

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕССЕТОЧНОГО МЕТОДА СГЛАЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГИДРОДИНАМИКИ В СКМ ЛП «ПОЛИГОНСОФТ»

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

²ОАО «ЦНИИ Материалов», 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 - т.н. метод SPH. Данный метод дает принципиальную возможность распараллеливания любых вычислительных задач, в связи с чем использования вычислительных свойств видеокарт является очевидным вариантом для ускорения расчетов, что успешно используется в современных специализированных программах для формирования множества динамических сложных 3D-объектов для фильмов и т.п. Некоторым недостатком такого подхода является привязка к аппаратной части компьютера(к видеокарте) - т.н. «железу», однако большинство современных персональных компьютеров комплектуются видеокартами, позволяющими использовать их при многопоточных вычислениях.

Если говорить о применении метода SPH непосредственно к СКМ ЛП, то существенное ускорение сроков моделирования (в десятки раз) серьезно расширяет возможности технолога-литейщика. Речь идет не только об уменьшении времени моделирования и соответственно сроков разработки литейной технологии, но в первую очередь о возможности «проигрывания» гораздо большего количества вариантов технологии в обозримые сроки. Очевидно, что это повышает надежность моделирования при поиске устойчивой оптимальной литейной технологии в условиях реального производства с учетом особенностей конкретных технологических процессов и производственных условий конкретного предприятия.

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*.

В настоящее время основными методами решения гидродинамических задач в прикладных литейных пакетах являются метод конечных объемов и метод конечных разностей. Оба эти метода требуют 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.

Численное моделирование жидких сред с помощью метода SPH идеально подходит для распараллеливания на множестве независимых вычислительных потоках. В разрабатываемом модуле гидродинамики жидкого металла, используется CUDA для расчета взаимодействия между собой частиц жидкости. Если на центральном процессоре (CPU) необходимо последовательно обойти все частицы и рассчитать потенциальное взаимодействие, то по технологии CUDA такие расчеты производятся параллельно на сетке потоков. В результате прирост производительности в зависимости от числа частиц при методе SPH и сложности модели, составляет х30-х50 раз (для GeForce 570GT 1600 Mhz и Core Duo i5 2400 Mhz). Если раньше моделирование 1М частиц могло занимать несколько дней, то сейчас это несколько часов. В Табл. 1 представлено сравнение скорости вычислений на видеокарте Nvidia и CPU. Тестирование проводилось на ускорителе видеокарты Nvidia GeForce 570GT (тактовая частота ядра 732Mhz, объем памяти 1280Mb, 480 потоковых процессоров) и на CPU intel Core Duo i5 (частота ядра 2400Mhz, 2 ядра, 4 потока).

Табл 1

Сравнение количества шагов в сек для GPU и CPU)

	GeForce 570GT (шагов/сек)	Core I5 (шагов/сек)	Прирост
500 Тысяч частиц	38.25	0.74	в 51 раз
1 Миллион частиц	21.42	0.49	в 43 раза

Очевидно, что при моделировании машинное время является важнейшим ресурсом, позволяющей решать задачи с более высокой степенью детализацией протекающих процессов. Или производить множество запусков одной модели с различными параметрами, что в свою очередь позволяет более детально изучать возможные дефекты и избежать их на реальном производстве, как в процессе отработки технологического процесса, так и при поточном производстве. Учитывая тот факт, что стоимость машинного времени несоизмерима меньше по сравнению с затрачиваемыми ресурсами в реальных условиях, то повышение производительности расчетной системы с помощью технологии CUDA, открывает новые возможности, позволяющие экономить время, ресурсы, деньги и сокращать сроки от начального проектного чертежа до реального изделия.

МЕТОД SPH

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

$$X(r) = \int X(r')W(r-r',h)dr', \quad (0.1)$$

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 $\mathbf{r}$:

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

где m_j – масса j -ой частицы, ρ_j – плотность j -ой частицы, $W_{ij} = W(r_i - r_j; h)$. 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.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На данном этапе разработки 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.

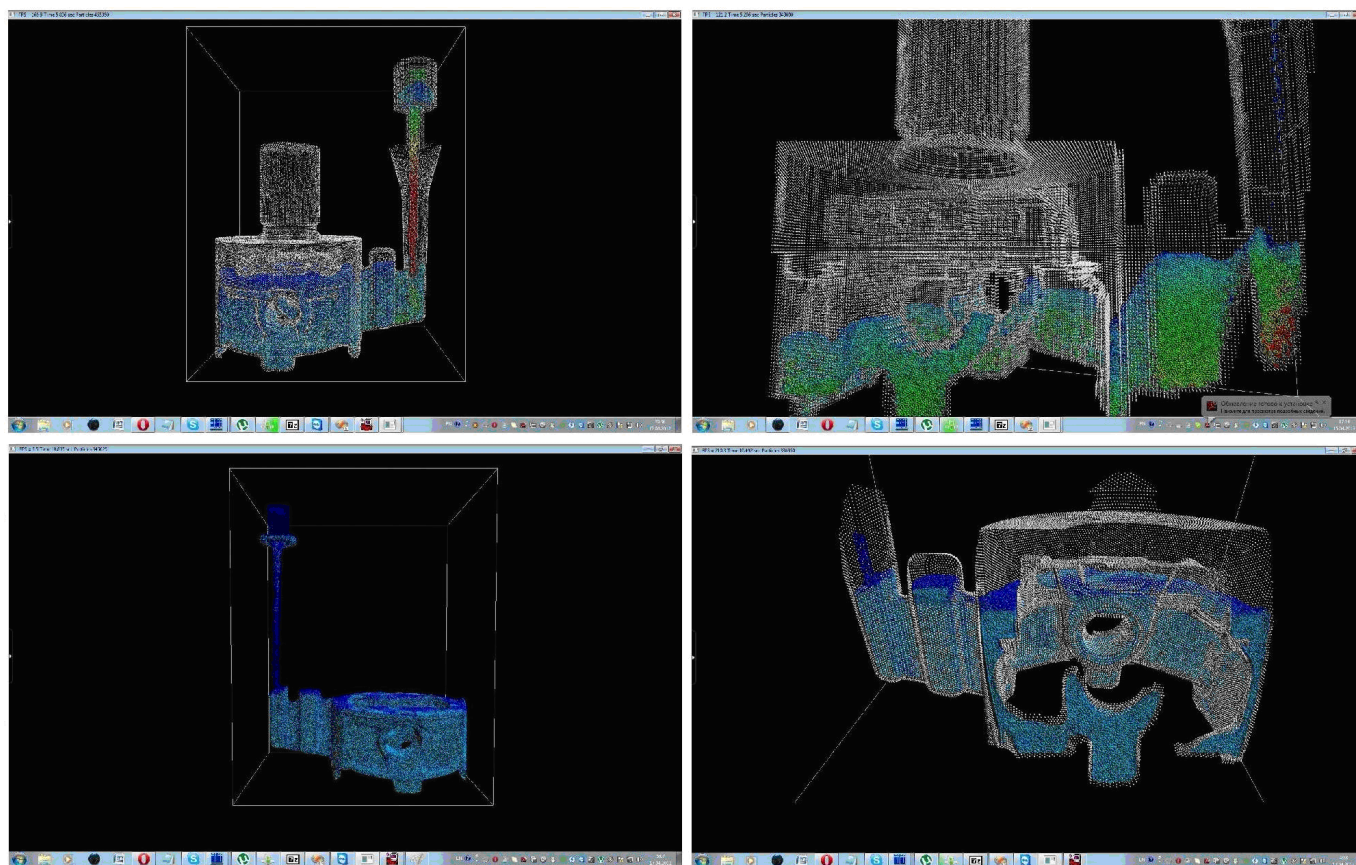


Рис. 1 Моделирование процесса заполнения расплавом полости литейной формы (заливка) с использованием метода SPH. Цветами отображены скорости частиц.

На Рис. 1 представлены различные сечения формы во время процесса заполнения с использованием метода SPH в СКМ ЛП «ПолигонСофт». В данном случае визуализировано как расплав моделируется с помощью дискретного набора взаимодействующих частиц. Естественно, что их количество, занимаемая область и динамика меняется на каждом временном шаге в зависимости от вычисляемых на каждом шаге условий взаимодействия частиц и поступления (заливки) жидкого металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология SPH является одной из передовых разработок для увеличения скорости расчета сложных вычислительных гидродинамических задач, в частности задач моделирования литейных процессов. Благодаря дискретизации потока на конечное число частиц, гидродинамическая задача легко распараллеливается 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, а также всех основных модулей СКМ ЛП «ПолигонСофт».

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.ф.-м.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»