

Истомин В.А.¹, Шварц Д.Р.¹, Ишханов Е.А.¹, Тихомиров М.Д.²

БЕССЕТОЧНЫЙ МЕТОД ГИДРОДИНАМИКИ СГЛАЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В НОВОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ МОДУЛЕ СКМ ЛП «ПОЛИГОНСОФТ»

¹ООО «CuSoft Полигон плюс», г. Санкт-Петербург; <http://www.poligonsoft.ru>²ОАО «ЦНИИМ», г. Санкт-Петербург

ВВЕДЕНИЕ

Система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «ПолигонСофт» - одна из ведущих СКМ ЛП на Российском рынке [1]. В последнее время появилось несколько новых методов решения задач теории поля, учитывающих возможности современных компьютеров и операционных систем. Один из них – это метод сглаженных частиц. Данный метод дает принципиальную возможность распараллеливания любых вычислительных задач, в связи с чем использования вычислительных свойств видеокарт является идеальным вариантом для ускорения расчетов. Очевидным недостатком такого подхода, очевидно, будет привязка к аппаратной части компьютера - т.н. «железу».

Компания "CSoft Полигон плюс" работает над новым вычислительным гидродинамическим модулем, использующем бессеточный метод гидродинамики сглаженных частиц [2] для ускорения расчета процесса заливки расплавом формы. В методе SPH поток моделируется с помощью деления потока на дискретные элементы, называемые частицами. Ускорение вычислений достигается использованием параллельных вычислений с помощью технологии CUDA, позволяющей распараллеливать вычисления на микропроцессорах видеокарты NVidia.

На данный момент основным методом решения гидродинамических задач в прикладных литейных пакетах является метод конечных объемов. Данный метод требует наличия внутренней сетки для расчета динамики течения. Метод SPH является лагранжевым методом (координаты частиц двигаются вместе с жидкостью) и не требует внутренней сетки, в связи с чем достигается значительное увеличение производительности и упрощение работы инженера-технолога.

На данном этапе разработки для нового гидродинамического модуля задача гидродинамики решается без учета тепловых эффектов, эффектов затвердевания и деформации. В дальнейшем планируется включить данные эффекты в новый модуль, что позволит одновременно решать несколько задач за еще меньшее время работы.

МЕТОД SPH

Метод SPH основан на интегральном интерполировании для нахождения значения физической величины на каждом временном шаге. В SPH любая функция $X(\mathbf{r})$ аппроксимируется следующим образом:

$$X(\mathbf{r}) = \int X(\mathbf{r}')W(\mathbf{r} - \mathbf{r}', h)d\mathbf{r}', \quad (0.1)$$

где h – так называемое расстояние сглаживающей длины, а W – функция ядра. В дискретном представлении для любой частицы i данная аппроксимация приводит к следующему выражению для любой физической величины X в точке \mathbf{r} :

$$X(\mathbf{r}) = \sum_j m_j \frac{X_j}{\rho_j} W_{ij}, \quad (0.2)$$

где m_j – масса j -ой частицы, ρ_j – плотность j -ой частицы, $W_{ij} = W(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j; h)$. Для функции ядра W вводится расстояние, называемое сглаживаемой длиной h , на котором свойства каждой частицы сглаживаются функцией ядра. За функцию ядра обычно берется Гауссово ядро, которое имеет малое влияние на удаленные частицы. Для увеличения производительности Гауссово ядро заменяют кубическим сплайном или ядром Венланда, обращающимися в ноль на расстояниях порядка двух радиусов частиц и больше. Данное упрощение значительно уменьшает число необходимых вычислений. Тогда любая физическая величина будет определяться соседними частицами, попадающими в сферу радиуса сглаживающей длины.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На данном этапе разработки нами реализованы пробные модели моделирования заливки в форму с помощью метода SPH. Первые результаты показывают хорошее качественное соответствие компьютерного моделирования и реального процесса заполнения формы расплавом.

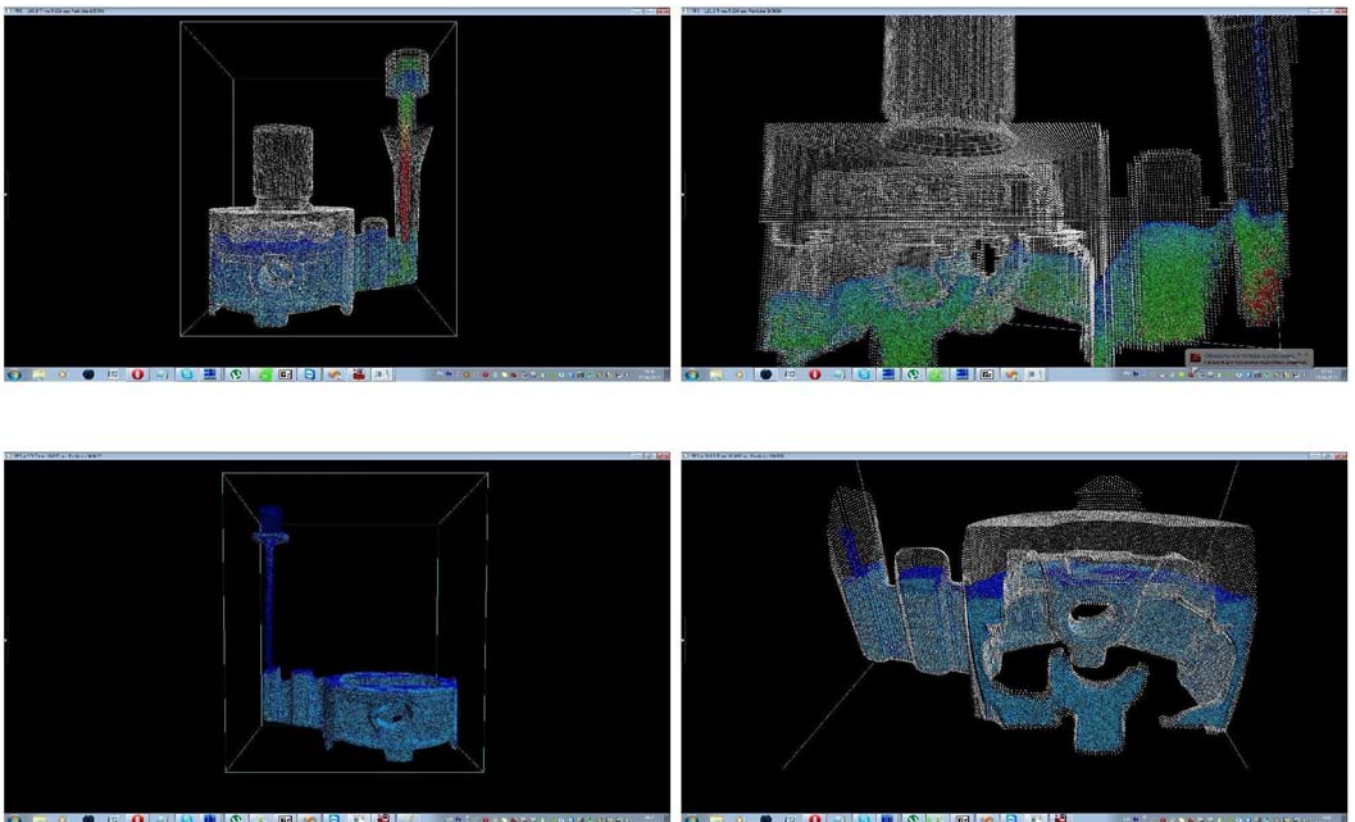


Рис. 1: Сечения формы во время процесса заливки с использованием метода SPH в "Полигоне". Цветами отображены скорости частиц.

На Рис. 1 представлены различные сечения формы во время процесса заполнения с использованием метода SPH в "Полигоне". Как видно из рисунков, на данном этапе разработки расплав моделируется с помощью дискретного набора частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология SPH является одной из передовых разработок для увеличения скорости расчета сложных вычислительных гидродинамических задач. Благодаря дискретизации потока на конечное число частиц, гидродинамическая задача легко параллелится на микропроцессоры, что позволяет существенно уменьшить время ожидания результата моделирования. Так же вычисления можно проводить и на центральных процессорах, но с заметным падением производительности. В будущем компанией "CSoft Полигон плюс" планируются работы по усовершенствованию нового гидродинамического модуля с использованием метода SPH.

Список литературы:

- [1] Тихомиров М.Д. *Физико-математические основы компьютерного моделирования литейных процессов*: Материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции «Литейное производство сегодня и завтра».- СПб., 2002, с.135-138
- [2] Giu-Rong Liu, M.B. Liu *Smooth Particle Hydrodynamics: A Meshfree Particle Method* // 2003.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ФОРМАЛЬНАЯ РЕЦЕНЗИЯ:

Статья посвящена использованию для компьютерного моделирования гидродинамической задачи литейных процессов (заливка) т.н. метода «SPH». Такой подход позволяет более адекватно учитывать гидродинамические процессы при заливке, существенно ускорить процесс расчета и отказаться от необходимости заранее строить расчетную сетку в пространстве отливки. Метод принципиально отличается от МКЭ(метод конечных элементов), МКР(метод конечных разностей) и от МКО(метод конечных объемов). На сегодняшний день представляется наиболее перспективным методом решения задач связанных с необходимостью учета т.н. «свободной поверхности» при решении гидродинамических задач.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Моделирование литейных процессов, СКМ ЛП «ПолигонСофт», гидродинамика, заливка, метод «SPH», бессеточный метод сглаженных частиц.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- 1.Истомин Владимир Андреевич – к.т.н., нач.отд.разработки ООО «Сисофт Полигон плюс»
- 2.Шварц Дмитрий Рихардович - ведущий разработчик ООО «Сисофт Полигон плюс»
- 3.Ишханов Евгений Александрович – нач.отд. развития ООО «Сисофт Полигон плюс»
- 4.Тихомиров Максим Дмитриевич –к.т.н., вед. научн. сотр. ОАО «ЦНИИМ», директор ООО «Сисофт Полигон плюс»