



# Моделирование пожаротушения распылённой водой с помощью FDS: опыт облачных вычислений

Цой А.С., Снегирёв А.Ю., Шейнман И.Я.

[anna-tsoy@list.ru](mailto:anna-tsoy@list.ru)

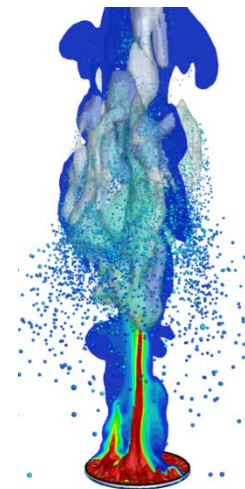
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
Санкт-Петербург

*"Облачные исследования. Образование. Исследования. Разработка." 7 декабря 2012*



# Благодарности

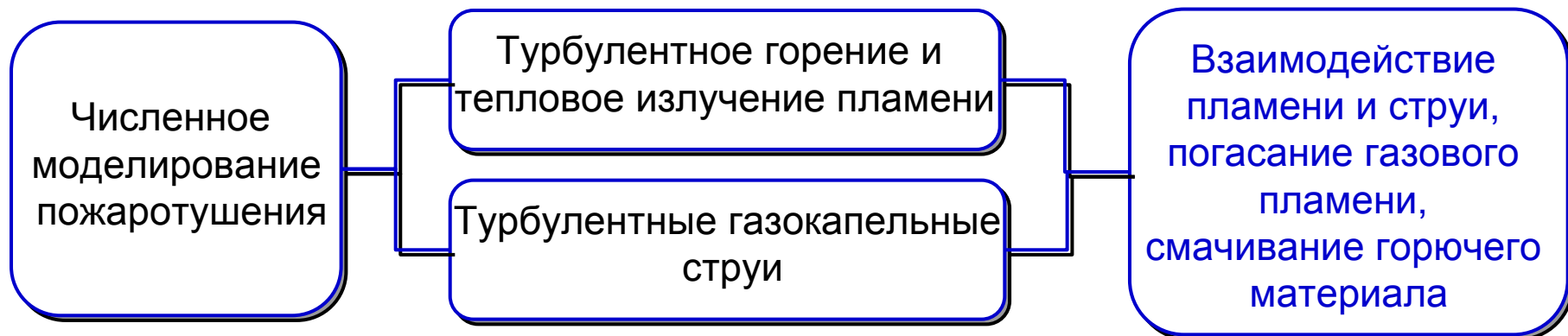
- Федеральная целевая программа «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года» (лоты 2010 и 2011 гг.)
- Гранты РФФИ 10-08-92602-КО\_а, 10-08-08019-з, 2010–2011, Royal Society (UK) JP090548
- Гранты Администрации Санкт-Петербурга (2009, 2010, 2012)
- ООО «Гефест», Санкт-Петербург





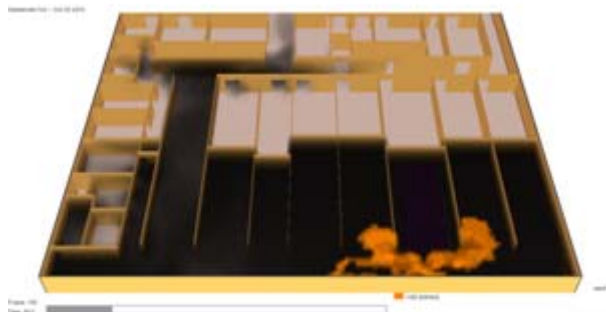
# Введение

- Теоретические, академические задачи



- Прикладные задачи

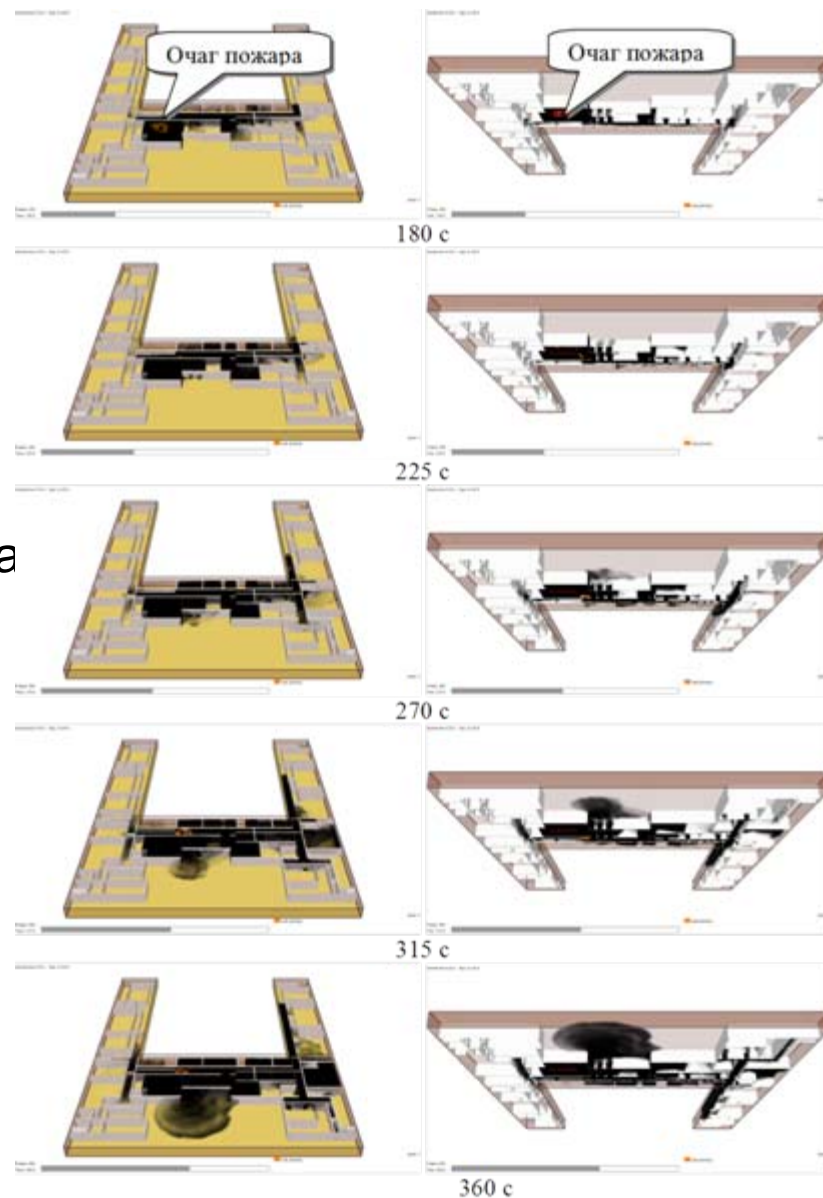
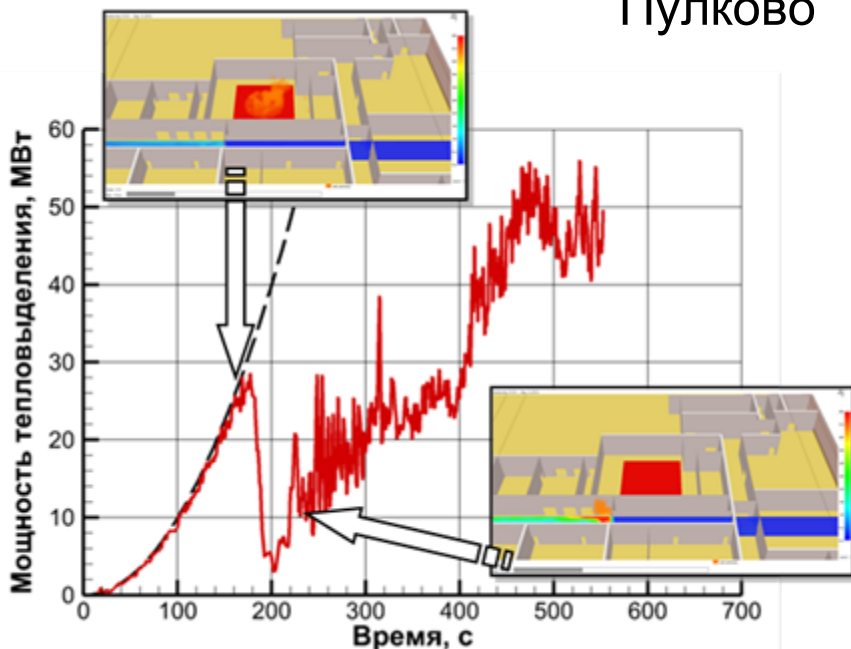
- Теоретическое обоснование нового алгоритма активации системы пожаротушения





# Моделирование пожаров (СПбГПУ)

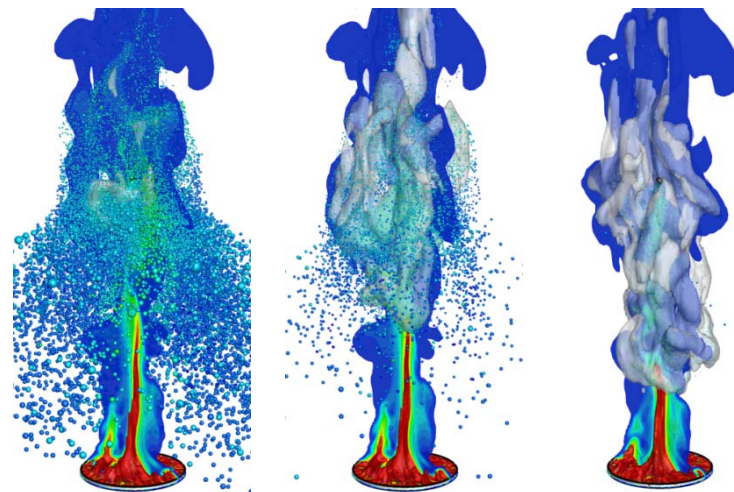
- Прогнозирование динамики проектного пожара
  - Производственные помещения
  - Вычислительный центр университета
  - Стадион ФК «Зенит»
  - Транспортный тоннель
  - Строящийся терминал аэропорта Пулково





# Моделирование пожаров (СПБГПУ)

- Моделирование систем пожаротушения в служебных отсеках самолётов (хладон 1301, по заказу Airbus)
- Новые методы анализа термической устойчивости горючих материалов и новые модели их пиролиза и газификации в условиях пожара (по заказу Boeing, USA)
- Структура и динамика турбулентных газокапельных струй огнетушащих жидкостей (вода, хладон) и режимов их взаимодействия с пламенем пожара (РФФИ)



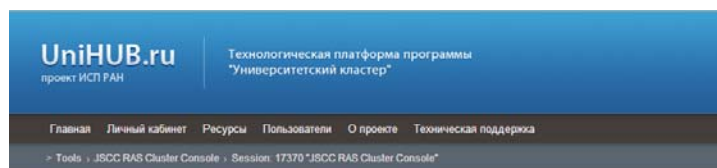




# Модели и программные коды

- Модели и ПО собственной разработки (Fire3D, Pyropolis)
- Коммерческое ПО (Ansys Fluent/CFX)
- Свободно распространяемое ПО (FDS, OpenFOAM)

Предоставляются  
пользователям  
Web-лаборатории  
UniCFD

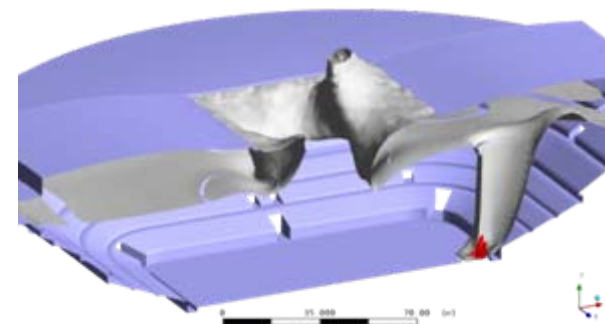
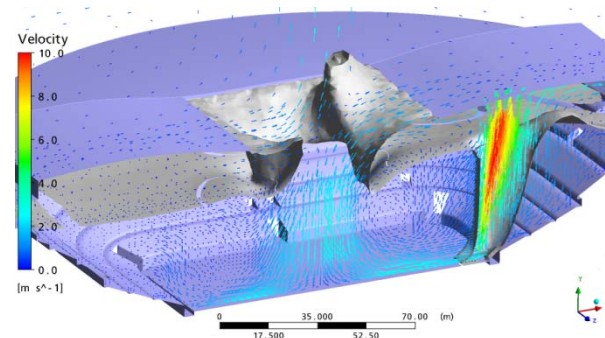


## JSCC RAS Cluster Console

```
Приложение Вопросы О приложении
a.tsoy@jx0:~/FDS5/15_8
a.tsoy@jx0.unicluster.ru:~$ cd FDS5/15_8
a.tsoy@jx0.unicluster.ru:~$ cp cmod +v fds5_11nuv_64
a.tsoy@jx0.unicluster.ru:~$ ./fds5_11nuv_64 geng_fire.fds

Fire Dynamics Simulator
Compilation Date : Fri, 29 Oct 2010
Version: 5.5.3; MPI Disabled; OpenMP Disabled
SVN Revision No. : 7051
Job TITLE      : Test Simulation of 15,0 kW propane burner
Job ID string  : geng_fire

Time Step: 1, Simulation Time: 0,02 s
Time Step: 2, Simulation Time: 0,05 s
Time Step: 3, Simulation Time: 0,07 s
Time Step: 4, Simulation Time: 0,08 s
Time Step: 5, Simulation Time: 0,12 s
Time Step: 6, Simulation Time: 0,14 s
Time Step: 7, Simulation Time: 0,16 s
Time Step: 8, Simulation Time: 0,19 s
Time Step: 9, Simulation Time: 0,21 s
Time Step: 10, Simulation Time: 0,24 s
```





# Компоненты модели FDS

## Турбулентность

- LES (модель Смагоринского)

## Горение

- Одно-, двух стадийная реакция
- Смесевая доля, «быстрая» химия
- Подсеточное смешение реагентов

## Тепловое излучение

- 6-9 полос в спектре (RadCal)
- Метод контрольных объёмов

## Газокапельная струя

- Дискретно-траекторный метод
- Атомизация жидкости (начальное распределение RR-LN)
- Средний диаметр зависит от давления и типа распылителя
- Нагрев и испарение капель
- Поглощение и рассеяние теплового излучения каплями

## Газификация горючего материала

- Заданный расход горючего
- Пиролиз твёрдого материала

## Погасание пламени

- Локальное погасание газового пламени (охлаждение, разбавление водяным паром)
- Подавление пиролиза твёрдого горючего



# Моделирование турбулентной газок капельной струи. Постановка задачи

- Yoon S.S., Hewson J.C., DesJardin P.E., Glaze D.J., Black A.R., Skaggs R.R. *Numerical modeling and experimental measurements of a high speed solid-cone water spray for use in fire suppression applications*// Int. J. of Multiphase Flow 30 (2004) 1369–1388

Расход воды, л/мин	15
Угол распыла	30
Скорость истечения, м/с	80
Диаметр сопла, мм	2
Средний объемный диаметр капель $d_{v50}$ , мкм	101.8
Параметр распределения $\gamma$	1.496

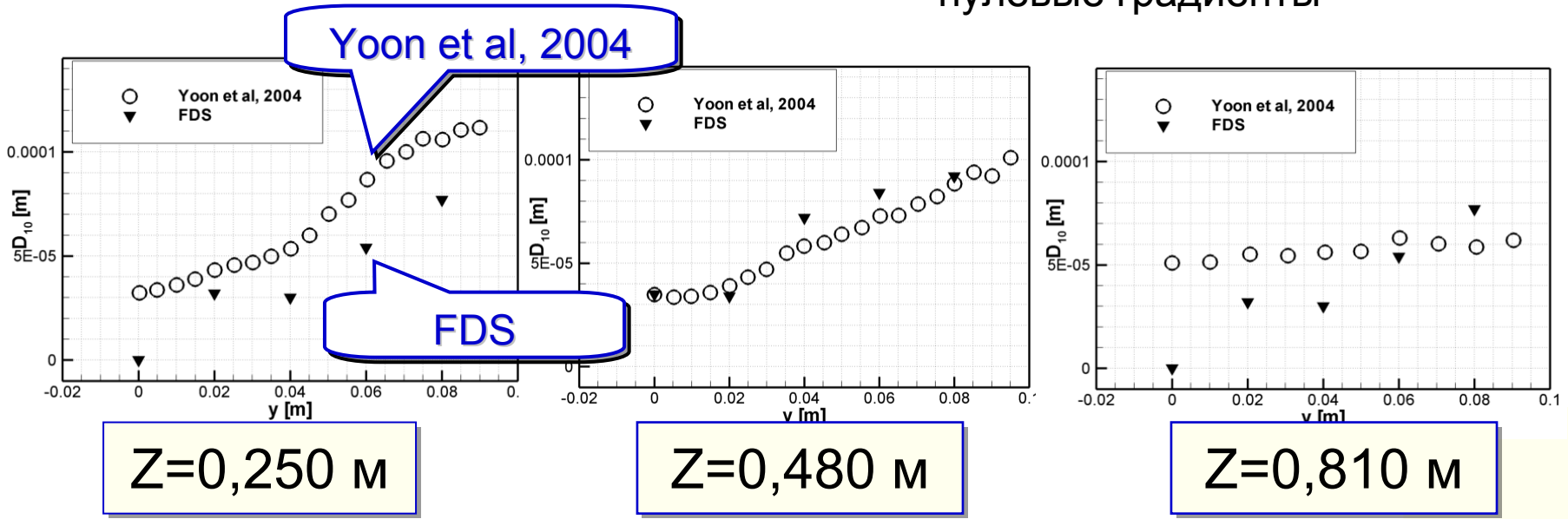
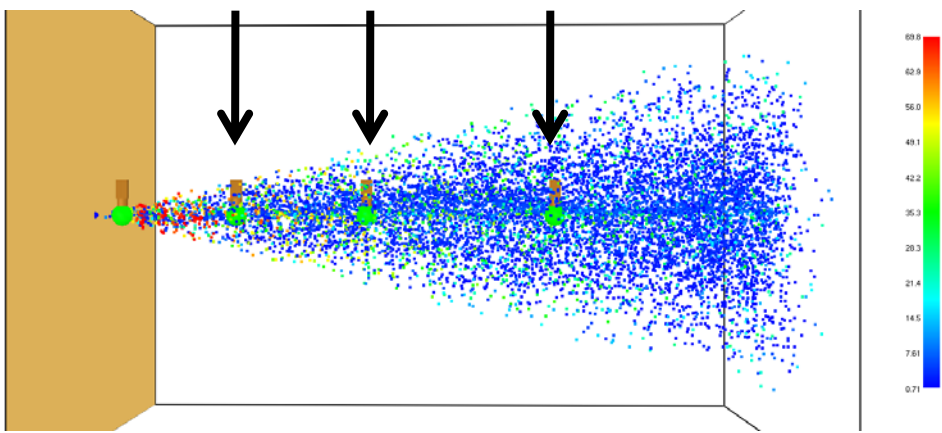






# Моделирование турбулентной газок капельной струи. Результаты

- Равномерная сетка 90x60x60
- Размер ячейки сетки 0.013x0.013x0.013 м
- Граничные условия – фиксированные значения слева, остальные грани – нулевые градиенты



Радиальная зависимость характерного размера капель  $d_{10}$ .



# Подавление пламени. Крупномасштабные эксперименты

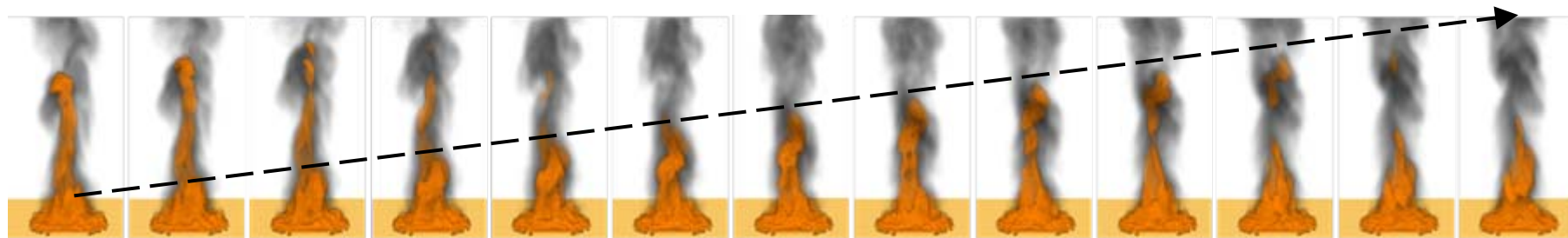
- Fire Laboratory for Accreditation of Models and Experiments (FLAME) – Sandia Labs, California, USA
- Очаг пожара 2.5 МВт, горючее JP8 ( $C_{11}H_{21}$ )
- Распылитель: 5 м над очагом, конус  $30^\circ$
- Струя направлена в центр очага
- Ориентация струи:  $90^\circ$ ,  $45^\circ$



- Перепад давления в распылителе:  
расход воды, скорость и диаметр  
капель



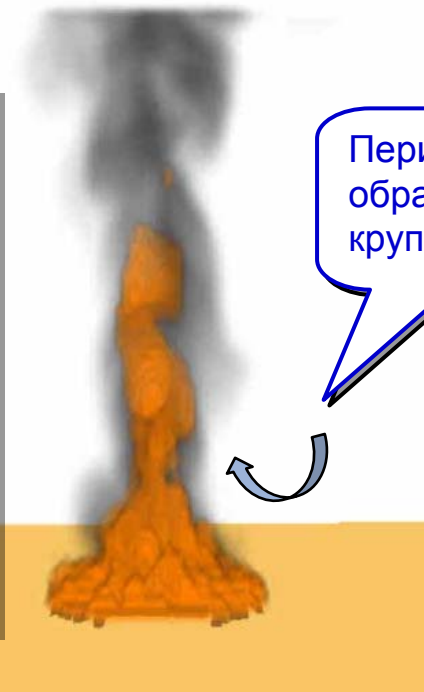
# Турбулентное пламя: пульсации



Шаг по времени 0.05 с

Эксперимент:  $f = 0.5\sqrt{g/D} = 1.1$  Гц

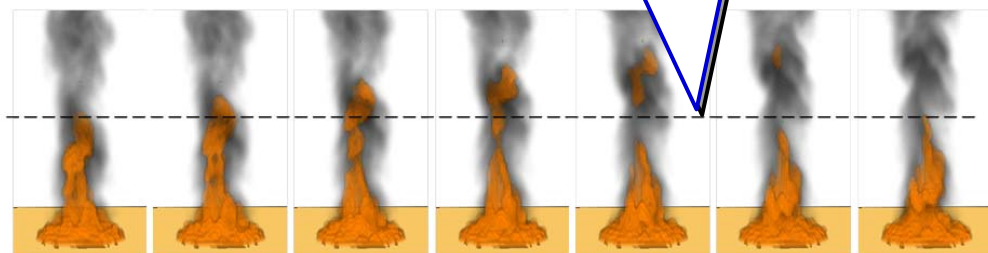
Расчёт (грубая сетка):  $\approx 1.6$  Гц



Периодическое образование крупных вихрей

$$L_f = 0.235\dot{Q}^{2/5} - 1.02D$$

Средняя высота пламени по Хескестаду



Изоповерхность 200 кВт/м<sup>3</sup>

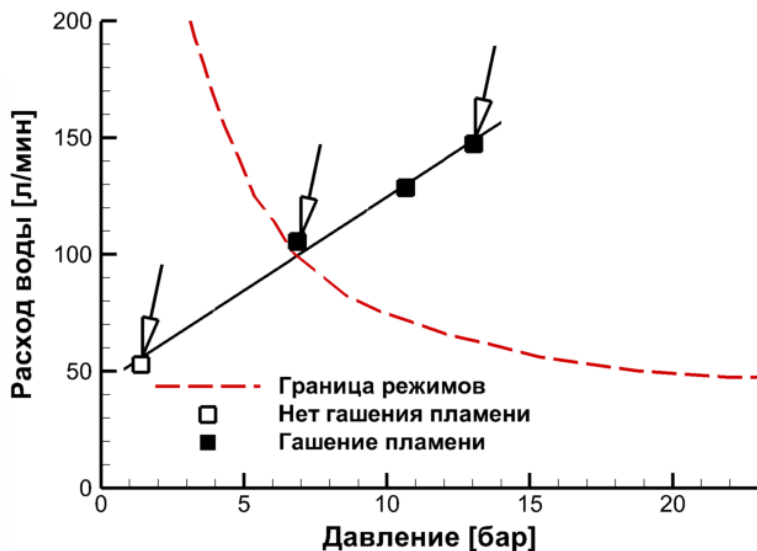


# Расчётные сценарии подавления пламени

Струя низкого давления

Давление, бар	Расход, л/мин	$V_0$ , м/с	$d_{v50}$ , мм	Струя жидкости		Отдельная капля	
				We, $10^3$	Re, $10^3$	We	Re
1.72	53.0	14.7	0.825	26.3	143.9	2480	783
6.90	106.0	29.4	0.520	105.2	287.8	6260	987
13.1	147.6	41.0	0.417	204.1	400.9	9730	1102

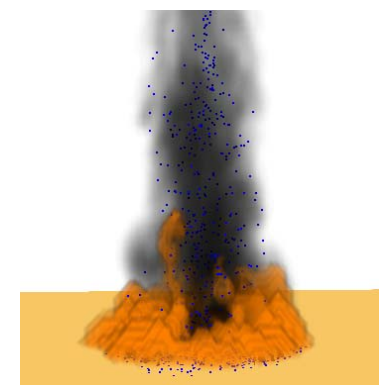
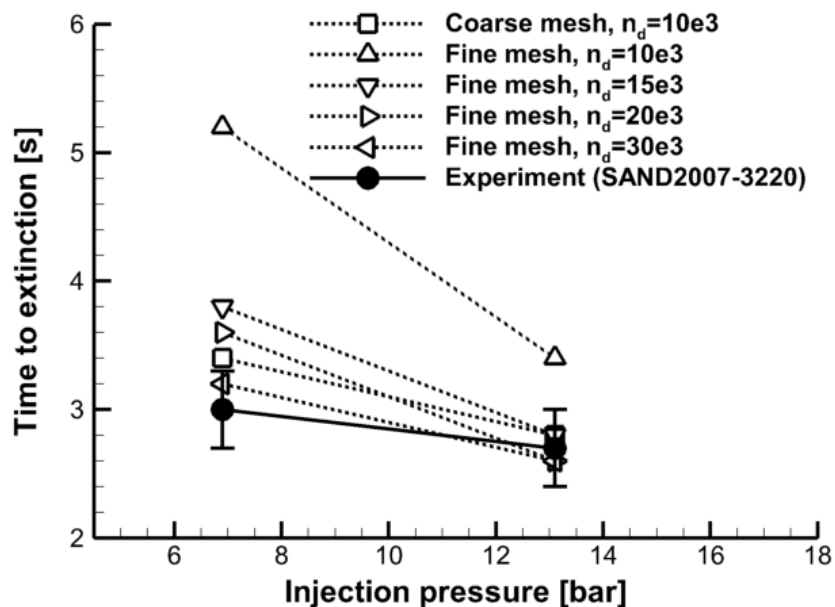
Струя высокого давления





# Расчётная длительность тушения

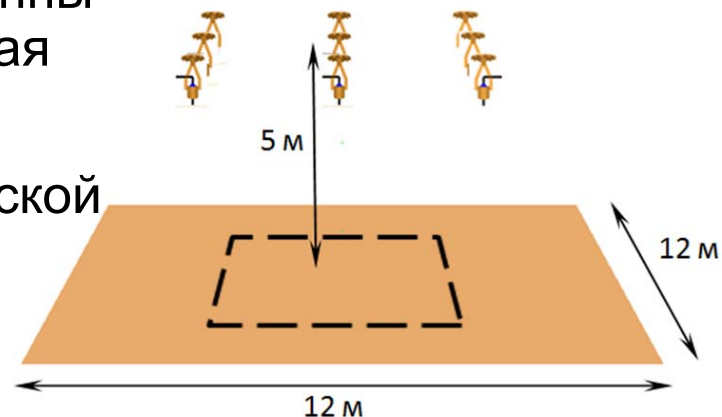
Давление, бар	Длительность тушения, с	
	Эксперимент	Расчёт
1.72 (25 psi)	Нет тушения	Нет тушения
6.90 (100 psi)	$3 \pm 0.3$	$\approx 3.2$
13.1 (190 psi)	$2.7 \pm 0.3$	$\approx 2.6$





# Групповая активация спринклеров (Гефест)

- Идея: динамическое определение группы спринклеров вокруг очага, управляемая активация группы
- Альтернатива традиционной термической активации каждого спринклера
- Преимущества нового метода - ?
- Расчётный сценарий:



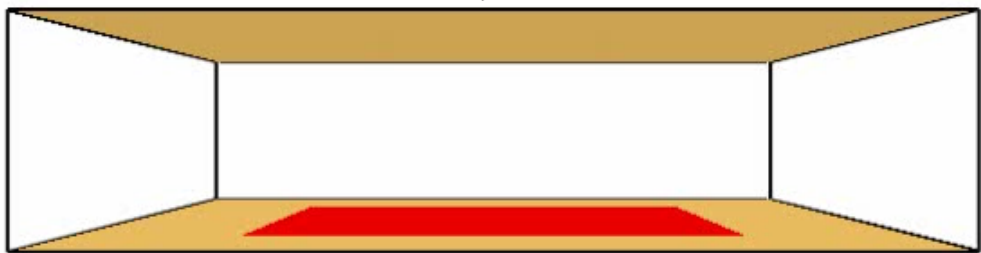
Параметры очага		
Тепловая мощность с единицы поверхности очага	$\dot{Q}''$	600 кВт/м <sup>2</sup>
Площадь очага	$A$	36 м <sup>2</sup>
Линейная скорость распространения пламени	$V_f$	0.01 м/с
Параметры оросителей		
Расход воды через один спринклер	$Q_l$	28.9 л/мин
Тепловой индекс спринклера	$RTI$	148 (м·с) <sup>1/2</sup>
Температура активации	$T_{act}$	70 °С
Начальная скорость вылета капель	$V_0$	15 м/с



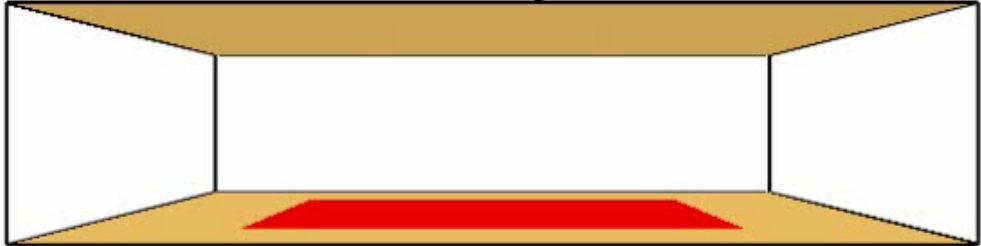


# Результаты расчётов

Тепловая активация

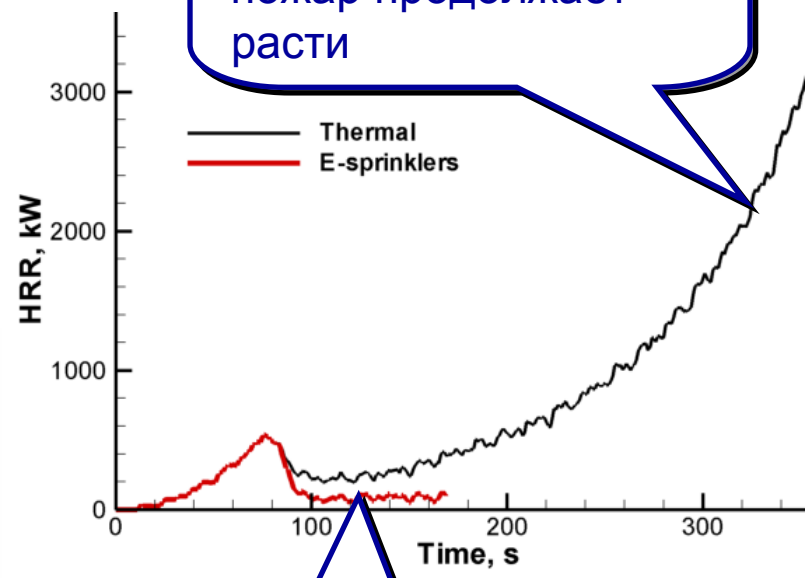


Новая технология



■ >200 (kW/m<sup>3</sup>)

Активирован только один спринклер, пожар продолжает расти



Активированы 9 спринклеров, пожар локализован и потушен

Frame: 2  
Time: 2.0



# Результаты и выводы

- Разработана методика численного моделирования взаимодействия турбулентной газокапельной струи с пламенем и продуктами сгорания при пожаротушении с помощью компьютерного кода FDS и «облачных» высокопроизводительных ресурсов программы «Университетский кластер».
- Выполнена апробация компьютерного кода и математической модели FDS. Получено **согласование с результатами экспериментов** для
  - Газокапельной струи
  - Естественно-конвективного пламени
  - Подавления пламени распылённой воды
- В качестве **примера практического использования** модели и кода FDS решена задача об интеллектуальной активации системы пожаротушения с большим количеством спринклеров. Показаны преимущества использования систем пожаротушения с управляемой активацией.
- FDS представляется эффективным и **доступным** инструментом для решения практических задач моделирования пожара и пожаротушения.

