модели. Изд. СО РАН. Новосибирск. 2000.

Эффект от использования кластера в достижении целей работы. Ускорение вычислений за счет использования графических ускорителей и возможность запуская расчет выполнять другую работу.

Перечень публикаций.

1. Davydov, M. N. Simulation of liquid cube fracture with SPH // Journal of Physics: Conference Series, 2016, 754, 062001
2. М.Н. Давыдов, В.К. Кедринский Моделирование разрушения жидких сред с использованием метода SPH. // Ученые записки физического факультета МГУ, 2014, 5, 1-5
3. М.Н. Давыдов, В.К. Кедринский Метод сглаженных частиц в задачах моделирования кавитационного разрушения жидкости при ударно-волновом нагружении // ПМТФ, 2013, №6, с. 17-26