

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. Исследование турбулентных течений имеет важное теоретическое и практическое значение. Теория турбулентности – одна из нерешенных проблем науки и каждый год появляются многочисленные работы, посвященные моделированию турбулентных потоков жидкости и газа. Это связано с применением турбулентных течений в различных областях человеческой деятельности. Наиболее продвинутой модели турбулентности, так называемое прямое численное решение нестационарных уравнений Навье-Стокса (DNS модель). Однако, уникальность турбулентности заключается в том, чтобы описать всю вихревую структуру требуется большое количество машинного времени, которое неограниченно возрастает с ростом числа Рейнольдса. Поэтому пока DNS модель используется при малых числах Рейнольдса порядка до 10^4 . В реальных задачах практики число Рейнольдса изменяется в диапазоне от 10^5 до 10^7 , что требует разработки более приемлемых и адекватных моделей турбулентности. В настоящее время одним из таких является модель крупных вихрей (LES модель). Применение этой модели особенно для турбулентных течений с химическими реакциями затруднено с разработкой более точных методов расчета.

Диссертация Медета Инкарбекова посвящена новой методологии расчета LES модели для турбулентных потоков с химическими реакциями и разработке высокопроизводительного симулятора, позволяющего реализовать на практике применение LES модели. Диссертация посвящена актуальной проблеме, блестяще выполнена для решения поставленной задачи.

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 диссертации для моделирования (описания) энергетического спектра турбулентности используется метод крупных вихрей (LES), модель Смогоринского для подсеточного массового потока и модель фильтрованной функции плотности

(FDF) для источника химической реакции. Преимуществом FDF является высокая точность моделирование химических реакций.

Также следует отметить, что уравнения LES модели аппроксимируются схемой высокого порядка точности и решаются разрывным методом Галеркина. Для решения FDF модели применяется лагранжевый метод Монте-Карло.

Использование современных моделей и методов расчета обеспечивает адекватное описание турбулентных течений. Однако, этот подход является требовательным к вычислительному ресурсу для расчета прикладных задач, включающих химическую кинетику. Основной причиной этому служит огромное количество частиц в методе Монте-Карло, которое имеет порядок от миллионов до миллиардов. Даже при таком раскладе, вычислительные ресурсы LES модели для расчета сложных задач требуют на несколько порядков меньше машинного времени, чем DNS модель - прямое численное моделирование уравнения Навье-Стокса.

Для ускорения расчетов прикладных задач с помощью LES/FDF модели автором применяется технология параллельных вычислений на основе CUDA.

Общая производительность новой методологии оценивается путем моделирования двумерных и трехмерных слоев смешения с химическими реакциями. Результаты расчетов показывают, что комбинирование математической модели LES-FDF и гибридной численной схемы DG-MC является эффективным инструментом для моделирования крупных вихрей реагирующих турбулентных течений.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации. Обоснованность научных положений, выводов и заключения диссертационной работы корректны и научно обоснованы. Построенные в работе математические модели основаны на фундаментальных законах сохранения. Смоделированные результаты проверяются посредством мгновенного и статистического анализа. Статистические данные построены путем пространственного усреднения данных по Рейнольдсу. Достоверность результатов вычислений проверены путем сравнения с данными расчетов DNS модели на более густой сетке для охвата всех размеров вихрей, начиная с колмогоровского масштаба.

4. Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода соискателя, сформулированных в диссертации. 1. Комбинирование модели LES-FDF и гибридной численной схемы DG-MC является эффективным методом для моделирования реагирующих турбулентных течений; 2. Гибридная схема DG-MC для численного решения LES-FDF модели построена с помощью технологии CUDA для проведения расчетов на вычислительных системах, основанных на графических устройствах (GPU).

5. Практическая и теоретическая значимость научных результатов.

Теоретическая значимость - комбинация модели LES-FDF и гибридной численной схемы DG-МС является эффективным методом для моделирования турбулентных реагирующих течений.

Практическая значимость – разработана новая вычислительная методология реагирующих турбулентных течений на основе разрывного метода Галеркина с использованием технологии CUDA для параллельных вычислений и может быть применена для расчетов двумерных и трехмерных турбулентных течений с химическими реакциями.

6. Замечания, предложения по диссертации. В качестве пожелания следует отметить, что результаты расчетов антипараллельных потоков желательно бы сравнить с данными других исследователей и тем самым, показать преимущества разработанного подхода.

7. Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Инкарбекова Медета Каркынбековича является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными и достоверными.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа на тему «Высокопроизводительный 3D симулятор для моделирования турбулентных реагирующих течений методом крупных вихрей с использованием фильтрованной функции плотности», представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D060300-Механика», соответствует требованиям «Правил присуждения ученых степеней» ККСОН МОН РК, предъявляемым к работам такого рода, как по содержанию, так и по объему, а ее автор Инкарбеков М.К. заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD).

Рецензент, заведующий
научно-производственной лабораторией
“Моделирование в энергетике”,
КазНУ им. К. Сатпаева,
д.т.н., профессор



Жапбасбаев У.К.