

Рецензия

на диссертацию Инкарбекова Медета Каркынбековича по теме: «Высокопроизводительный 3D симулятор для моделирования турбулентных реагирующих течений методом крупных вихрей с использованием фильтрованной функции плотности», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060300-Механика»

1. Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами. Одна из самых актуальных проблем в исследованиях энергетики и окружающей среды связана с точным прогнозированием турбулентных реагирующих потоков. Оптимальным подходом получения подробной, нестационарной физики таких потоков является моделирование с помощью метода крупных вихрей (LES). Успешная реализация LES зависит от двух факторов: (1) насколько точно смоделированы величины подсеточного масштаба (SGS), (2) насколько точно эти модели решены с помощью численных методов. Методология фильтрованной функции плотности (FDF) является одной из наиболее эффективных способов замыкания подсеточных функций. Главное преимущество FDF в том, что после ее применения источник химических реакции в уравнении переноса скалярных переменных определяется в замкнутом виде. Самым оптимальным подходом для решения уравнения FDF является лагранжевый метод Монте Карло (MC). В то же время, высокоэффективным методом численного решения основных отфильтрованных уравнений течения является разрывный метод Галеркина (DG). Преимущество DG в том, что метод обеспечивает высокий порядок точности и может применяться для решения задач со сложной геометрией.

Данная работа выполнена в рамках проекта программы грантового финансирования фундаментальных исследований в области естественных наук МОН РК «Высокопроизводительный 3D симулятор фильтрованной функции плотности для моделирования крупных вихрей турбулентных реагирующих течений, основанный на методах разрывного Галеркина и Монте Карло» (2018-2020 гг., № ГР 0118РК00564)

2. Научные результаты и их обоснованность. В диссертационной работе разработана новая высокопроизводительная вычислительная методология для моделирования реагирующих турбулентных течений несжимаемой жидкости методом крупных вихрей. Для численного решения основных фильтрованных уравнений течения разработана схема на основе разрывного метода Галеркина (DG), позволяющая с высокой точностью определить такие динамические величины течения, как скорость и давление. Для замыкания источника химической реакции применяется метод фильтрованной функции плотности (FDF). Построенное уравнение переноса FDF решается

численно с помощью лагранжевого метода Монте-Карло (МС). Гибридная схема численного решения DG-МС разработана таким образом, чтобы её можно было реализовать с использованием параллельных вычислений. Параллельная версия кода выполнена с помощью технологии CUDA для проведения расчетов на вычислительных системах, основанных на графических устройствах. Благодаря этому, появляется возможность решать ресурсоемкие задачи с высокой производительностью на персональных компьютерах, не прибегая к дорогостоящим вычислительным кластерам. Это позволит использовать программный код достаточно широкому кругу исследователей турбулентных реагирующих течений, а также позволит расширить круг решаемых задач.

Успешность разработанного DG-МС-LES симулятора, как показали результаты исследований, гарантирует его дальнейшую оптимизацию и применения к более сложным задачам моделирования турбулентных течений, включая турбулентное горение.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключения диссертационной работы определяются использованием фундаментальных законов сохранения массы, количества движения, энергии, вещества при построении математических моделей; удовлетворительным согласованием численных результатов с данными и теоретическими работами других авторов. Численные схемы основаны на разрывном методе Галеркина и методе Монте Карло, которые являются эффективным инструментом при решении исходных уравнений, что подтверждается большим количеством проделанных исследований. Оценка общей производительности методологии оценивается путем моделирования двумерных и трехмерных слоев смешения. Надежность полученных численных результатов исследуется путем сравнения осредненных по Рейнольдсу статистических данных с данными прямого численного моделирования.

4. Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода соискателя, сформулированных в диссертации. Все результаты, полученные в ходе исследовательской работы, являются новыми. Главная научная новизна заключается в том, что гибридная схема DG-МС для численного решения LES/FDF модели впервые разработана и реализована с помощью технологии CUDA для проведения расчетов на вычислительных системах, основанных на графических устройствах.

5. Практическая и теоретическая значимость научных результатов. Разработанный в диссертации новый DG-МС-LES симулятор, может применяться для численного исследования турбулентных реагирующих течений теоретического и прикладного характера. Построенная методология позволяет производить параллельные вычисления на графических процессорах, дает возможность исследователям решать ресурсоемкие задачи с высокой

производительностью на персональных компьютерах, оборудованными графическими картами.

6. Замечания, предложения по диссертации. В разделе работы «Обозначения и сокращения» приводится не полный список используемых аббревиатур. В тексте встречается не расшифрованная аббревиатура, например, CUF, GPU, CPU, SIMT. В диссертации присутствуют стилистические неточности и опечатки. Имеются предложения с словами, повторяющимися дважды.

Следует отметить, что перечисленные замечания носят в основном формальный характер и не снижают значимость проведенных исследований и полученных результатов, приведенных в диссертационной работе

7. Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения ученых степеней. Диссертационная работа Инкарбекова Медета Каркынбековича на тему «Высокопроизводительный 3D симулятор для моделирования турбулентных реагирующих течений методом крупных вихрей с использованием фильтрованной функции плотности» является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Работа отвечает требованиям Правил присуждения ученых степеней, а ее автор Инкарбеков М.К. заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060300 - Механика».

Рецензент,
главный научный сотрудник,
Институт математики и математического
моделирования МОН РК,
к. ф.-м. н.



Бекетаева А.О.