

**Махортов Владимир Денисович**

ассистент кафедры

ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

г. Волгоград, Волгоградская область

## **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА СГЛАЖЕННЫХ ЧАСТИЦ КАК ЗАДАЧА СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ**

***Аннотация:** в статье рассматриваются особенности численного метода гидродинамики сглаженных частиц (SPH), его преимущества для решения задач моделирования в различных отраслях науки и производства. Предлагается внедрение метода в программу подготовки специалистов в области компьютерного моделирования и разработки программного обеспечения. Демонстрируется реализация SPH в исследовательской работе студентов.*

***Ключевые слова:** метод сглаженных частиц, метод SPH, компьютерное моделирование, информационные технологии, НИР студентов.*

Компьютерное моделирование динамики сплошных сред представляет собой востребованный инструмент в различных научно-производственных сферах, что обуславливает необходимость создания соответствующего программного обеспечения. Целевой аудиторией таких продуктов являются как академическое сообщество (научные работники, исследователи, преподаватели и обучающиеся вузов), так и индустриальный сектор, использующий моделирование и расчеты в проектной деятельности. Расширение ассортимента программных решений, в свою очередь, интенсифицирует конкурентные отношения в среде разработчиков.

Несмотря на наличие специализированного программного обеспечения для моделирования динамики сплошных сред, его внедрение в научно-исследовательскую и инженерную практику в России сталкивается с барьерами, главным из которых является ограниченный доступ. Существенными недостатками имеющихся программных решений также являются их узкая направленность, низкая

степень адаптируемости, закрытая архитектура и высокая стоимость, что актуализирует задачу разработки альтернатив.

Для реализации компьютерного моделирования физических процессов и явлений необходимы специальные вычислительные методы, призванные упростить решение этой задачи. Одним из эффективных методов считается бессеточный метод сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH). Его принципиальное отличие состоит в замене традиционной вычислительной сетки на множество отдельных частиц с определенной массой. Данное свойство по определению обеспечивает выполнение закона сохранения массы, что устраняет необходимость отдельного алгоритма для его расчета и повышает простоту применения SPH в программном обеспечении для моделирования [3].

Следует отметить также следующие положительные характеристики метода SPH: возможность оптимизации быстродействия через распараллеливание расчетов, высокая степень адаптивности. Эти свойства обуславливают его широкую применимость для построения моделей физических явлений и процессов в различных областях, например: сверление титанового сплава [1], погружение тела в жидкость с ударом о дно [2], стационарные ударные волны в пористой меди [6], движение сыпучих материалов [7], динамика столкновения сфероидальных галактик [8] и др.

Учитывая устойчивый и значительный спрос на инструменты компьютерного моделирования, можно заключить, что разработка программного обеспечения, реализующего метод сглаженных частиц, является актуальным и многообещающим направлением. В связи с этим изучение данного метода является важным и обоснованным элементом подготовки будущих специалистов в сфере информационных технологий и компьютерного моделирования.

В процессе обучения численным методам студенты формируют умения и навыки их программной реализации с помощью вычислительной техники, учатся интерпретировать полученные численные результаты и оценивать их точность, что позволяет успешно применять изученные или разрабатывать новые

эффективные вычислительные алгоритмы для решения задач из разных отраслей науки и промышленности [4, с. 72].

В ходе освоения разных дисциплин учащиеся смогут использовать метод сглаженных частиц для решения задач по моделированию явлений и процессов различной физической природы и проведения виртуальных экспериментов с изменяемыми параметрами. Примерами таких учебных кейсов являются симуляция прорыва дамбы, изучение динамики волновых колебаний в жидкости, газе или другой сплошной среде и др. [5]. Использование метода SPH в моделировании, возможности его модификации, поиск путей оптимизации и практическая реализация в виде программного кода – все это может являться задачами НИР студентов.

В качестве иллюстративного примера приведем магистерскую научно-исследовательскую работу, выполненную в Волгоградском государственном университете. Целью работы являлась разработка программного обеспечения, позволяющего проводить моделирование сплошных сред методом сглаженных частиц, используя технологию CUDA. Актуальность проведенного исследования продиктована востребованностью компьютерного моделирования динамических процессов в сплошных средах, необходимого для решения различных задач в научной и производственной сфере. Прикладной характер работы заключается в том, что разрабатываемое программное обеспечение может быть востребовано предприятиями, занимающимися проектированием и моделированием.

Разработка основана на методе гидродинамики сглаженных частиц. Суть заключается в разделении среды на дискретный набор частиц и последующий подсчет их параметров с учетом соседей. В результате проведенной работы была создана программа, реализующая метод SPH на языке C++ с использованием параллельных вычислений. Главный расчетный модуль циклично перебирает массив всех частиц, пересчитывая значения давления и плотности на каждой итерации, учитывая вклад находящихся рядом частиц.

Разработанный программный комплекс имеет в своем составе основные необходимые классы и два модуля для проведения расчетов: последовательный для

CPU и параллельный для GPU. Программа состоит из расчетного модуля, включающего в себя две версии метода SPH, реализованные на языке C++ в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2017: последовательную и параллельную, модифицированную при помощи технологии параллельных вычислений Nvidia CUDA, а также модуля интерфейса на языке C++ с использованием элементов .NET Framework для взаимодействия с пользователем, ввода данных и вывода результатов расчетов.

Распараллеленная версия программы с использованием CUDA показала существенный прирост производительности. Программа тестировалась на примере задачи о падении дамбы с разным количеством частиц. Полученные результаты показали существенный прирост производительности при распараллеливании части вычислений на графическом ускорителе NVIDIA.

Тестовый прототип программного комплекса был представлен в формате проектного стартапа на Акселерационной программе в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства», нацеленного на вовлечение студентов в технологическое предпринимательство, повышение инвестиционной привлекательности сферы исследований и разработок через стартапы. Студент представил также обоснование качественного и количественного социально значимого эффекта разработанной программы: снижение себестоимости проведения моделирования как в научно-исследовательской, так и в конструкторской сферах деятельности, появление нового программного продукта, дающего пользователям больший выбор средств для работы в области компьютерного моделирования.

Таким образом, введение в программу НИР задач по изучению и реализации метода SPH способствует формированию уникальных компетенций обучающихся, стимулирует деятельность будущих специалистов по разработке программного обеспечения для задач компьютерного моделирования, кроме того, отвечает запросам промышленности и науки, увеличивает потенциал для создания новых программных решений.

### ***Список литературы***

1. Горбунов И.В. Моделирование процесса сверления с помощью SPH и конечно-элементного методов / И.В. Горбунов, И.В. Ефременков, В.Л. Леонтьев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16. №1 (5). – С. 1346–1351.
2. Давыдов М.Н. Моделирование кавитации при контакте тела с дном методом SPH / М.Н. Давыдов // Марчуковские научные чтения 2020 / Ин-т вычислит. математики и матем. геофизики СО РАН. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. – С. 179–180.
3. Евстигнеев Н.М. Высокоскоростные параллельные алгоритмы решения задач механики сплошной среды методом сглаженных частиц / Н.М. Евстигнеев, Ф.С. Зайцев, О.И. Рябков // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 459. №3. – С. 280–284. DOI 10.7868/S0869565214290040. EDN SXJDAB
4. Корнилов В.С. Обучение численным методам как фактор расширения научного мировоззрения студентов / В.С. Корнилов, В.В. Беликов // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2011. – №21. – С. 70–73. EDN OZCINH
5. Махортов В.Д. Целесообразность обучения студентов информационно-технических специальностей методу SPH / В.Д. Махортов // Перспективы развития высшей школы: материалы V Международной научно-практической конференции. – В 3 т. Т. 1. – Тюмень: ТИУ, 2024. – С. 386–389. – EDN ABRERG
6. Моделирование стационарных ударных волн в пористом веществе методом SPH / С.А. Мурзов, А.Н. Паршиков, С.А. Дьячков [и др.] // Труды МФТИ. – 2020. – Т. 12. №2. – С. 64–75. DOI 10.53815/20726759\_2020\_12\_2\_64. EDN JZPRZX
7. Потапов И.И. Использование составного ядра в методе SPH для моделирования движения сыпучих материалов / И.И. Потапов, О.В. Решетникова // Вычислительные технологии. – 2021. – Т. 26. №1. – С. 50–61. DOI 10.25743/ICT.2021.26.1.004. EDN AVKKIZ
8. Титов А.В. Численное моделирование столкновений сфероидальных галактик: эффективность потери массы барионными компонентами / А.В. Титов,

А.В. Хоперсков // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. – 2022. – Т. 9 (67). Вып. 1. – С. 176–189. DOI 10.21638/spbu01.2022.117. EDN CTBMVD