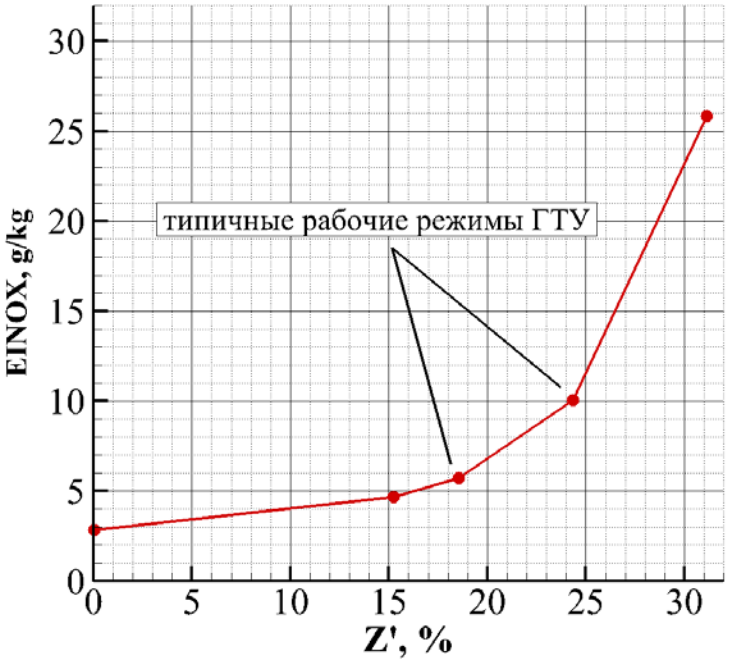
Проект: «Совершенствование и валидация методов моделирования рабочего процесса в камерах сгорания перспективных газотурбинных двигателей»

Руководитель проекта: Пудовиков Д.Е.
ВРИО технического координатора: Токталиев П.Д.,
toktalievp@ciam.ru

Совместный проект ЦИАМ им. П.И. Баранова и французской аэрокосмической лаборатории ONERA (департамент DEFA, г. Палезо, Франция)

Цель работы: Разработка и верификация методов математического моделирования рабочего процесса в авиационных камерах сгорания перспективных схем в сотрудничестве с иностранным партнером с целью снижения основных показателей выбросов вредных веществ.



Цели ICAO, взлетно-посадочный цикл, тяга ~ 160 кН

2008 г (CAEP8)	-10% CAEP6 (EINOX = 54 г/кг)
2016 г (среднесрочные цели)	-45% CAEP6 (EINOX = 30 г/кг)
2026 г (долгосрочные цели)	-60% CAEP6 (EINOX = 22 г/кг)

В ГТУ достигнуто значение 10 г/кг

Зависимость индекса эмиссии NOx от меры интенсивности турбулентных пульсаций Z’, расчетные значения

Математические модели процесса горения в КС авиационного двигателя, являясь по своему содержанию многодисциплинарными, используют в своей постановке в недостаточной мере обоснованные теоретически и экспериментально элементы. Среди этих элементов:
- модели нестационарной аэродинамики и турбулентности (RANS/DES/LES/DNS),
- модели реакционных механизмов окисления углеводородного топлива,
- модели взаимодействия турбулентности и горения,

В связи с этим возникают следующие задачи:

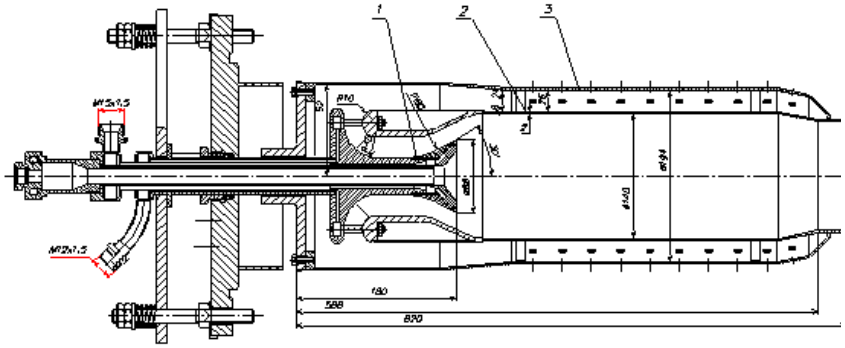
- Создание, оптимизация, верификация и валидация методов численного моделирования процессов в перспективных малоэмиссионных камерах сгорания авиационного двигателя и наземных энергоустановок с привлечением модельних и близких к натурным детальных экспериментов,

- Доработка и выбор для использования кинетических моделей воспламенения и горения метана и суррогатов керосина, включая реакционные механизмы образования загрязняющих веществ в газотурбинных двигателях на основе сравнительного анализа их предсказательной способности,

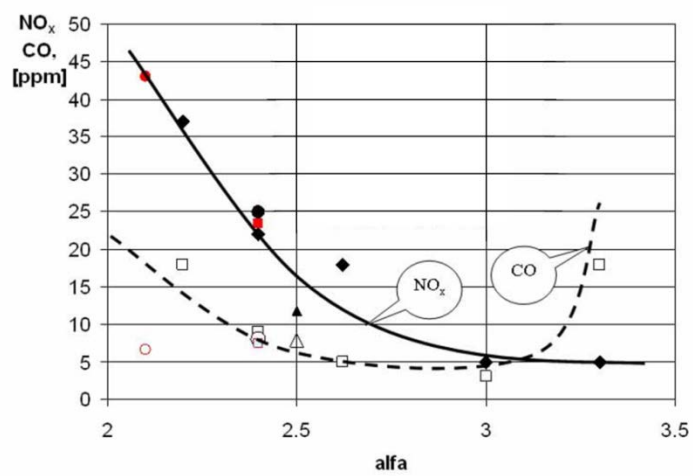
- Подготовка и проведение экспериментальных исследований, позволяющих получить не только интегральные, но и детальные локальные характеристики рабочего процесса – такие как положения фронта пламени, поля концетрации компонентов, температуры и т.д.

Турбулентное горение

Имеющиеся технологии ГТУ



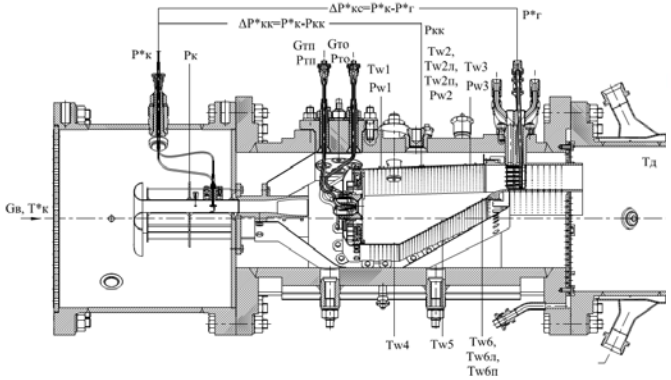
Камера Ведешкина Г.К., Свердлова Е.Д. (ГТУ-25). Цифрами обозначены: 1 – свеча, 2 – жаровая труба, 3 - кожух

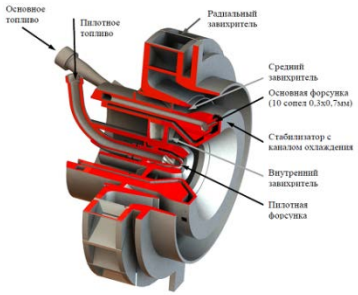


Эмиссионные характеристики МКС на режиме N=100%
(Тв = 828К, Рк ≤ 29 бар, PFR= 0 5%)

Освоение технологии в КС АД:

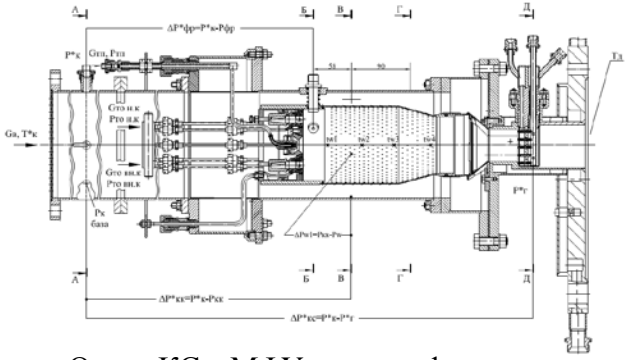
1. МКС с двухзонным фронтовым модулем
NOx -45% от норм ИКАО 2008

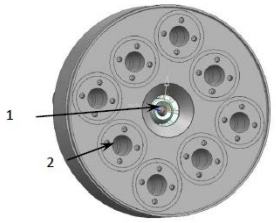




60-градусный отсек КС с двухзонным фронтовым модулем - справа, фронтовой модуль - слева

2. МКС с многоточечным фронтовым устройством
NOx -60% от норм ИКАО 2008

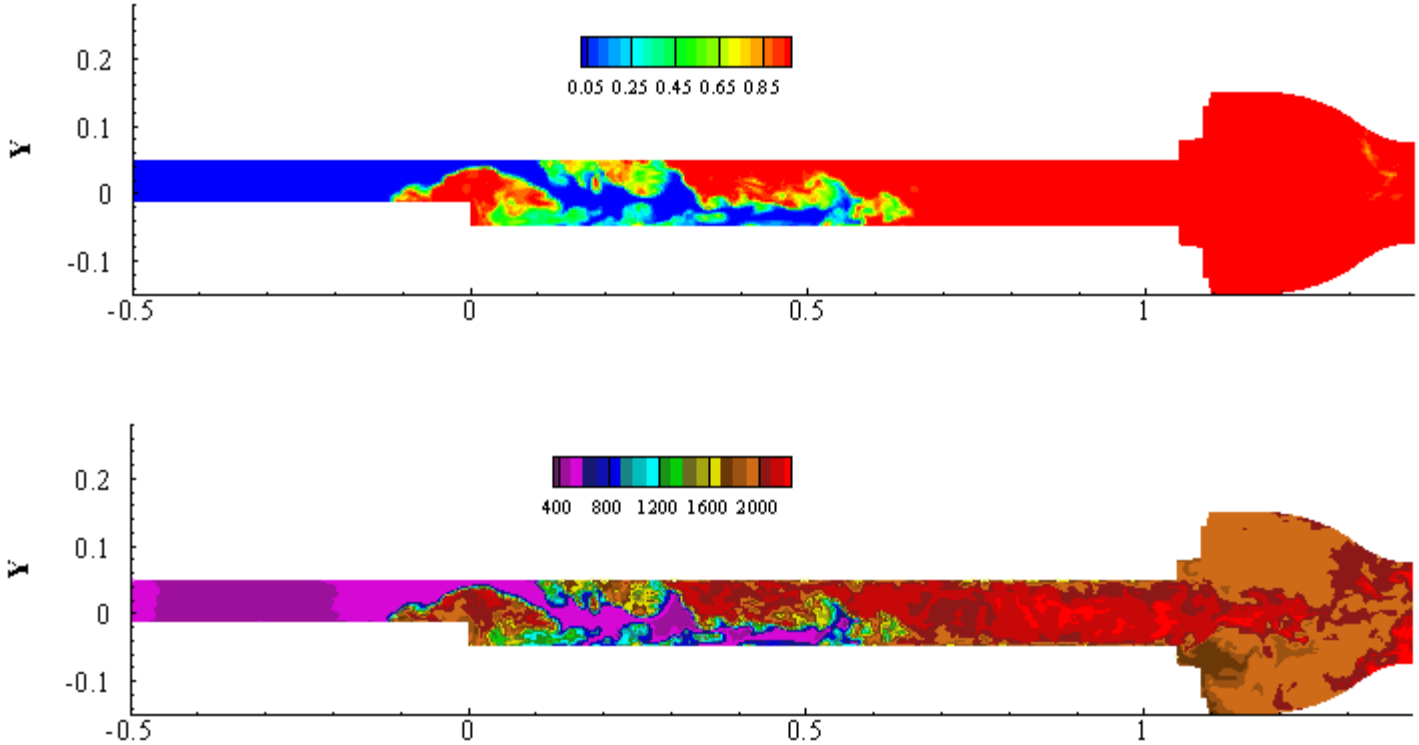




Отсек КС с МФУ – слева, фронтовая плита - справа

Турбулентное горение

Методология вихреразрешающих методов (DES/LES/DNS) со скелетной кинетикой позволяет начать анализ нестационарных явлений, сопутствующих рабочему процессу в КС, таких как локальное изменение структуры фронта пламени и проскок пламени под действием малых возмущений



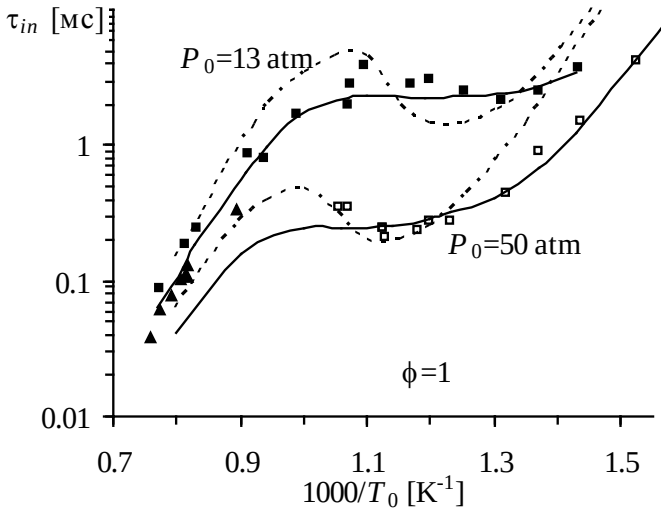
Поля температур и восстановленной концентрации в схеме с уступом (Тв = 529К, Рк ≤ 2 бар, метан)

Химическая кинетика

	компонент	[13]	[10]	[11]	[14]	[12]	[15]
алканы	i-октан				10	5	29.5
	декан	89		74		15	
	ундекан		79				
	додекан				30	20	40.4
	тетрадекан				20	15	
	гексадекан					10	
ароматические углеводороды	бензол	11					
	толуол	(11)					
	диметилбензол				15	5	
	триметилбензол		11				7.3
	тетраметилбензол					5	
	этилбензол	(11)					
	пропилбензол			15			22.8
	бутилбензол					5	
	тетралин				5	5	
	метилнафталин					5	
цикло-алканы	Циклооктан					5	
	метилциклогексан				20	5	
	пропилциклогексан		10	11			

Состав различных суррогатов, используемых для моделирования окисления топлива Jet-A

Разработка детальных и редуцированных реакционных механизмов окисления топлива



Время задержки воспламенения смеси суррогата керосина/воздух при f=1. и – экспериментальные данные [17] для P_0=13 и 50 атм, соответственно; и – экспериментальные данные [18] для P_0=13 и 80 атм; пунктирные и сплошные линии соответствуют расчетам по модели [19] и модели работы [14]

Методология высокопроизводительных вычислений

Разработка прикладного программного обеспечения

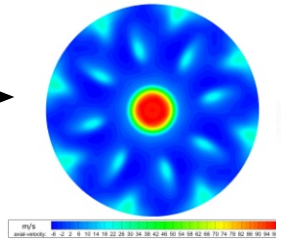
Модели и эффективные алгоритмы их применения на новых производительных архитектурах для различных областей знания

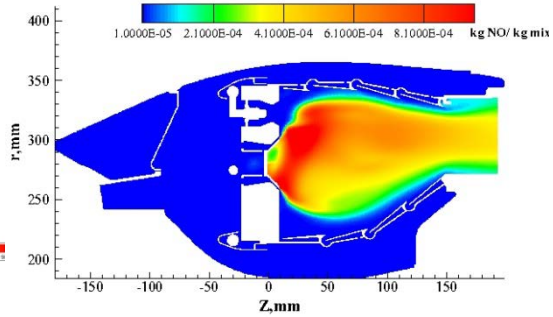
Сертифицированные и валидированные программные коды для математического моделирования на гетерогенных системах

Создание и поддержка суперкомпьютерной инфраструктуры:
-организация облачного сервиса,
- организация работы с большими данными,
- средства визуализации и анализа производительности

Аппаратные решения для организации вычислений различной производительности, персональные станции ~100 Гф, серверные решения низкого и среднего уровней ~ 1 Тф, кластерные системы ~100 Тф .

Анализ и обобщение результатов вычислений. Работа с большими данными.

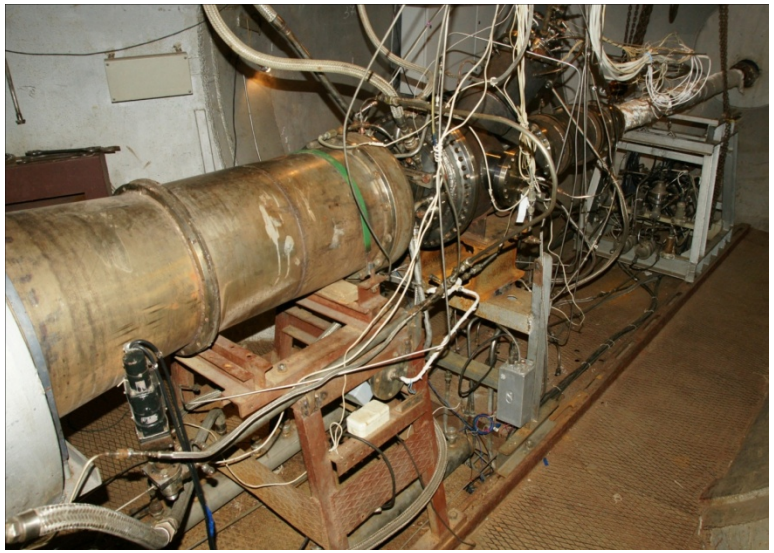




Область исследований : процессы горения

Совместный проект ЦИАМ – ONERA

Экспериментальные исследования (ЦИАМ, Ц16, г. Лыткарино – LAERTE, г. Палезо)



Компоновка НКС на πк = 30 и Ga=5 kg/s в отсеке ЦИАМ

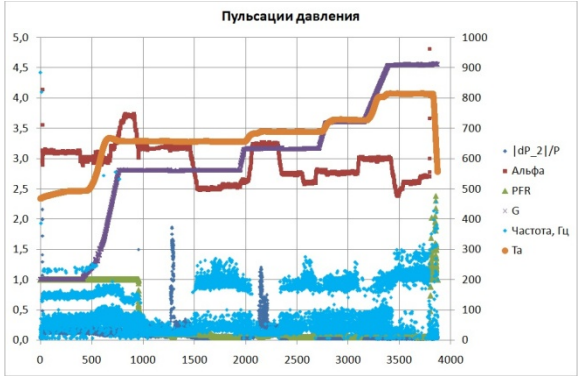


Диаграмма работы камеры от запуска до выключения

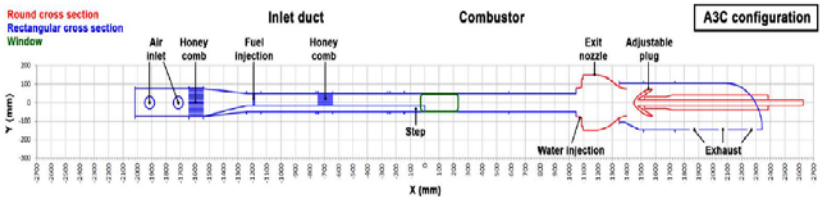


Figure 1 : Schematic of the experimental set-up – A3C configuration.

Схема конфигураций АС3-С на LAERTE

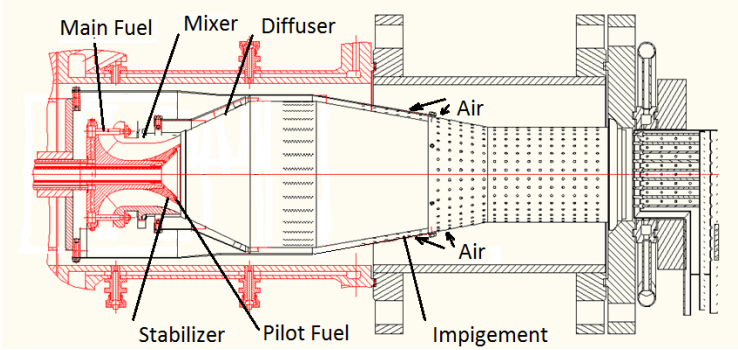
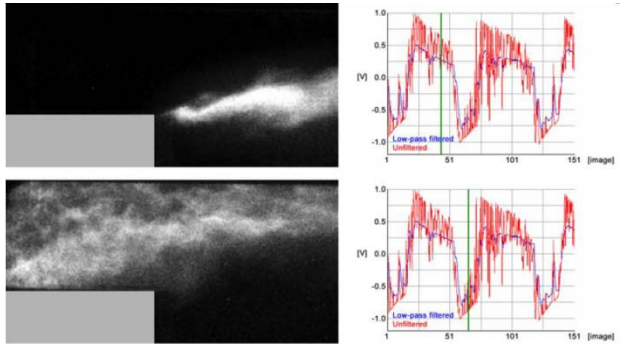


Схема НКС



OH PLIF визуализация мгновенного фронта пламени

Совместный проект ЦИАМ – ONERA

Спасибо за внимание!