«РАЗРАБОТКА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТУ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ С УРОВНЕМ ЭМИССИИ NO_x И CO<10 ppm»

СВЕРДЛОВ Е.Д., ВЕДЕШКИН Г.К., ДУБОВИЦКИЙ А.Н., УСЕНКО Д.А., МАРКОВ Ф.Г.

ФГУП ЦИАМ им. П.И.Баранова

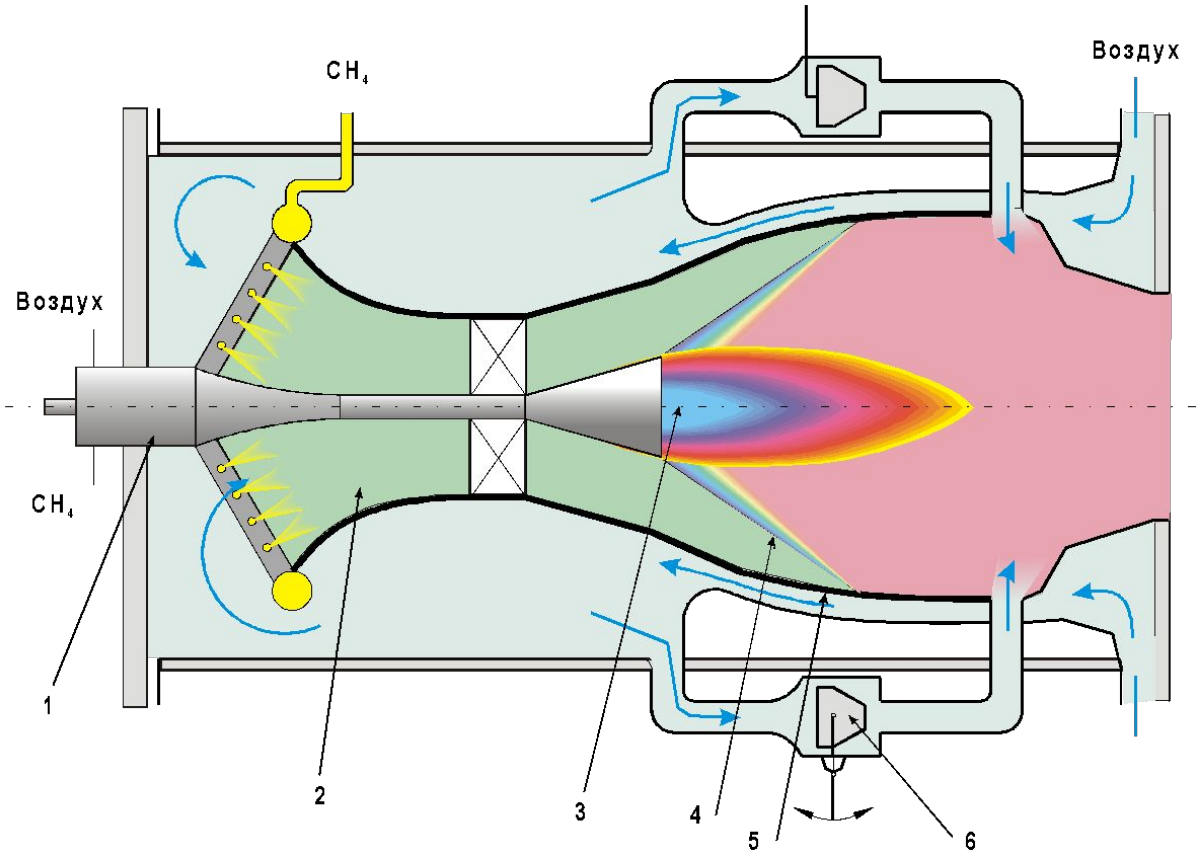
Первый научно-технический семинар по проблемам низкоэмиссионных камер сгорания газотурбинных установок

14-16 декабря 2004 года
Москва

Задачи создания современной низкоэмиссионной камеры с горением «бедной» заранее перемешанной топливовоздушной смеси

1. **Создание эффективного смесителя – гомогенизатора с уровнем пульсаций концентраций горючего Ст’≤ 5%.**
2. **Расширение границ «бедного» срыва горения до $\alpha_{фр} \geq 2.5 – 3$ без подпитки пилотным топливом зоны рециркуляции.**
3. **Интенсификация турбулентного горения для сжигания «бедной» топливовоздушной смеси на длине ≤ 0.5 – 0.7 м.**
4. **Снижение уровня термоакустической неустойчивости горения и величины пульсаций давления ≤ 0.5 – 1%.**
5. **Организация эффективного конвективного охлаждения стенок жаровой трубы (без подачи охлаждающего воздуха в зону горения).**
6. **Решение проблем «проскока» пламени в смеситель в условиях повышенных давлений и температур газа.**
7. **Расширение диапазона регулирования тепловой мощности камеры сгорания.**

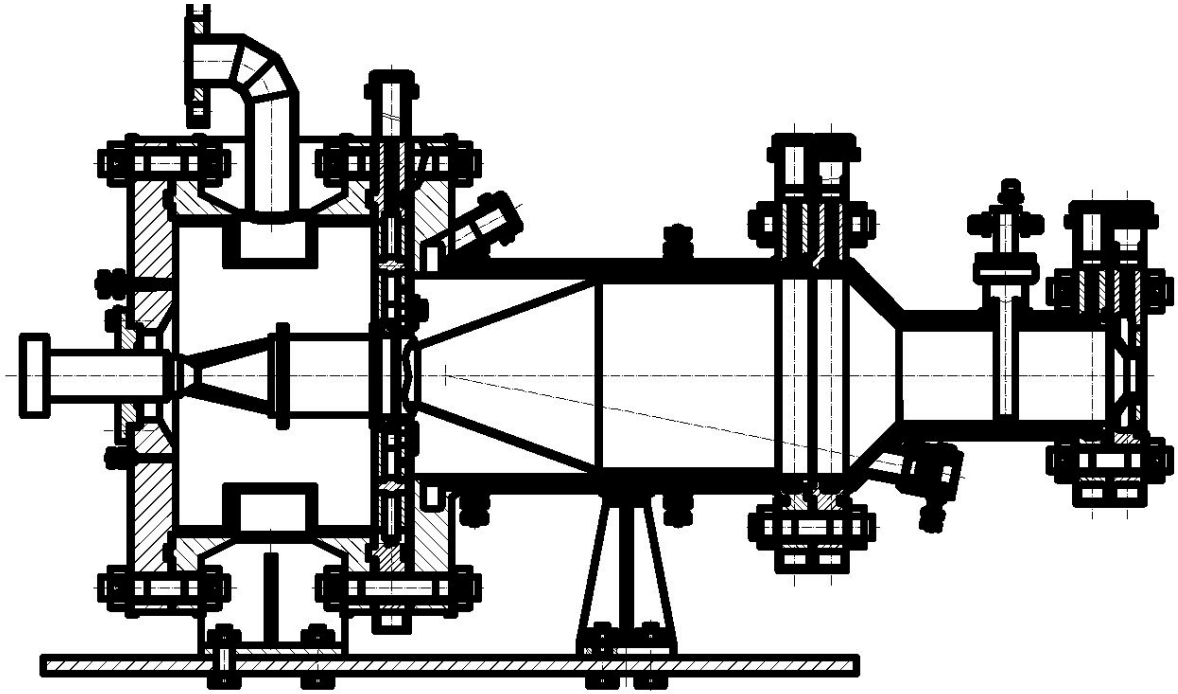
Схема одногорелочной низкоэмиссионной камеры сгорания



1-воспламенитель – газогенератор, 2 – топливовоздушный смеситель, 3 – зона рециркуляции,

4 – фронт горения обедненной топливовоздушной смеси, 5 – корпус жаровой трубы, 6 – регулятор расхода воздуха

Экспериментальная одногорелочная низкоэмиссионная камера сгорания ЭКС1Г.

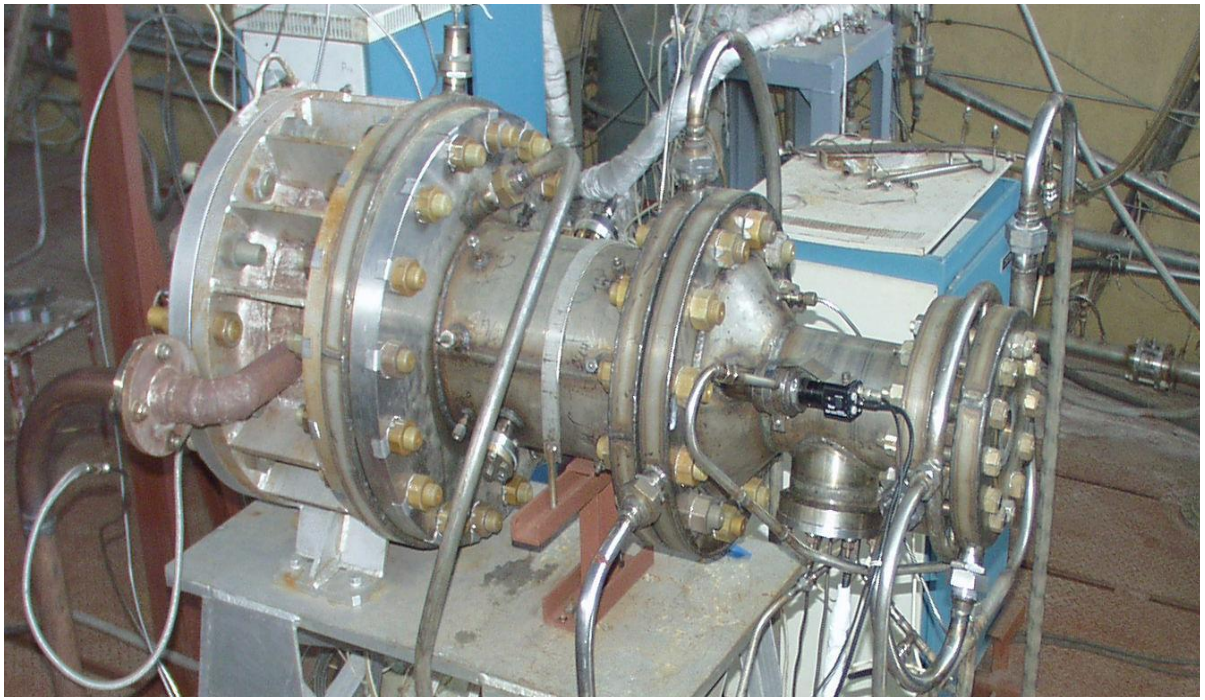


Параметры: $G_{в\ фр} \leq 3.2$ кг/с, $T_в \leq 800$ К, $P_к \leq 20$ бар

$G_{в\ охл} \leq 2$ кг/с, $G_{в\ сопл} \leq 2$ кг/с. $D_к$=240 мм, $L_к$ = 450 мм

Измерение: эмиссионных, тепловых характеристик, пульсаций давления, проскока пламени, визуальное наблюдение в камере.

Фотография демонстратора НКС ЭКС1Г на газообразном горючем



Параметры:

$G_{в\ фр} \leq 3.2$ кг/с,

$T_в \leq 800$ К,

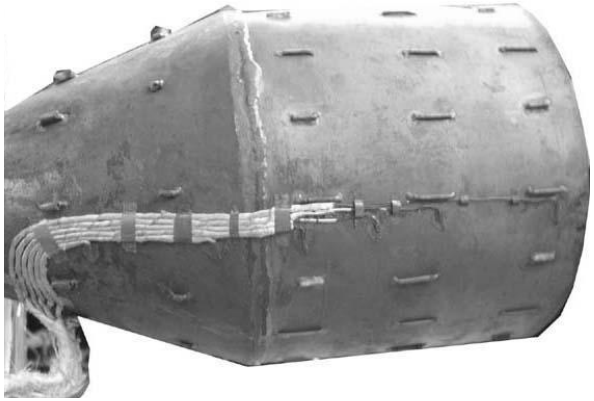
$P_к \leq 20$ бар

$G_{в\ охл} \leq 2$ кг/с,

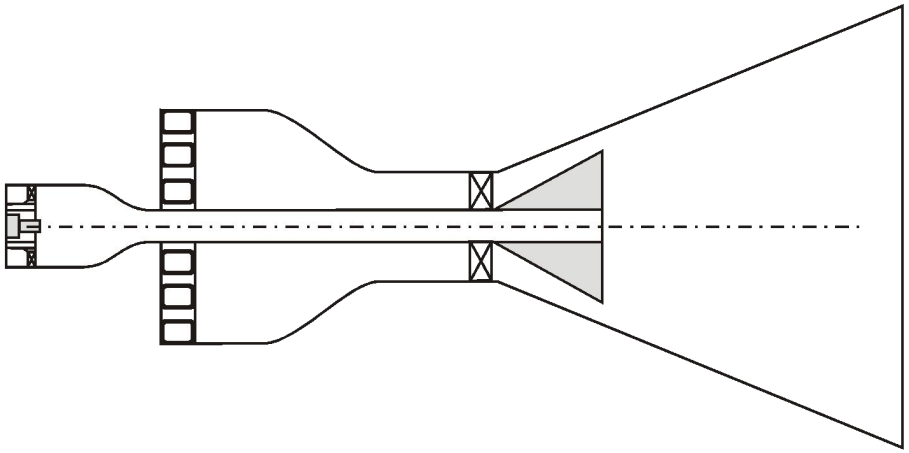
$G_{в\ сопл} \leq 2$ кг/с

$L_к = 0.45$ м

$D_к = 0.24$ м



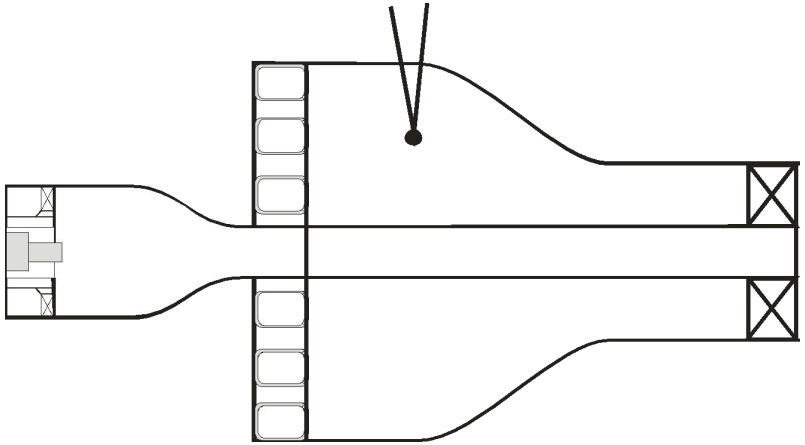
Низкоэмиссионная горелка НГФС ®
на природном газе

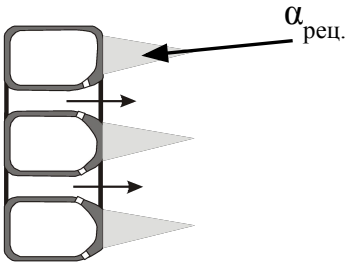


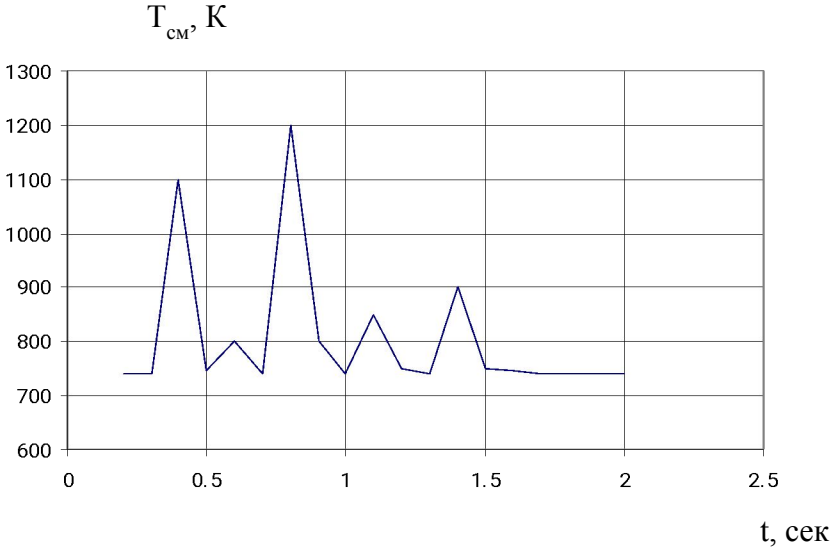
Особенности:

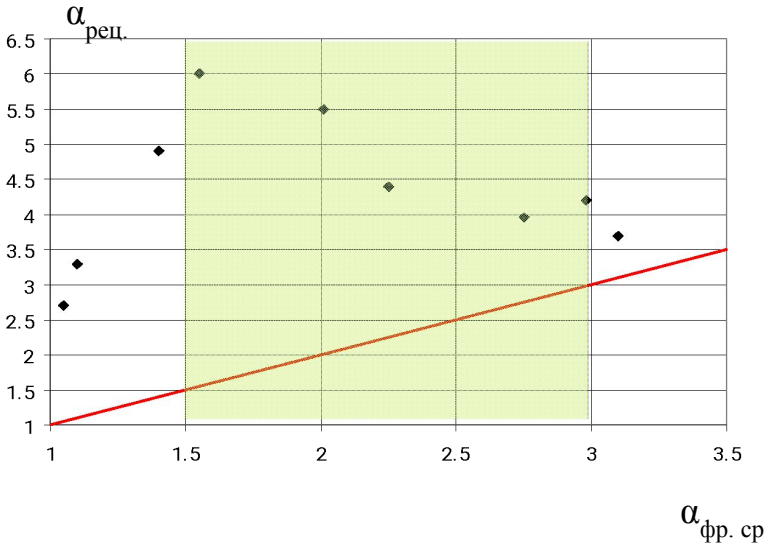
- Организация смешения без закрутки потока воздуха
- Рециркуляционная стабилизация горения
- Интенсификация турбулентных характеристик потока к началу процесса горения с использованием закрутки потока
- Развитие фронта пламени от оси к стенкам жаровой трубы в коническом канале

Проскок пламени в смеситель горелки



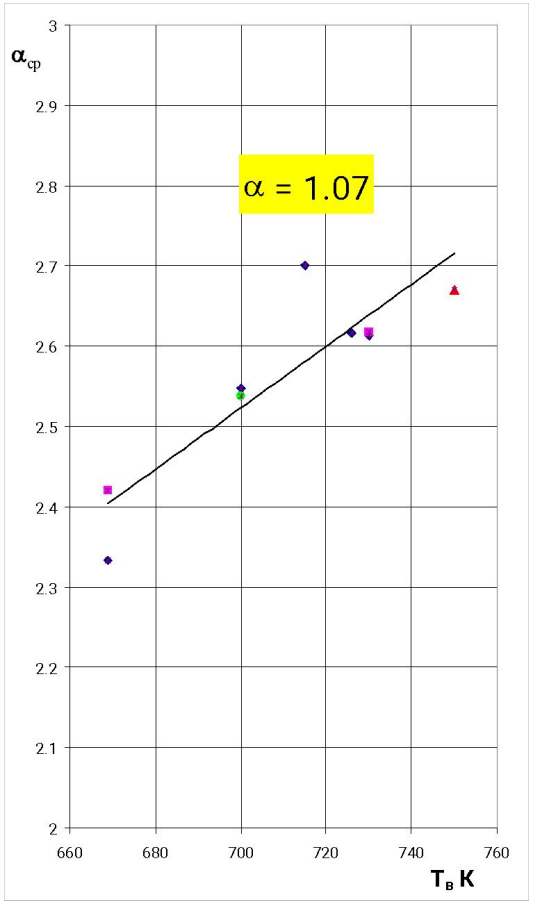


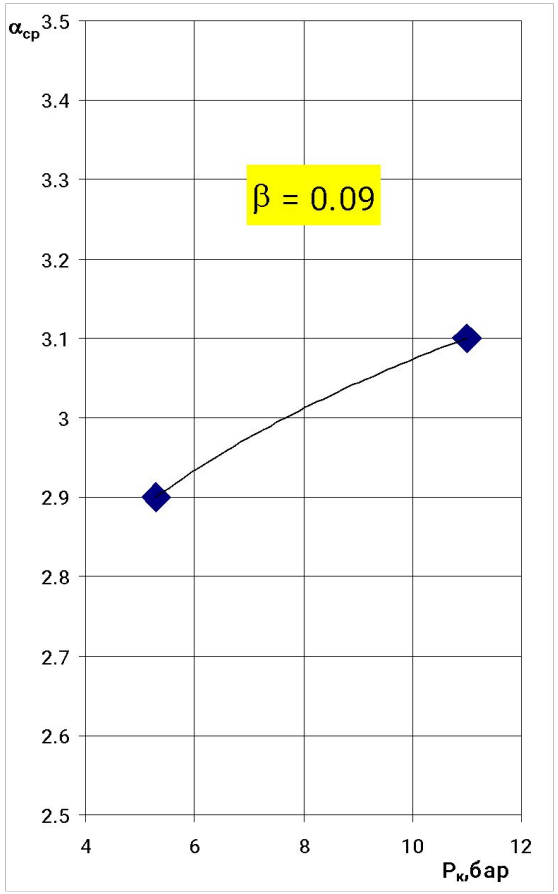


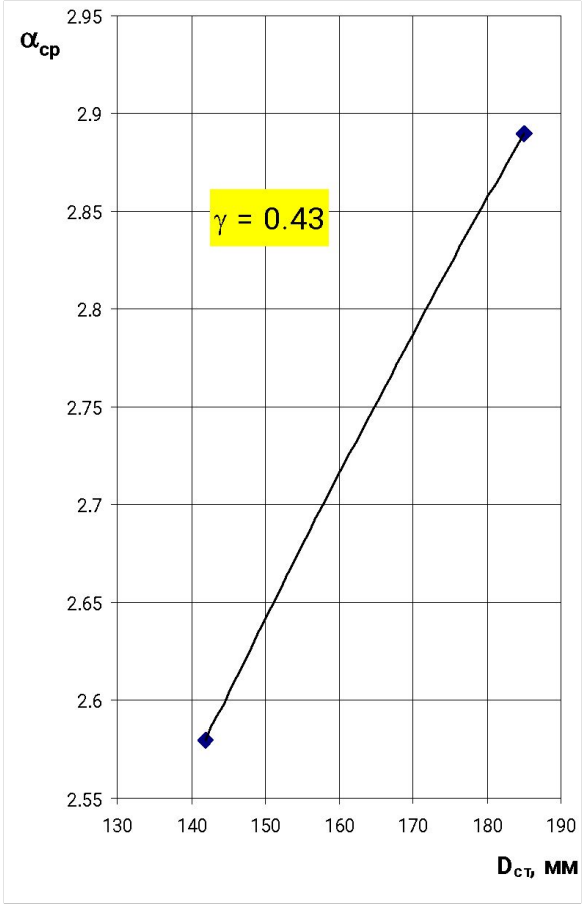


Влияние давления и температуры газа и диаметра стабилизатора на границы «бедного» срыва горения

$$\alpha_{cp} = f(T_в^{\alpha}\ P_k^{\beta}\ D_{cm}^{\gamma})$$





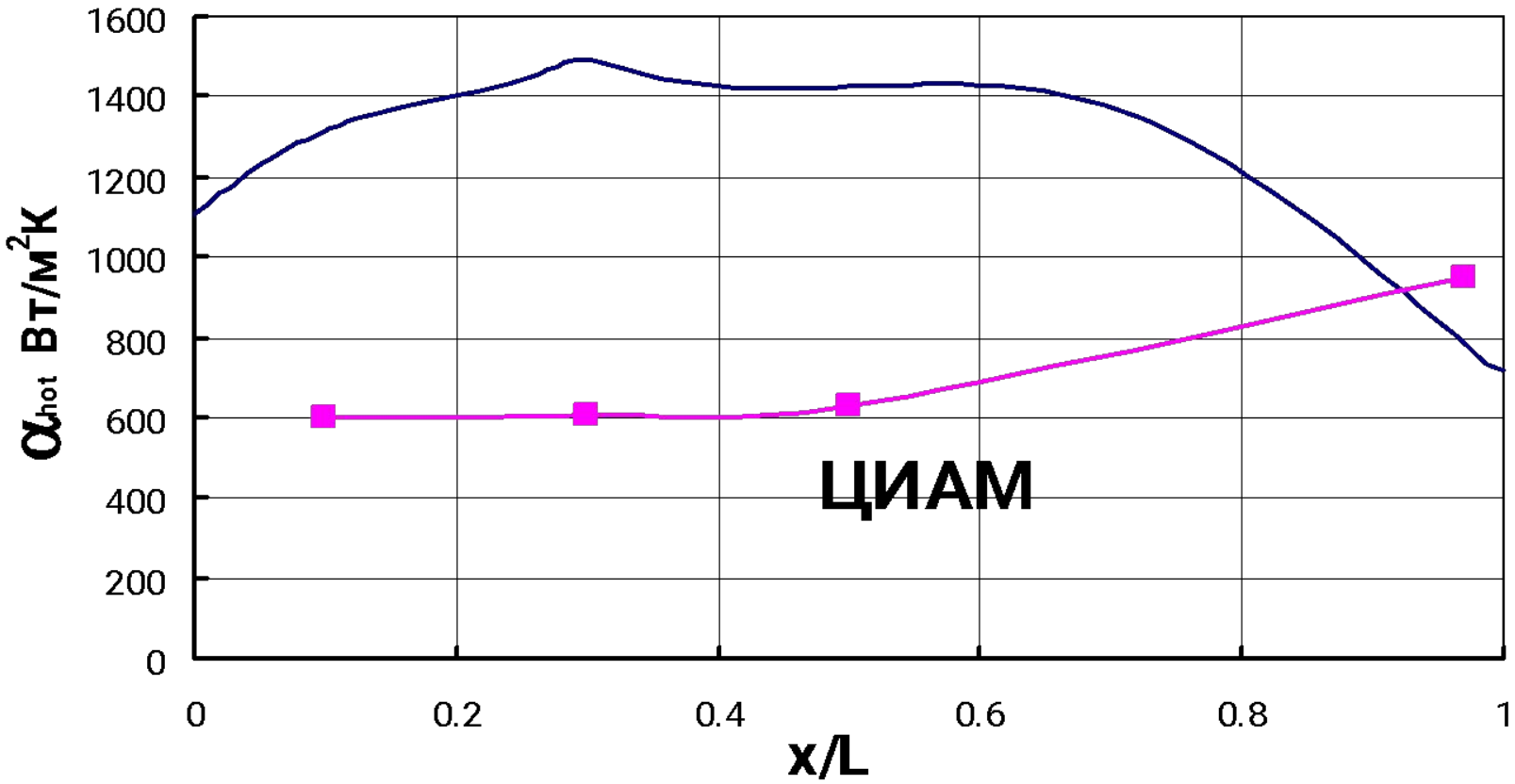


$P_к$= 5 бар, $D_{ст}$=142 мм,

$T_в$= 712 К, $D_{ст}$=185 мм

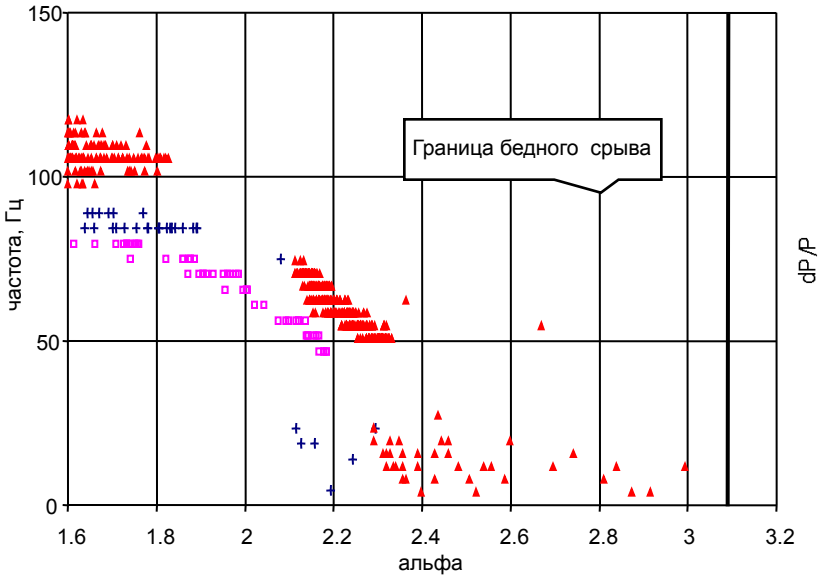
$T_в$= 712 К, $P_к$= 5 бар

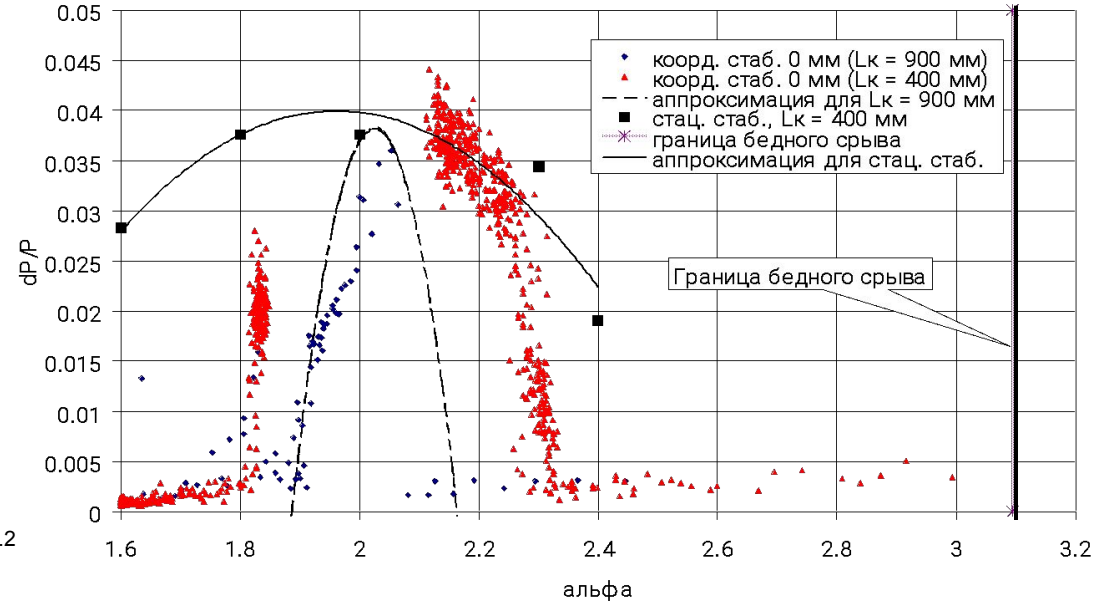
Распределение коэффициента теплоотдачи вдоль стенок камер сгорания



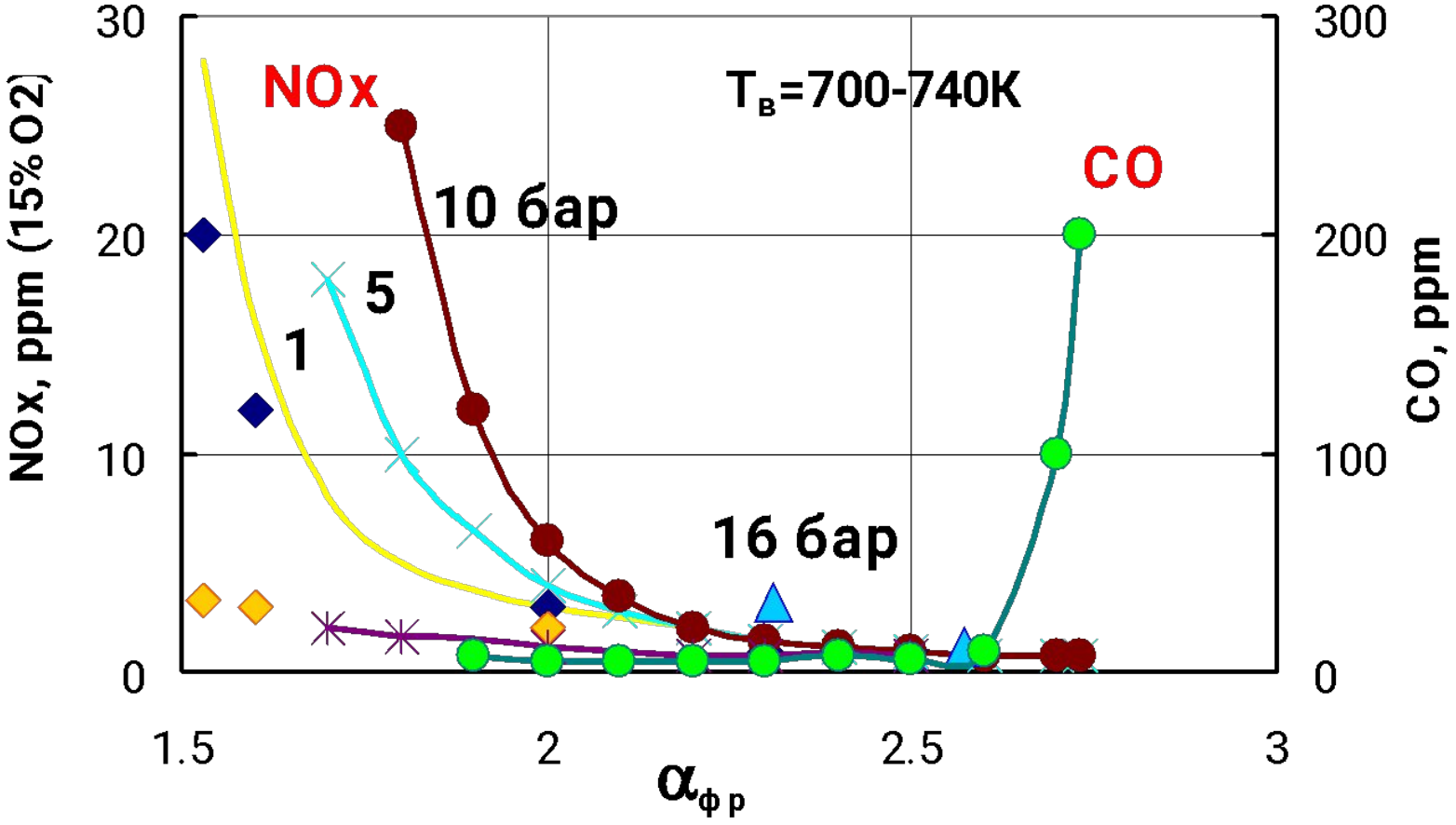
Амплитудно-частотные характеристики пульсаций давления в НКС ЭКС1Г

Давление в камере 5 – 15 бар, расход основного воздуха 0.75 – 2.25 кг/с, температура воздуха на входе 740 К.

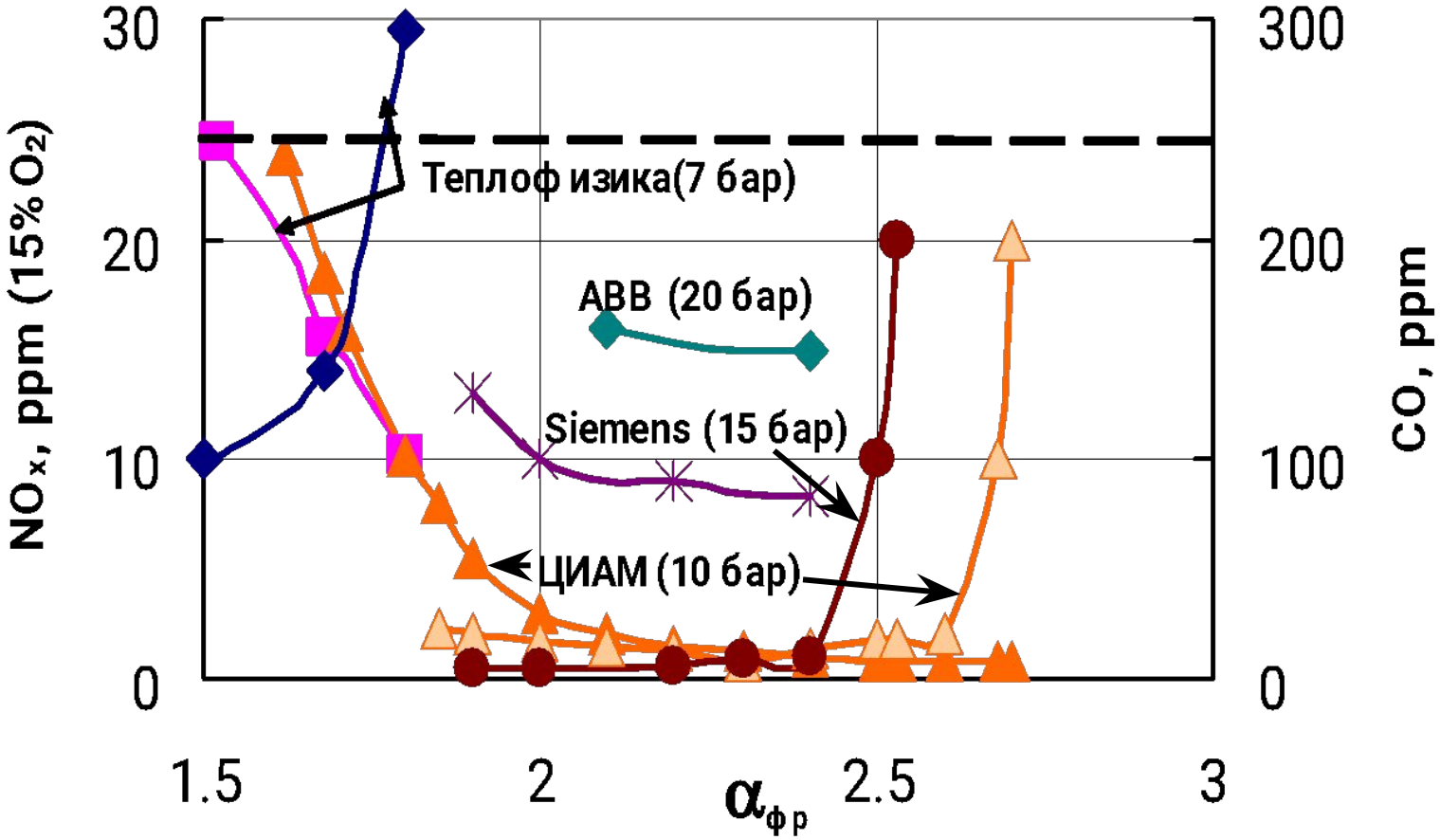




Эмиссионные характеристики НКС ЭКС1Г на газообразном горючем



Сравнение эмиссионных характеристик НКС различных фирм



Заключение

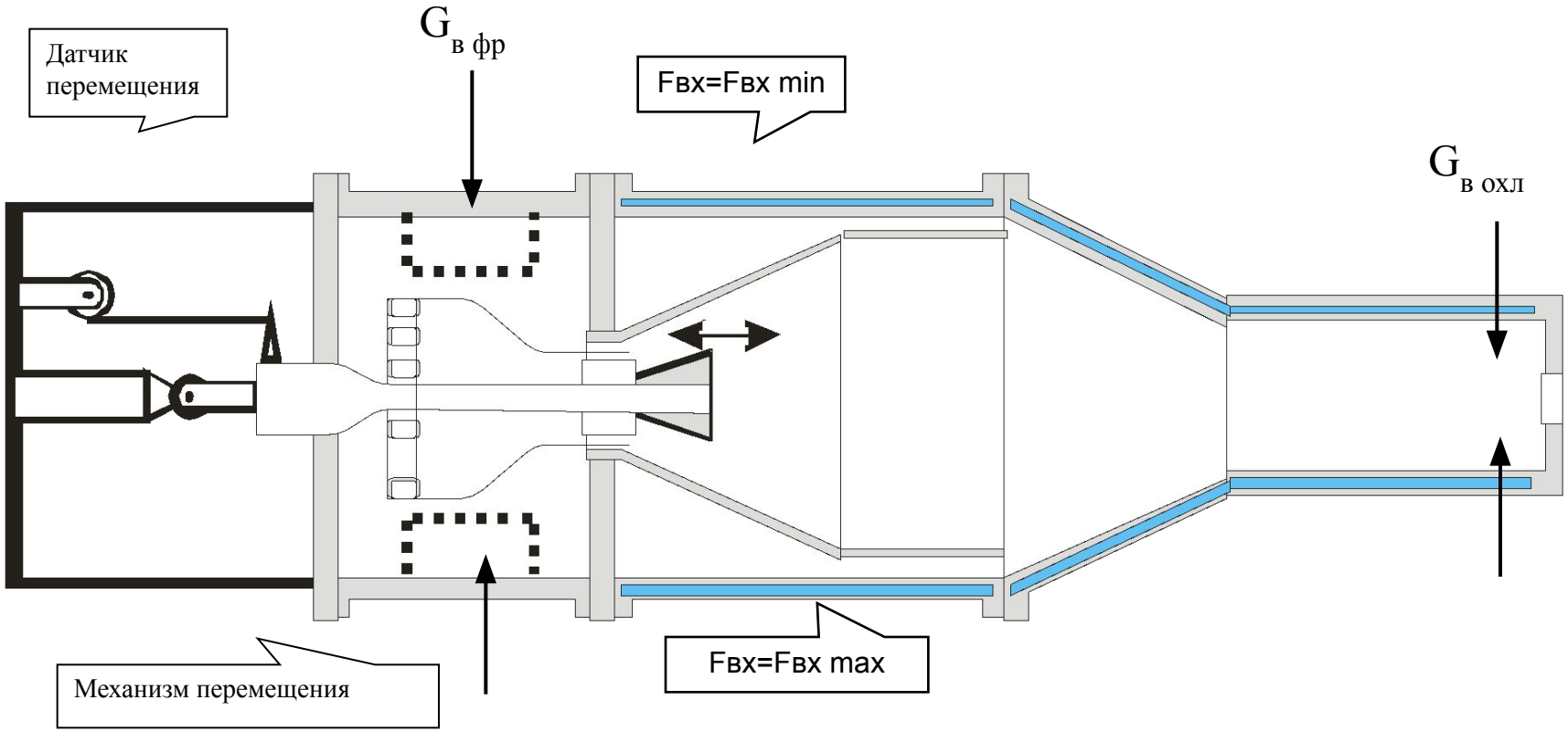
Разработана низкоэмиссионная камера сгорания для перспективных ГТУ на природном газе, базирующаяся на технологии сжигания «бедной» заранее перемешанной топливовоздушной смеси.

Благодаря комплексному решению проблем смесеобразования, проскока пламени, термоаккустической неустойчивости горения и конвективного охлаждения стенок жаровой трубы на разработанной камере сгорания достигнуты:

- **уровень эмиссии NO_x и CO < 5 ppm ;**
- **широкий диапазон устойчивого горения без дополнительной подпитки топливом зоны рециркуляции;**
- **низкий уровень пульсаций давления < 0,5%**
- **реализована чисто конвективная схема охлаждения жаровой трубы.**

Полученные характеристики по ряду параметров превышают лучший мировой уровень.

Схема регулирования газодинамических характеристик в НКС



Тезисы

- В работе представлены результаты разработки и совершенствования новых низкоэмиссионных технологий сжигания углеводородных горючих и создания низкоэмиссионных горелок и камер сгорания перспективных ГТУ и других энергетических систем.
- В работе представлен анализ проблем, возникающих при создании низкоэмиссионных камер сгорания (НКС) с горением «бедной» заранее перемешанной топливовоздушной смеси.
- Предложена оригинальная схема организации рабочего процесса в НКС, отличающаяся:
- эффективным струйным топливовоздушным смесителем, работающим без закрутки потока газа и устойчивым к проскокам пламени;
- развитой рециркуляционной стабилизацией горения, обеспечивающей устойчивый процесс горения «бедной» топливовоздушной смеси без подпитки дополнительным топливом зоны рециркуляции;
- чисто конвективной схемой воздушного охлаждения стенок жаровой трубы (без вдува воздуха в пристеночную зону горения);
- регулированием НКС за счет изменения как расхода топлива, так и расхода воздуха через фронтовое устройство камеры.
- В работе представлены результаты экспериментальных исследований предложенной НКС в реальном диапазоне условий работы (Рк = 1…20 бар, Тв = 300…740 К).
- Продемонстрирована возможность получения эмиссионных характеристик (NOx и CO < 10 ppm), приближающихся к минимально достижимым уровням для рассматриваемых условий работы.
- Представлены амплитудно-частотные характеристики НКС и методы управления низкочастотной неустойчивостью термохимических процессов.
- Предложены принципы организации рабочего процесса в смесителе, обеспечивающие высокую эффективность смешения и устойчивость к проскокам пламени из камеры сгорания.
- Комплексное решение проблем позволило создать опытную НКС, обеспечивающую низкую эмиссию вредных выбросов, широкий диапазон низкоэмиссионной работы, низкий уровень пульсаций давления и устойчивость к проскокам пламени.