

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Сравнительный анализ открытого программного обеспечения для полевого моделирования пожаров

И.Я. Шейнман, А.С. Цой, А.Ю. Снегирев

Компьютерное моделирование в пожарной безопасности



Использование компьютерного моделирования – одна из современных тенденций развития теоретических методов в области обеспечения пожарной безопасности.

Численное моделирование применяется для проверки обоснованности проектных решений, количественной оценки уровня безопасности и риска.

Все более широко используется свободно распространяемое специализированное ПО с открытым кодом.

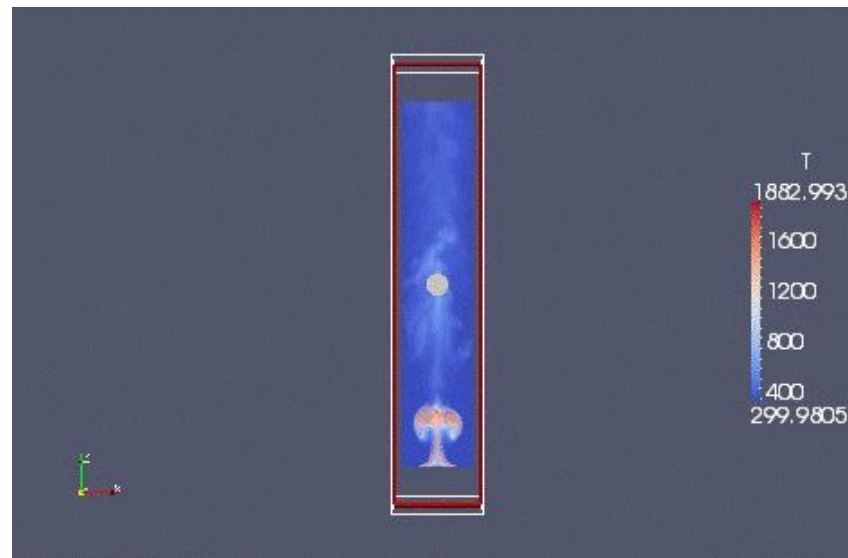
Свободно распространяемое ПО с открытым кодом для моделирования пожаров

1. Fire Dynamics Simulator (FDS) – специализированное ПО, разработанное Национальным институтом стандартов и технологии США (NIST)

<http://fire.nist.gov/fds/>

2. FireFOAM – специализированный солвер, разработанный на базе библиотеки OpenFoam (<http://www.openfoam.org/>) компанией FMGlobal (USA) (<http://www.fmglobal.com/>)

Тестовая задача: моделирование установившегося естественно-конвективного диффузионного турбулентного пламени (пропан) в открытом пространстве над круглой пористой горелкой $D = 30$ см. Эксперимент Gengembre et. al., 1984



Краткое описание используемых математических моделей

Компонент модели	FireFOAM	FDS
турбулентное течение газовой смеси	метод крупных вихрей (LES) , система уравнений Навье-Стокса для сжимаемой среды, отфильтрованная по Фавру	
	модель с одним уравнением для подсеточной кинетической энергии турбулентности	статическая модель Смагоринского
горение	приближение бесконечно быстрой необратимой реакции с учётом конечной скорости подсеточного смешения реагентов	
	-	С учетом образования СО и сажи

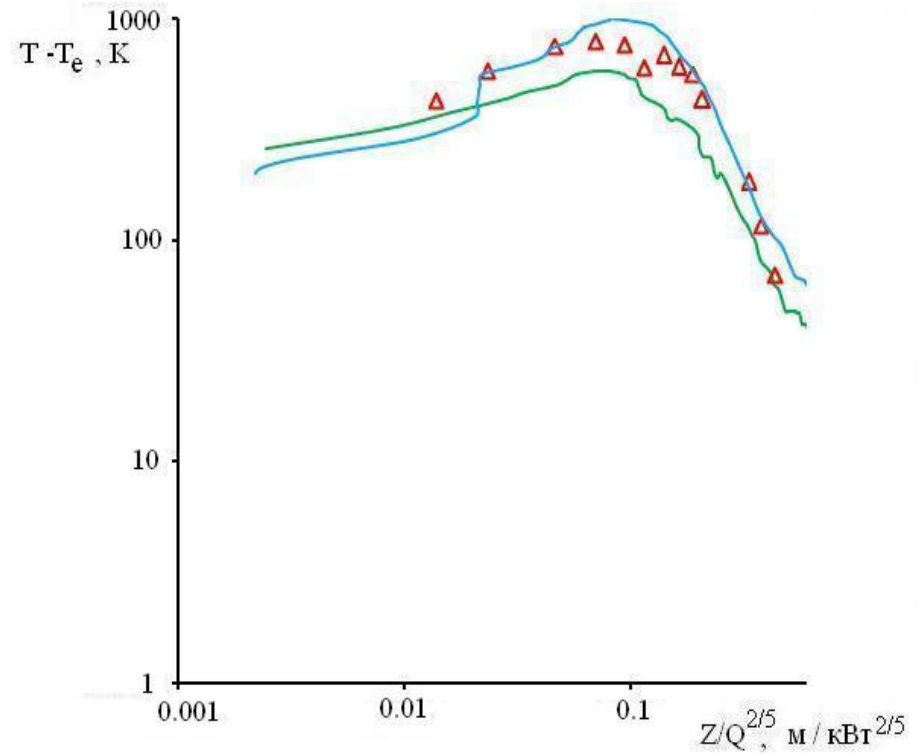
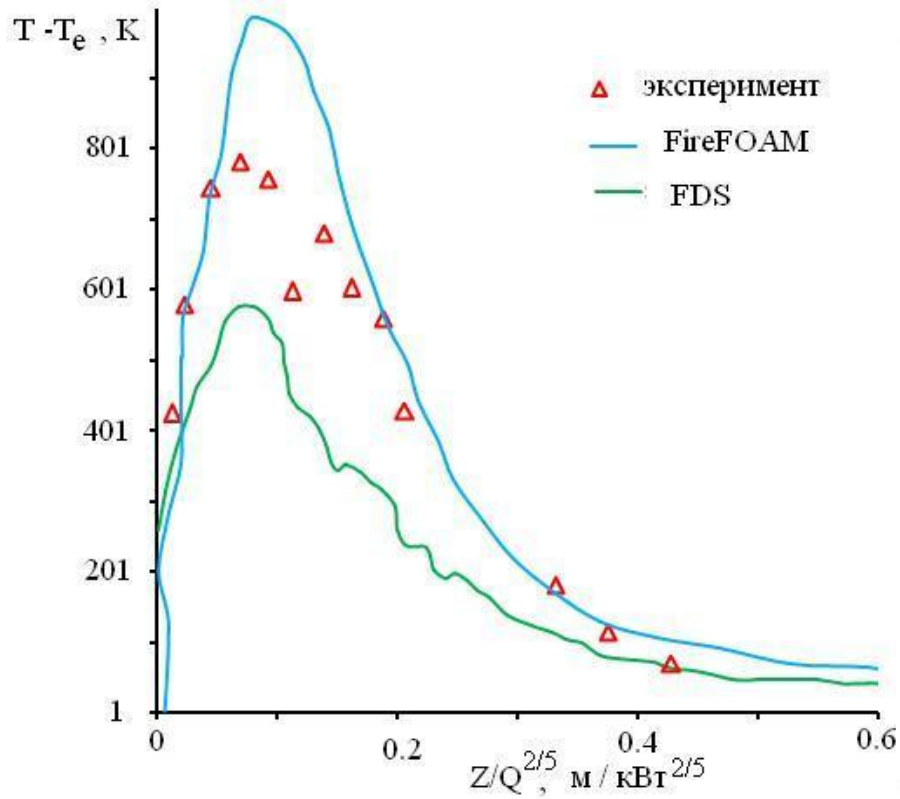
Краткое описание используемых математических моделей

Компонент модели	FireFOAM	FDS
излучение	метод дискретных ординат, метод взвешенной суммы серых газов	метод контрольных объёмов , использовались несколько коэффициентов поглощения, осреднённых по выделенным спектральным полосам

Численные методы

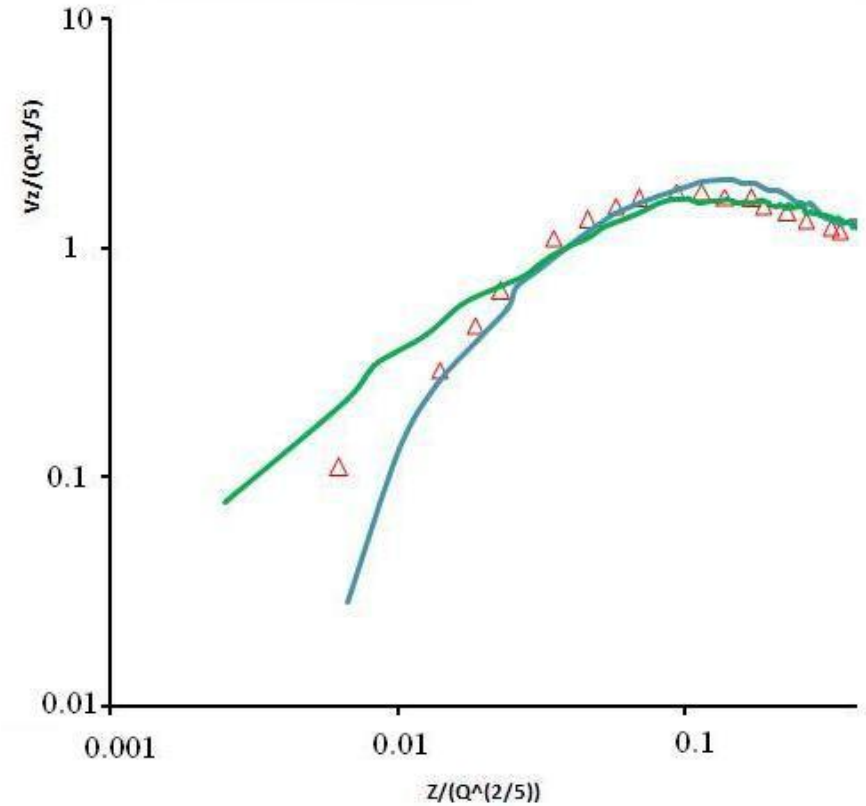
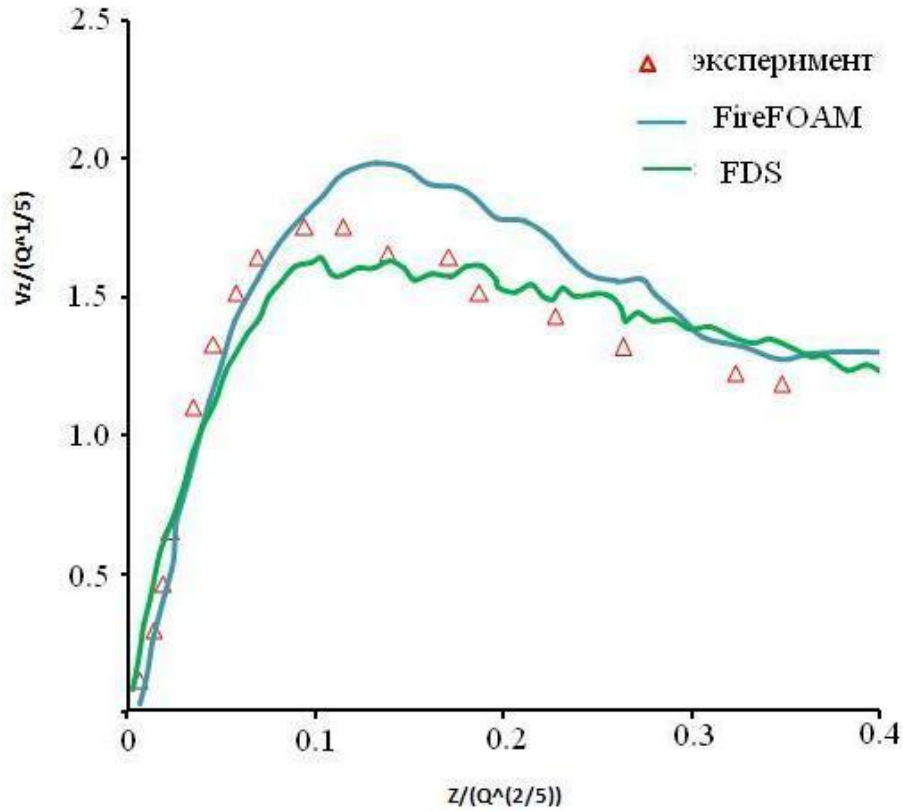
Компонент алгоритма	FireFOAM	FDS
аппроксимация по времени	полностью неявные аппроксимации по времени, 2-ой порядок	двухшаговая схема предиктор-корректор второго порядка точности
уравнение для давления	геометро-алгебраический многосеточным методом (GAMG)	быстрое преобразование Фурье

Результаты расчетов



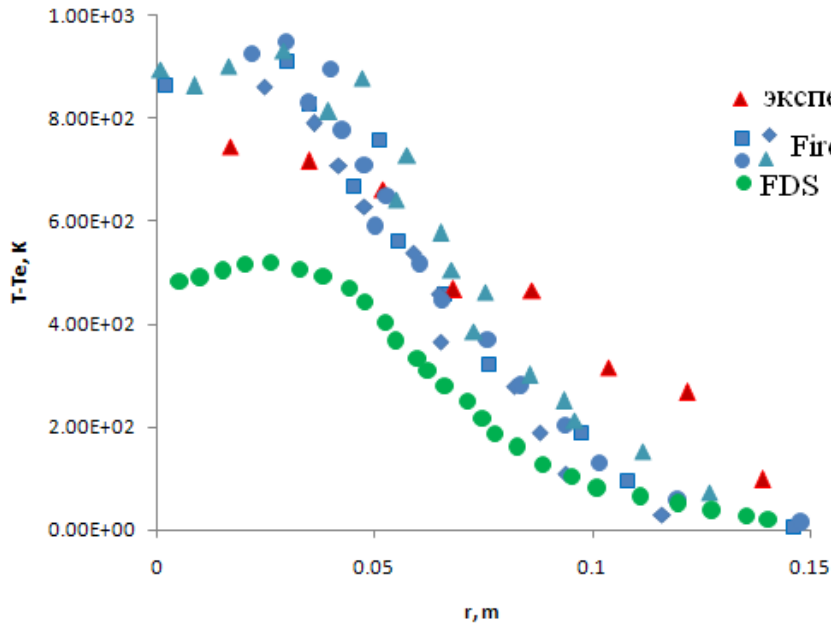
Осредненная температура на оси симметрии Z для пламени мощностью 37.9 кВт.

Результаты расчетов

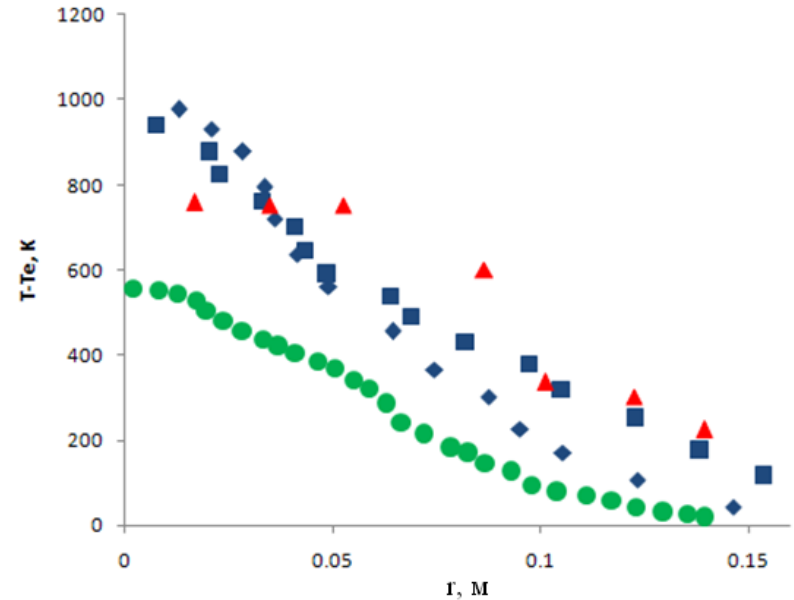


Осредненная вертикальная компонента скорости на оси симметрии Z для пламени мощностью 37.9 кВт.

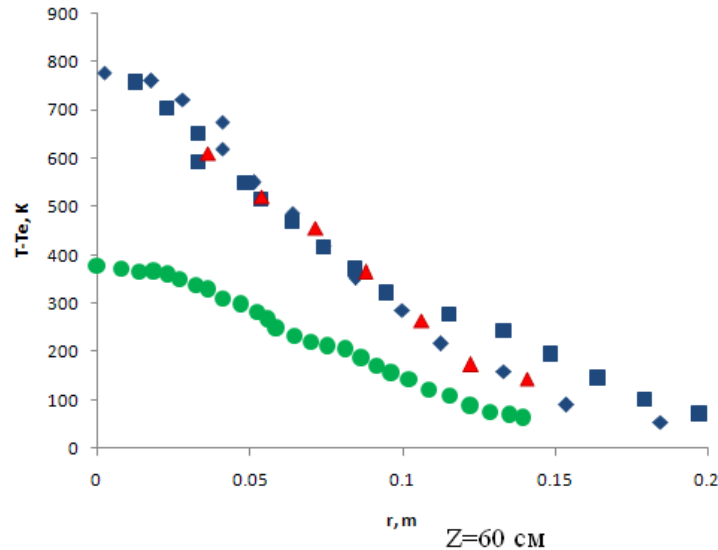
Результаты расчетов



$Z=20\text{ cm}$



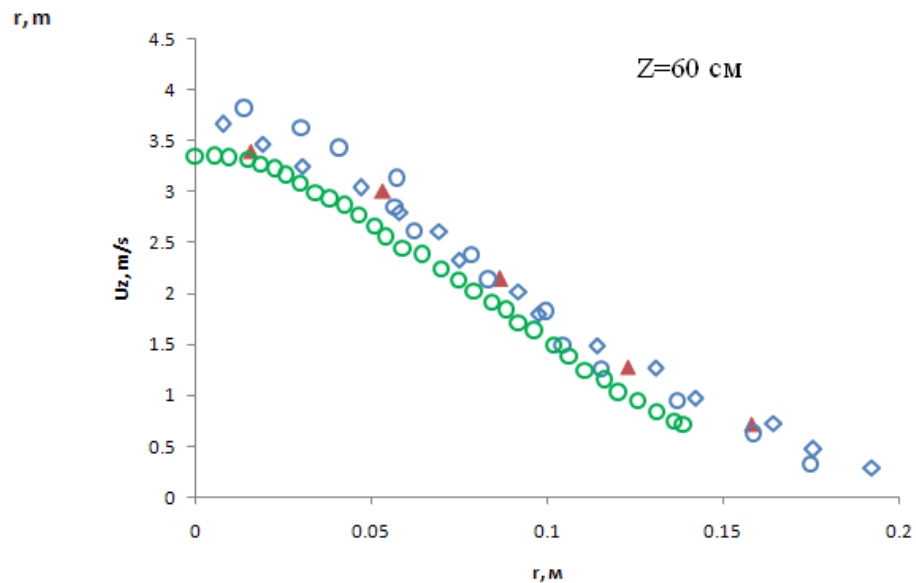
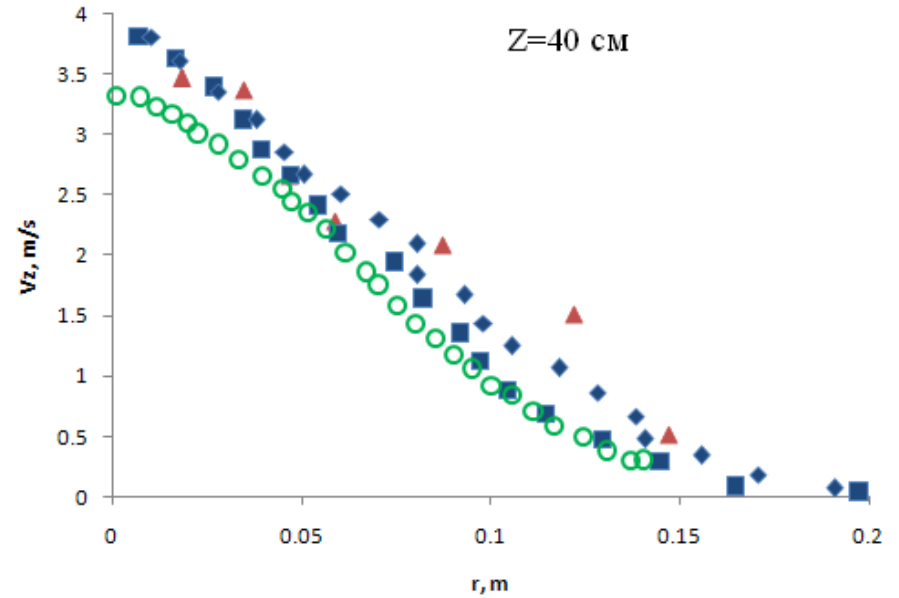
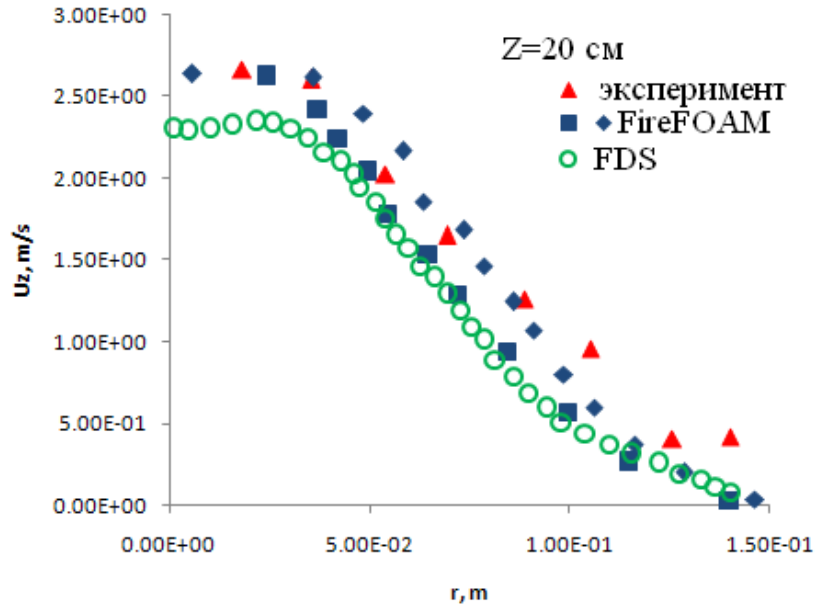
$Z=40\text{ cm}$



$Z=60\text{ cm}$

Радиальные профили осредненной температуры для пламени мощностью 37.9 кВт.

Результаты расчетов



Радиальные профили осредненной вертикальной компоненты скорости для пламени мощностью 37.9 кВт.

Результаты расчетов

Характерная частота крупномасштабных пульсаций $f = 0.5\sqrt{\frac{g}{D}} \approx 2.85\text{Hz}$

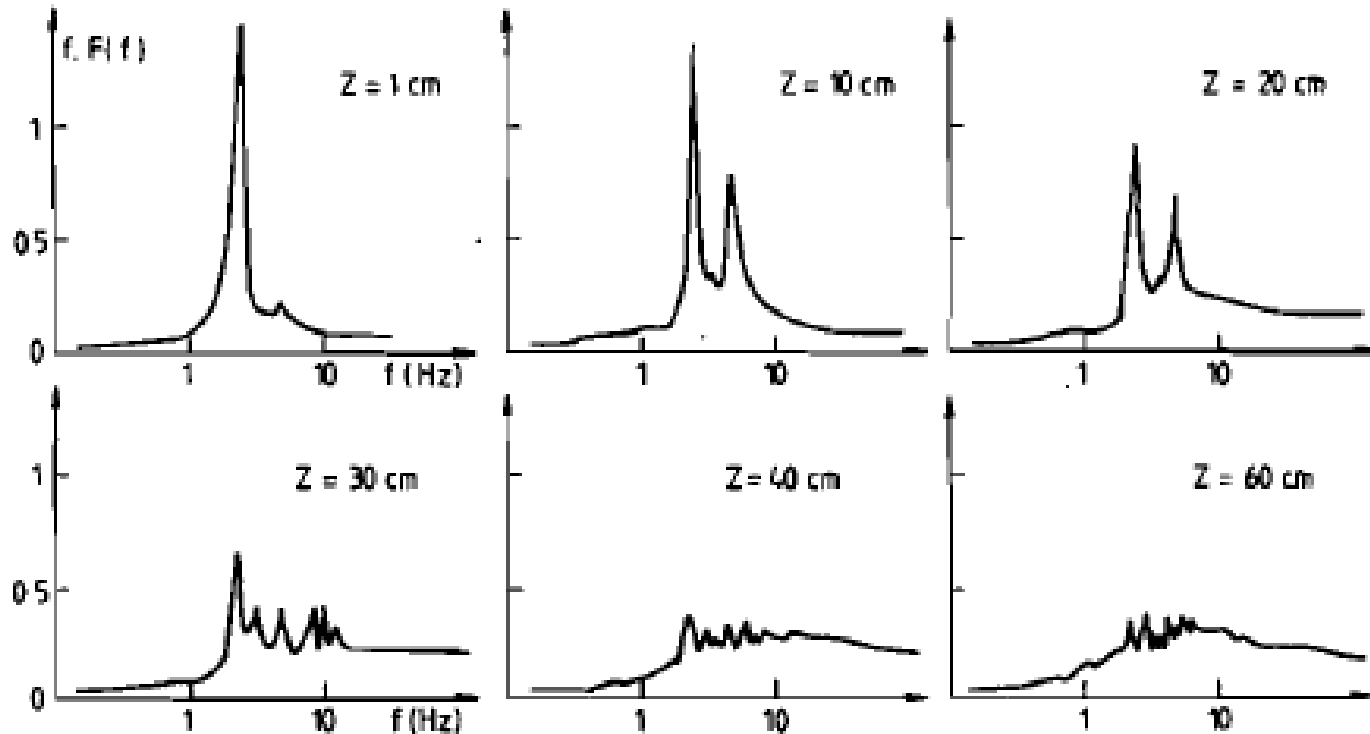
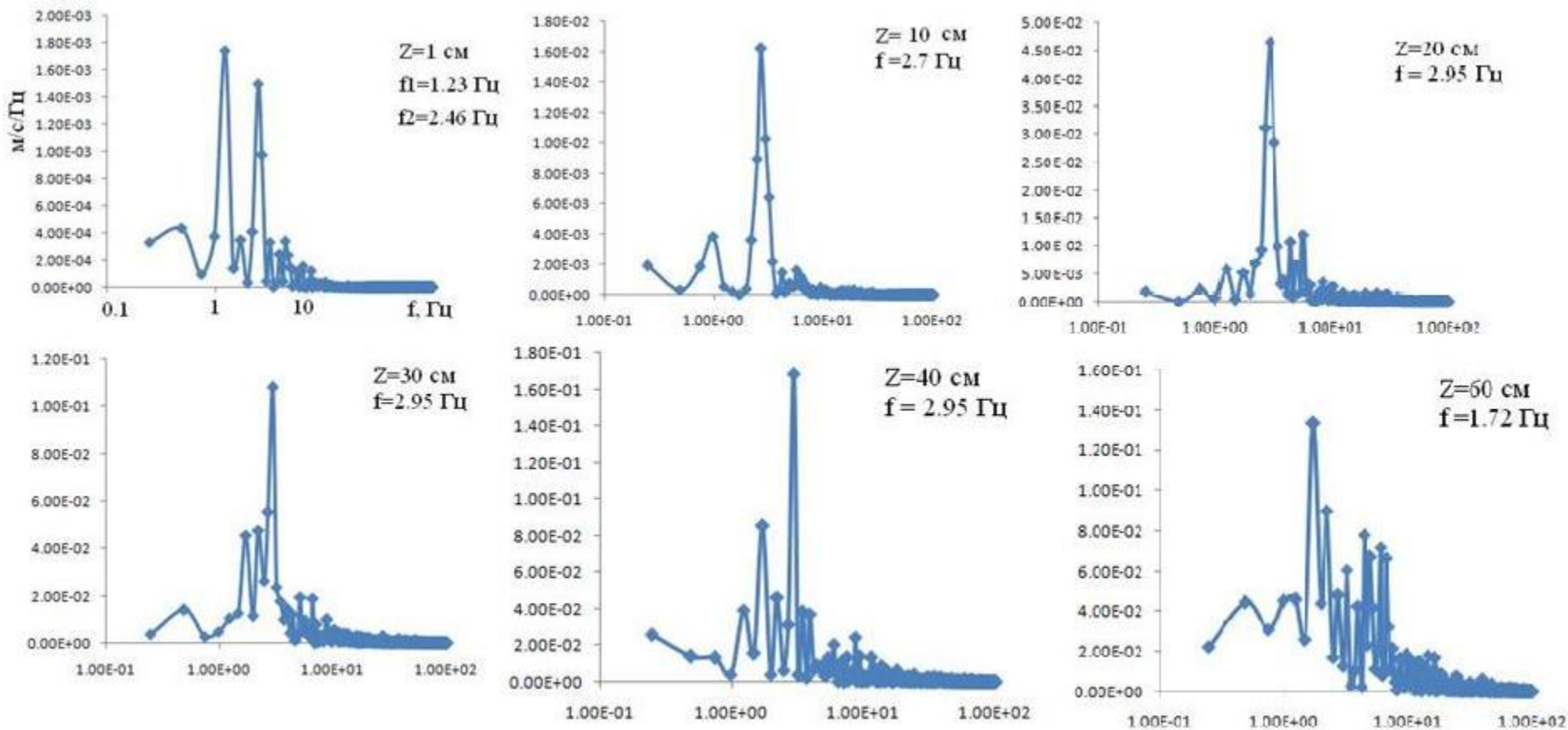


FIGURE 8 Velocity normalized spectra at different heights in the flame.

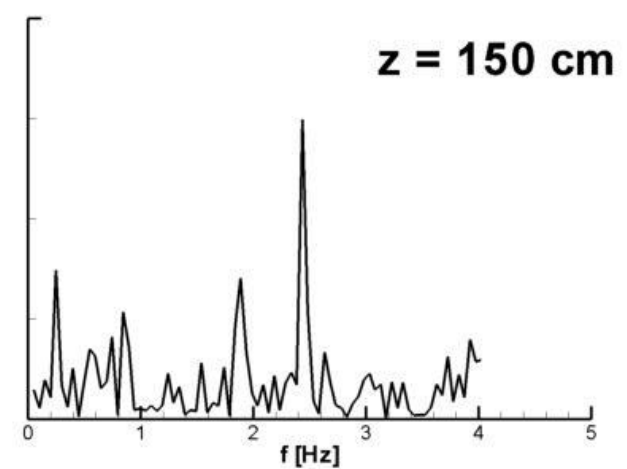
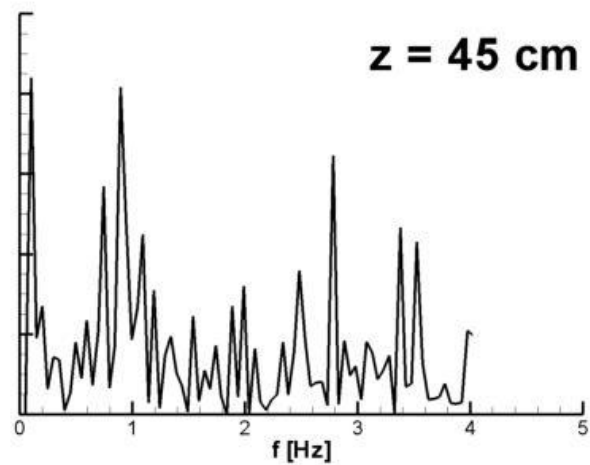
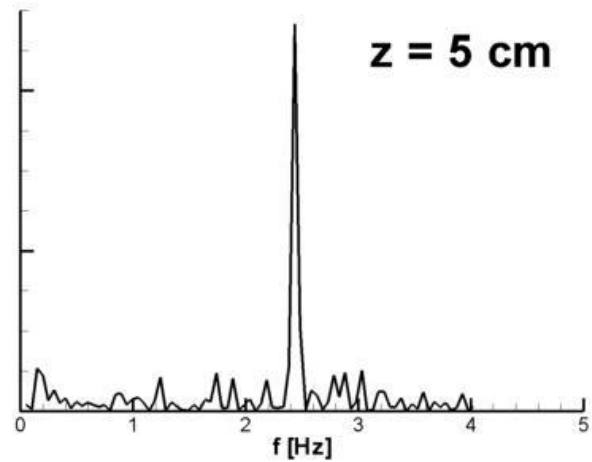
Экспериментальные нормализованные энергетические спектры пульсаций скорости на оси пламени мощностью 37.9 кВт, характерная частота 2.4 Гц

Результаты расчетов



Расчетные энергетические спектры пульсаций скорости на оси пламени мощностью 37.9 кВт, FireFOAM

Результаты расчетов



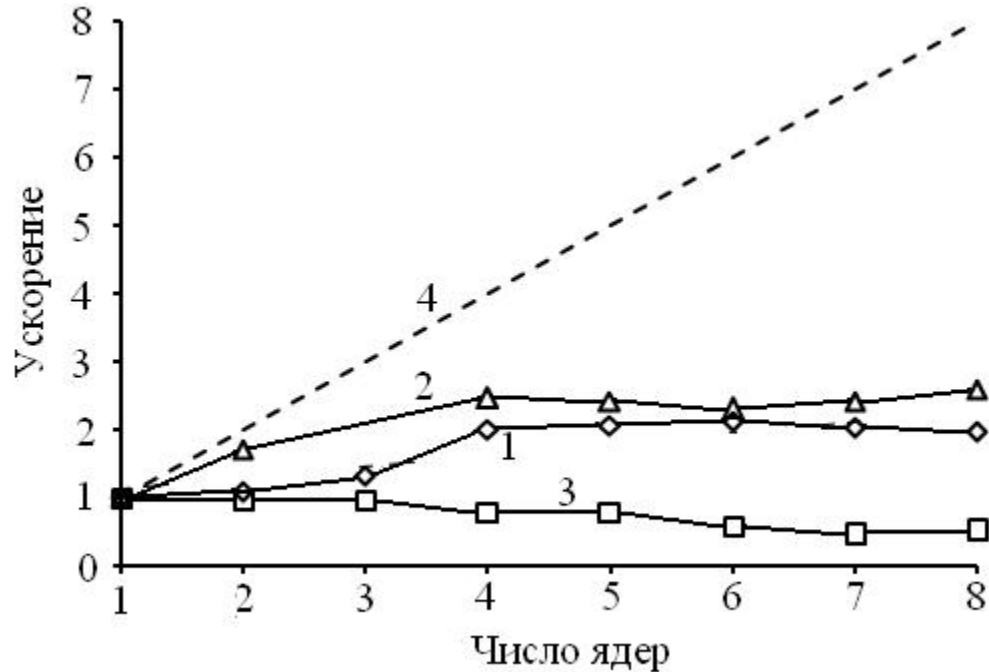
Расчетные энергетические спектры пульсаций скорости на оси пламени мощностью 37.9 кВт, FDS, характерная частота 2.43 Гц

Масштабируемость FireFOAM и FDS

**Характеристики вычислительного кластера
ЦКП «Компьютерные технологии проектирования и моделирования в системах
виртуальной реальности» кафедры «Компьютерные технологии в машиностроении» ММФ
СПбГПУ**

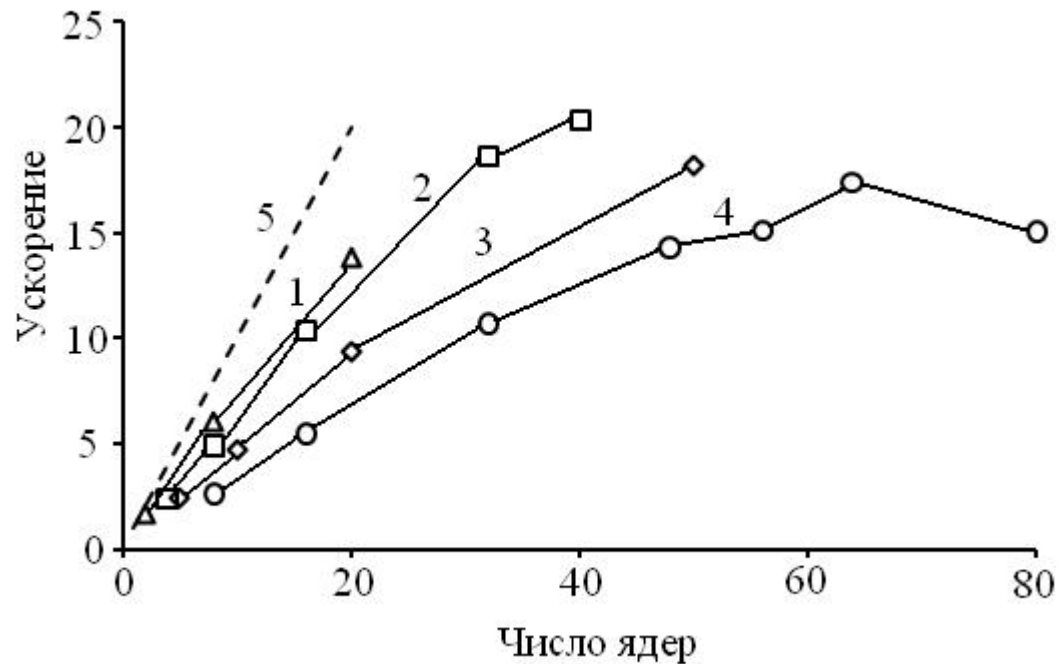
Количество узлов	11
Количество процессоров	22
Количество ядер	88
Тип процессора узла	2 x Xeon E5420 (4 ядра по 2,5 GHz)
ОЗУ/дисковая память вычислительного узла	ОЗУ 8Гб. Диск Seagate Barracuda ST3250310AS 250 Гб
Общая дисковая память	Xyratex StorView, 2.8 Тб (RAID10)
Тип системной сети	Infiniband
Тип управляющей сети	1Gbit Ethernet
Пиковая производительность	436 GFlops, HPLinpack 2.0
Операционная система	OpenSUSE Linux 11.1 x86-64
Система питания	APC SmartUPS RT 10000

Масштабируемость FireFOAM и FDS



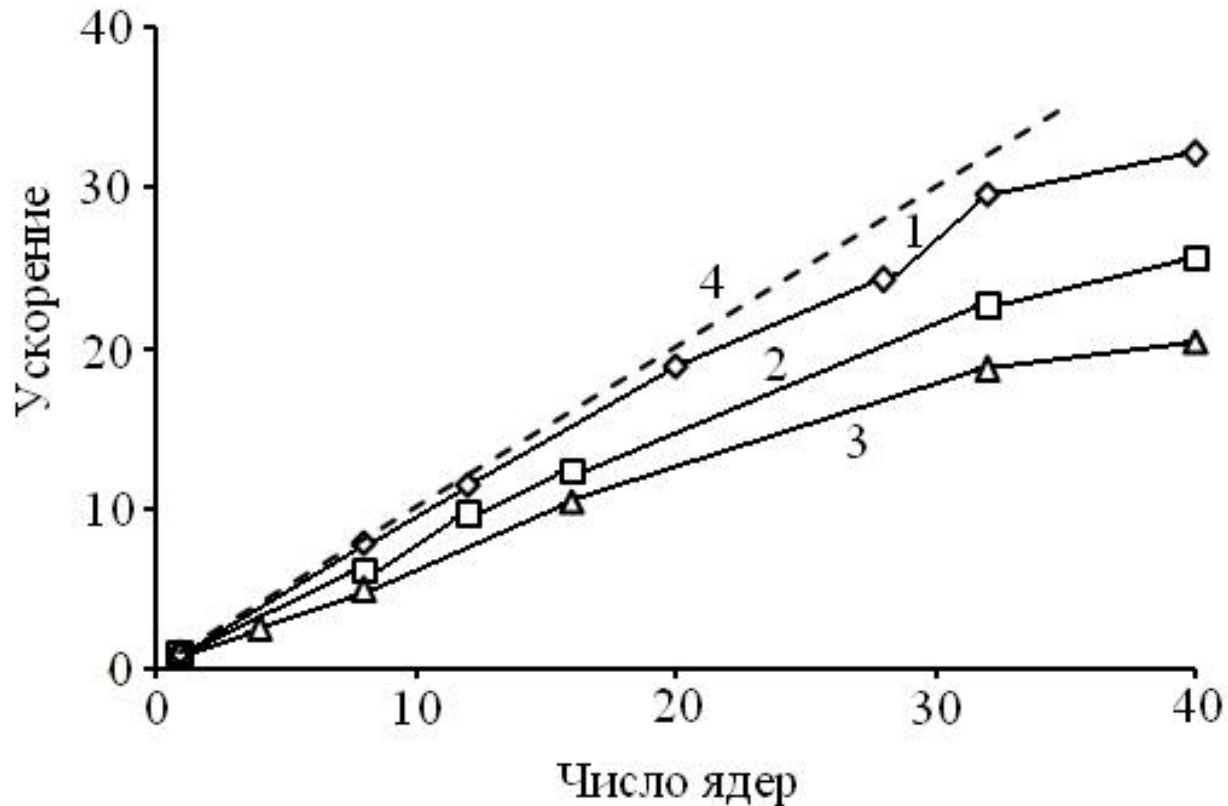
Масштабируемость на одном узле. 1 – FDS, 1,28 млн. ячеек ,
2 - FireFOAM, 1,344 млн. ячеек, 3 – FireFOAM, 7,248 млн. ячеек, интервал
0,01 с ., 4 –линейное ускорение

Масштабируемость FireFOAM и FDS



Ускорение для различной загрузки узлов, FireFOAM, сетка с 1,344 млн. ячеек. Число используемых ядер на узле: 1 – 2, 2 – 4, 3 – 5, 4 – 8; 5 – линейное ускорение.

Масштабируемость FireFOAM и FDS



Ускорение при использовании 4 ядер на узле. 1 - сетка с 7,248 млн. ячеек, интервал времени 0,1 с; 2 - сетка с 7,248 млн. ячеек, интервал времени 0,01 с; 3 - сетка с 1,344 млн. ячеек; 4 – линейное ускорение

Заключение

1. Расчет с помощью FireFOAM дает завышенные значения осредненной температуры вдоль вертикальной оси. Компенсировать этот недостаток можно введением модели учета сажи. FDS приводит к заниженным значениям осредненной температуры.
2. Распределение осредненной вертикальной компоненты скорости вдоль оси пламени удовлетворительно описывается обеими программами, при этом FireFOAM дает завышенные значения.
3. Радиальное распределение осредненной температуры лучше описывается в расчете FireFOAM, FDS приводит к заниженным значениям осредненной температуры.
4. Радиальные профили вертикальной компоненты скорости удовлетворительно описывается обеими программами.
5. Характерная частота крупномасштабных пульсаций на оси в нижней части пламени (до $Z=30$ см) удовлетворительно описывается обеими программами, но качественный характер изменения энергетического спектра пульсаций скорости с ростом Z (верхняя часть пламени) описать не удается.

Благодарности

Работа поддержана
Грантом РФФИ (2006-2008),
Грантом РФФИ № 11-07-12065-офи-м-2011,
Королевское общество Великобритании
Гранты Администрации Петербурга (2009, 2010)
ФЦП «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период
до 2012 года