

# **«РАЗРАБОТКА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТУ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ С УРОВНЕМ ЭМИССИИ NO<sub>x</sub> 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**

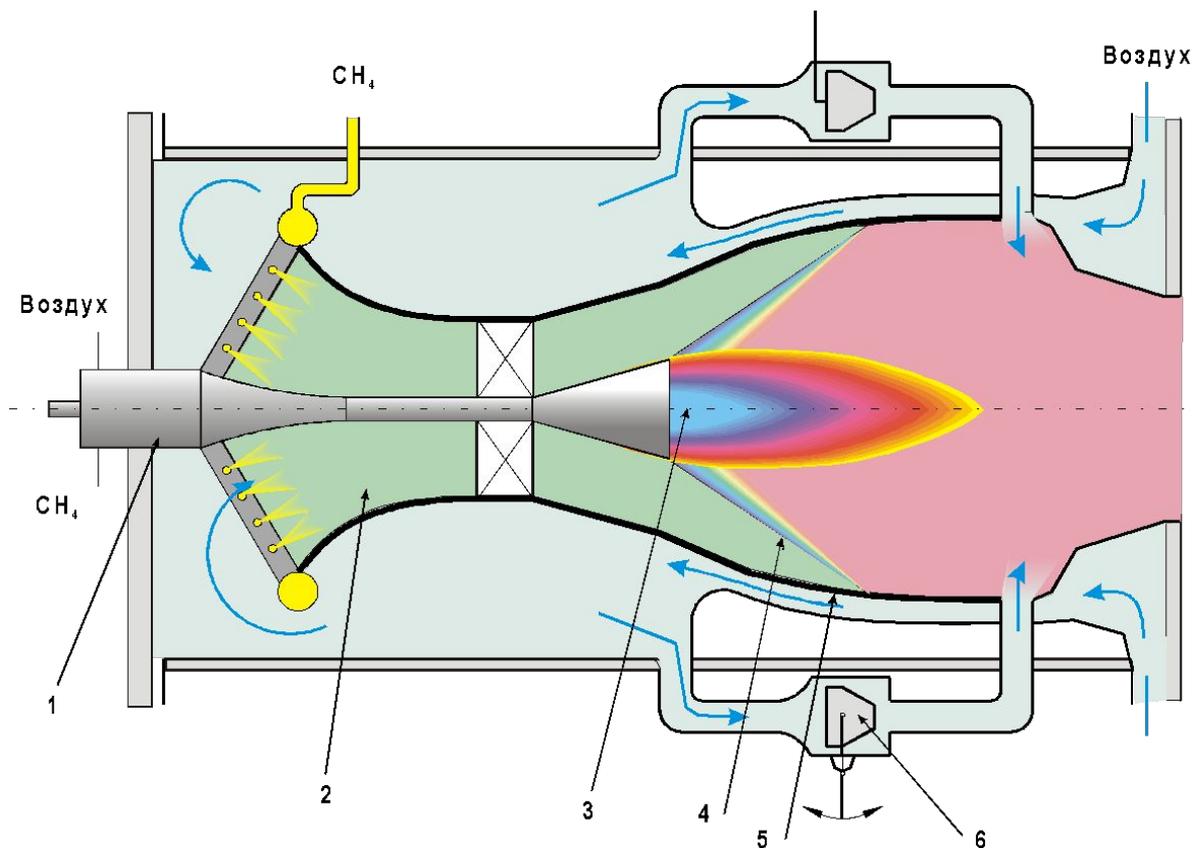
**14-16 декабря 2004 года**

**Москва**

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

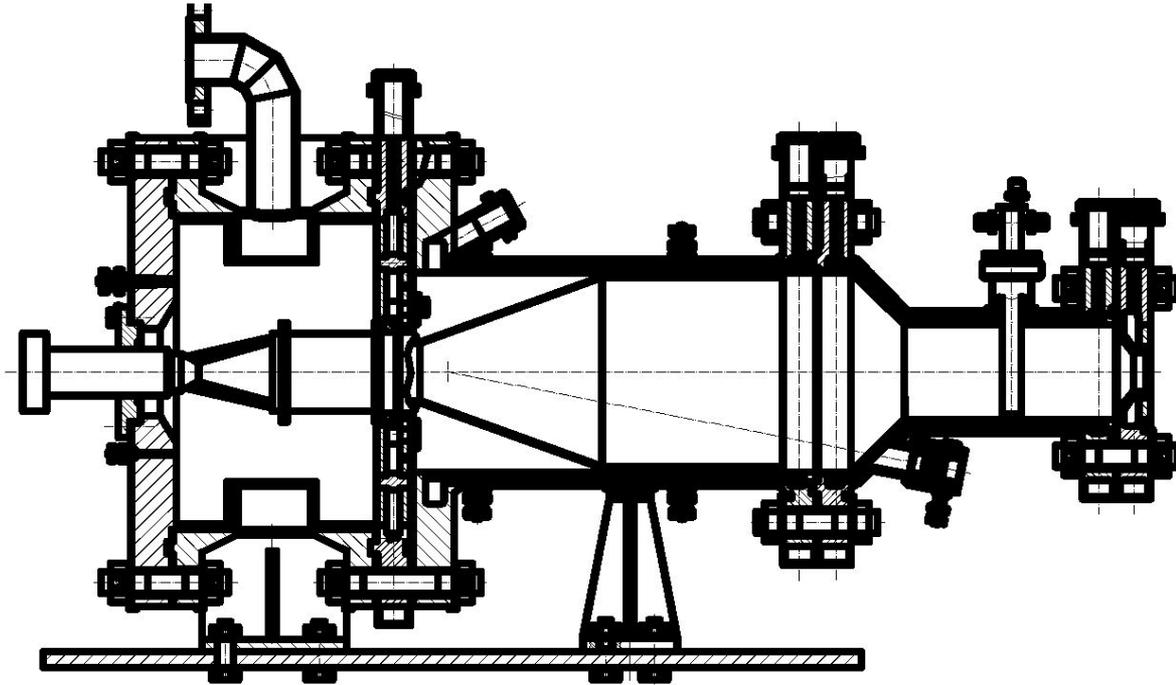
- 1. Создание эффективного смесителя – гомогенизатора с уровнем пульсаций концентраций горючего  $St' \leq 5\%$ .**
- 2. Расширение границ «бедного» срыва горения до  $\alpha_{фр} \geq 2.5 - 3$  без подпитки пилотным топливом зоны рециркуляции.**
- 3. Интенсификация турбулентного горения для сжигания «бедной» топливовоздушной смеси на длине  $\leq 0.5 - 0.7$  м.**
- 4. Снижение уровня термоакустической неустойчивости горения и величины пульсаций давления  $\leq 0.5 - 1\%$ .**
- 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 одnogорелочной низкоэмиссионной камеры сгорания



1-воспламенитель – газогенератор, 2 – топливоздушный смеситель, 3 – зона рециркуляции,  
4 – фронт горения обедненной топливоздушной смеси, 5 – корпус жаровой трубы, 6 – регулятор расхода  
воздуха

# Экспериментальная одногорелочная низкоэмиссионная камера сгорания ЭКС1Г.

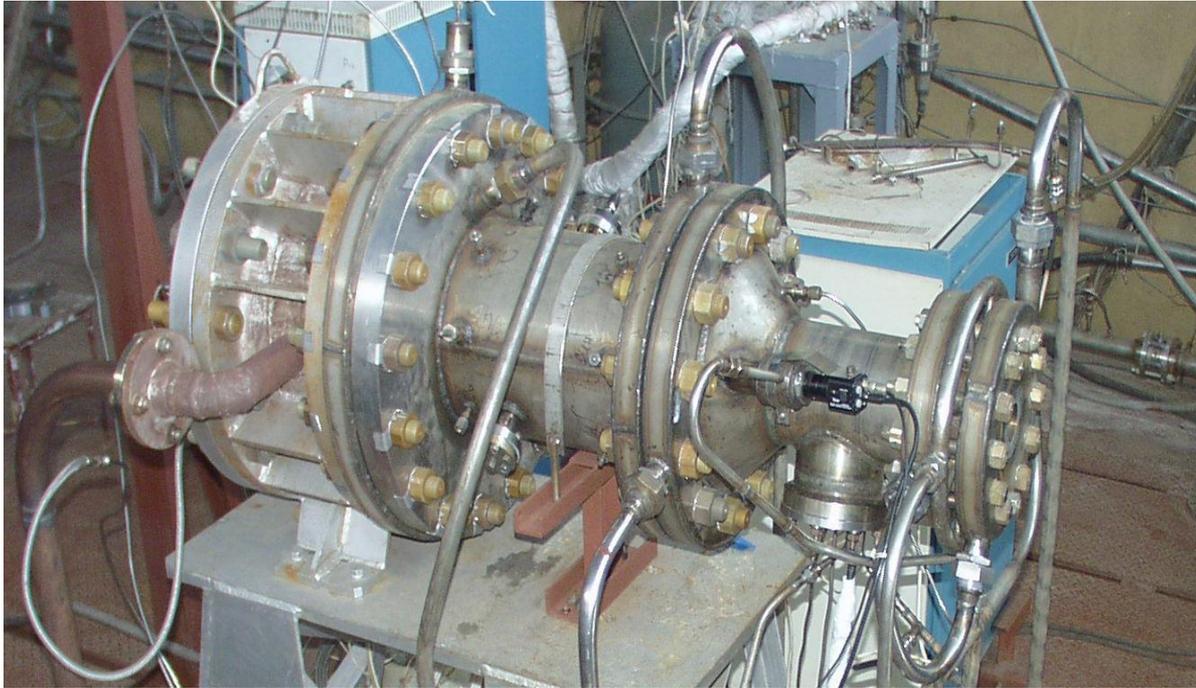


**Параметры:**  $G_{в\text{ фр}} \leq 3.2$  кг/с,  $T_{в} \leq 800$  К,  $P_{к} \leq 20$  бар

$G_{в\text{ охл}} \leq 2$  кг/с,  $G_{в\text{ сопл}} \leq 2$  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:

$$G_{в\text{ фр}} \leq 3.2 \text{ кг/с,}$$

$$T_{в} \leq 800 \text{ К,}$$

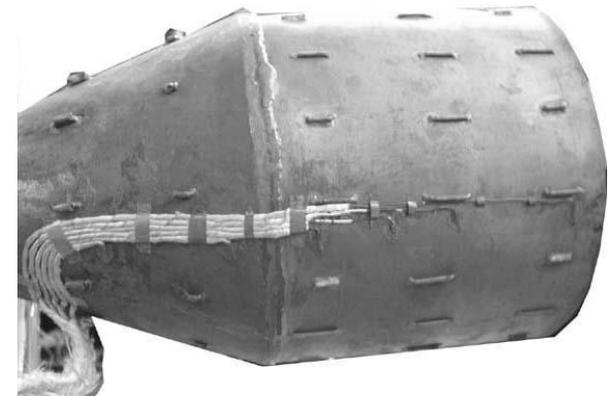
$$P_{к} \leq 20 \text{ бар}$$

$$G_{в\text{ охл}} \leq 2 \text{ кг/с,}$$

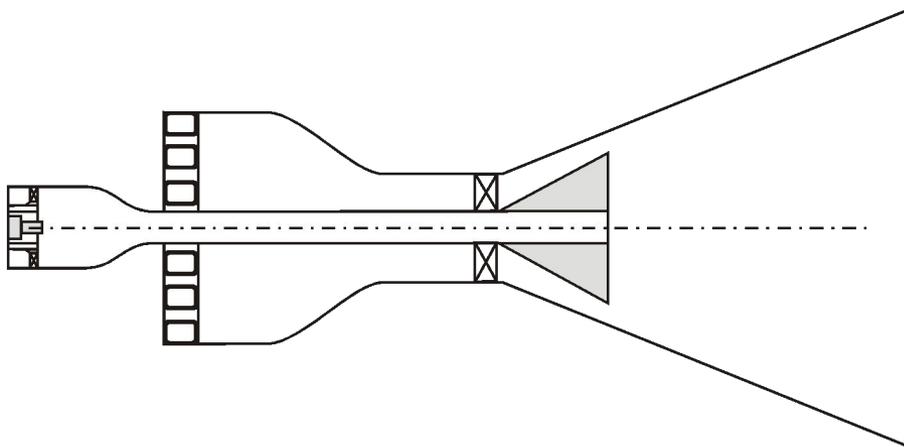
$$G_{в\text{ сопл}} \leq 2 \text{ кг/с}$$

$$L_{к} = 0.45 \text{ м}$$

$$D_{к} = 0.24 \text{ м}$$



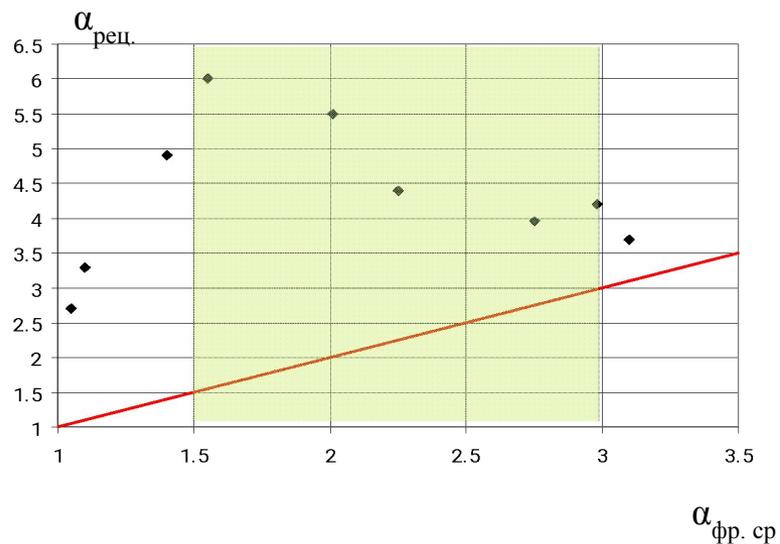
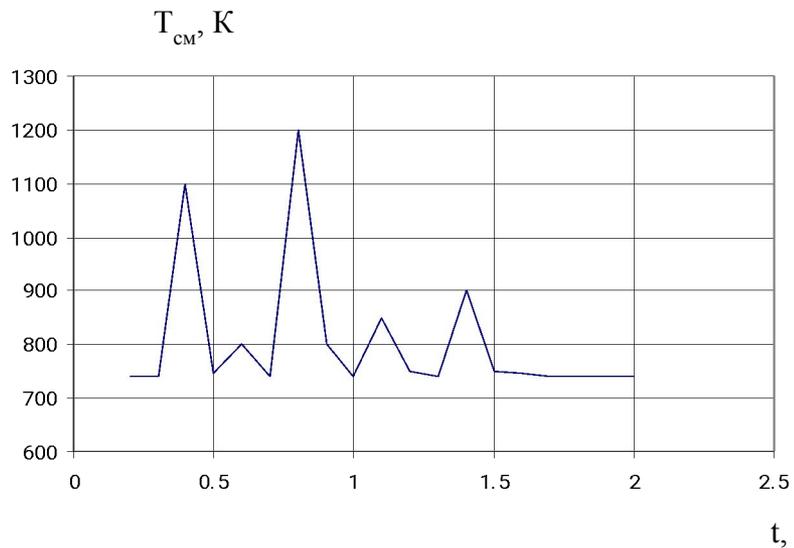
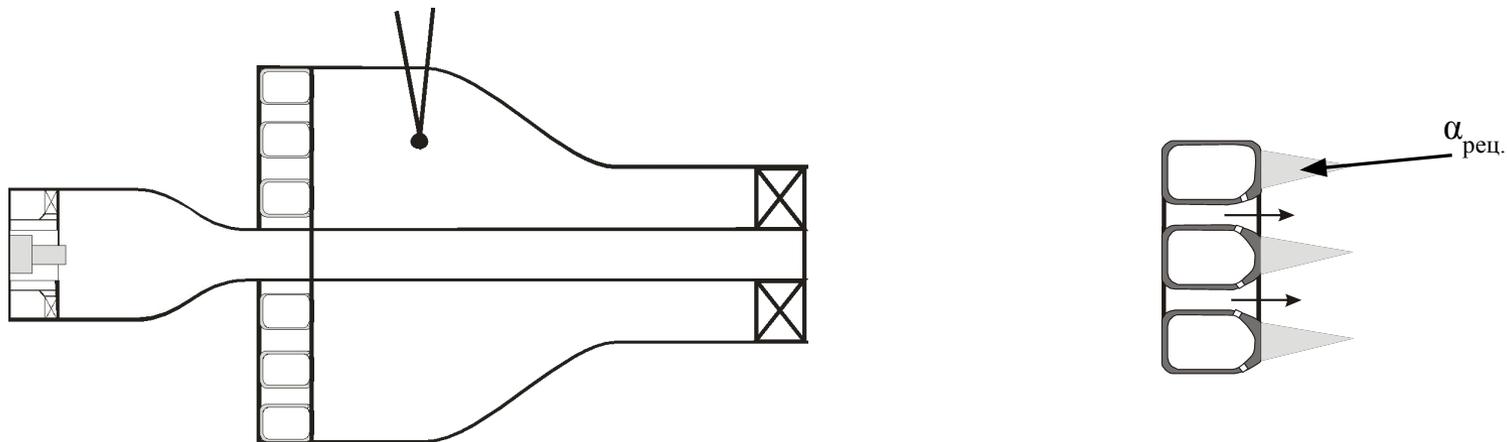
# Низкоэмиссионная горелка НГФС® на природном газе



## Особенности:

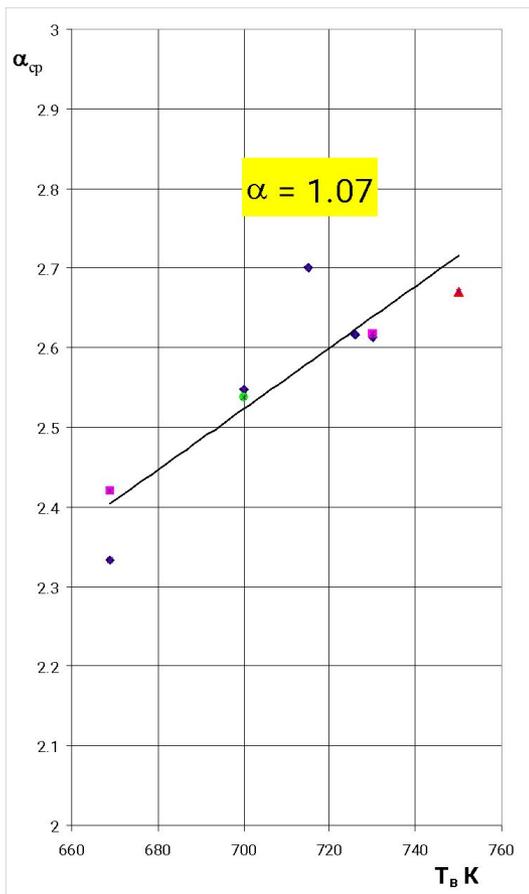
- Организация смешения без закрутки потока воздуха
- Рециркуляционная стабилизация горения
- Интенсификация турбулентных характеристик потока к началу процесса горения с использованием закрутки потока
- Развитие фронта пламени от оси к стенкам жаровой трубы в коническом канале

# Проскок пламени в смеситель горелки

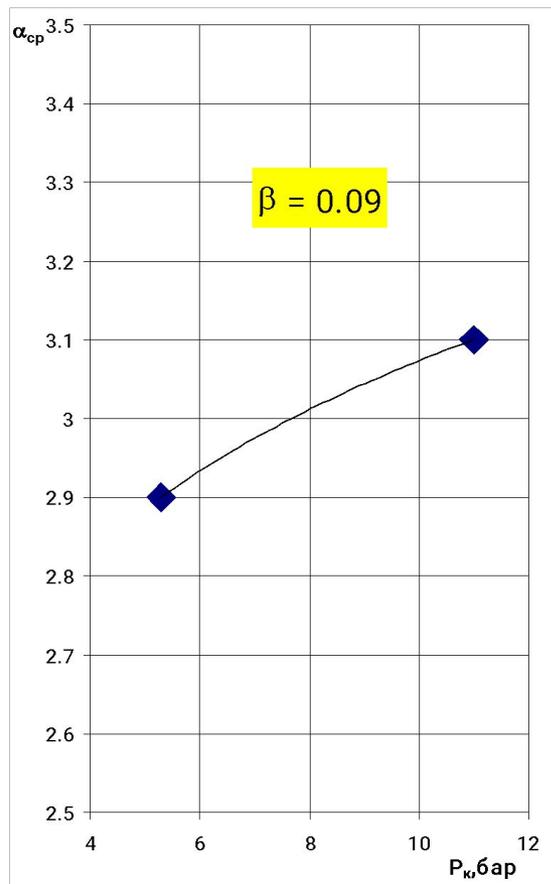


# Влияние давления и температуры газа и диаметра стабилизатора на границы «бедного» срыва горения

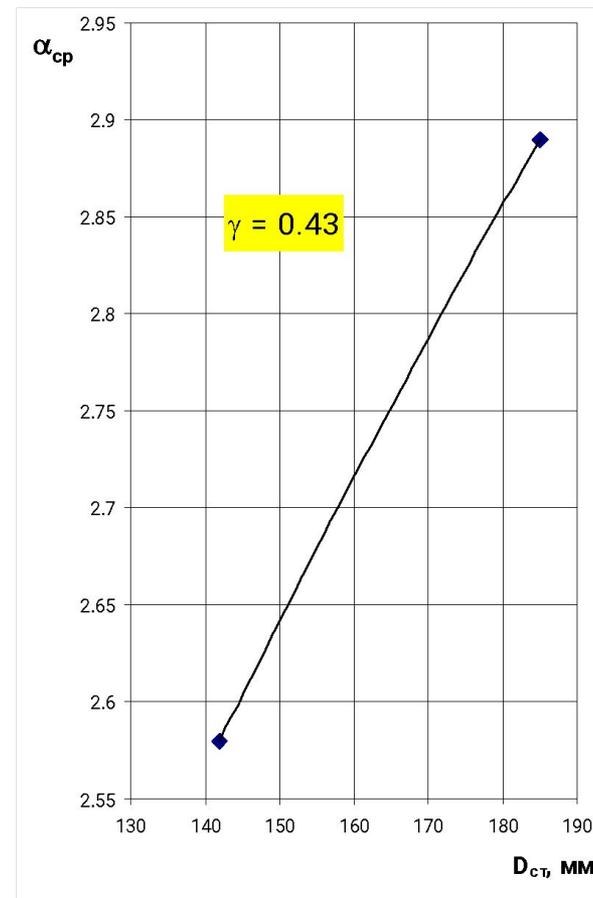
$$\alpha_{cp} = f(T_B^\alpha P_K^\beta D_{CT}^\gamma)$$



$P_K = 5$  бар,  $D_{CT} = 142$  мм,

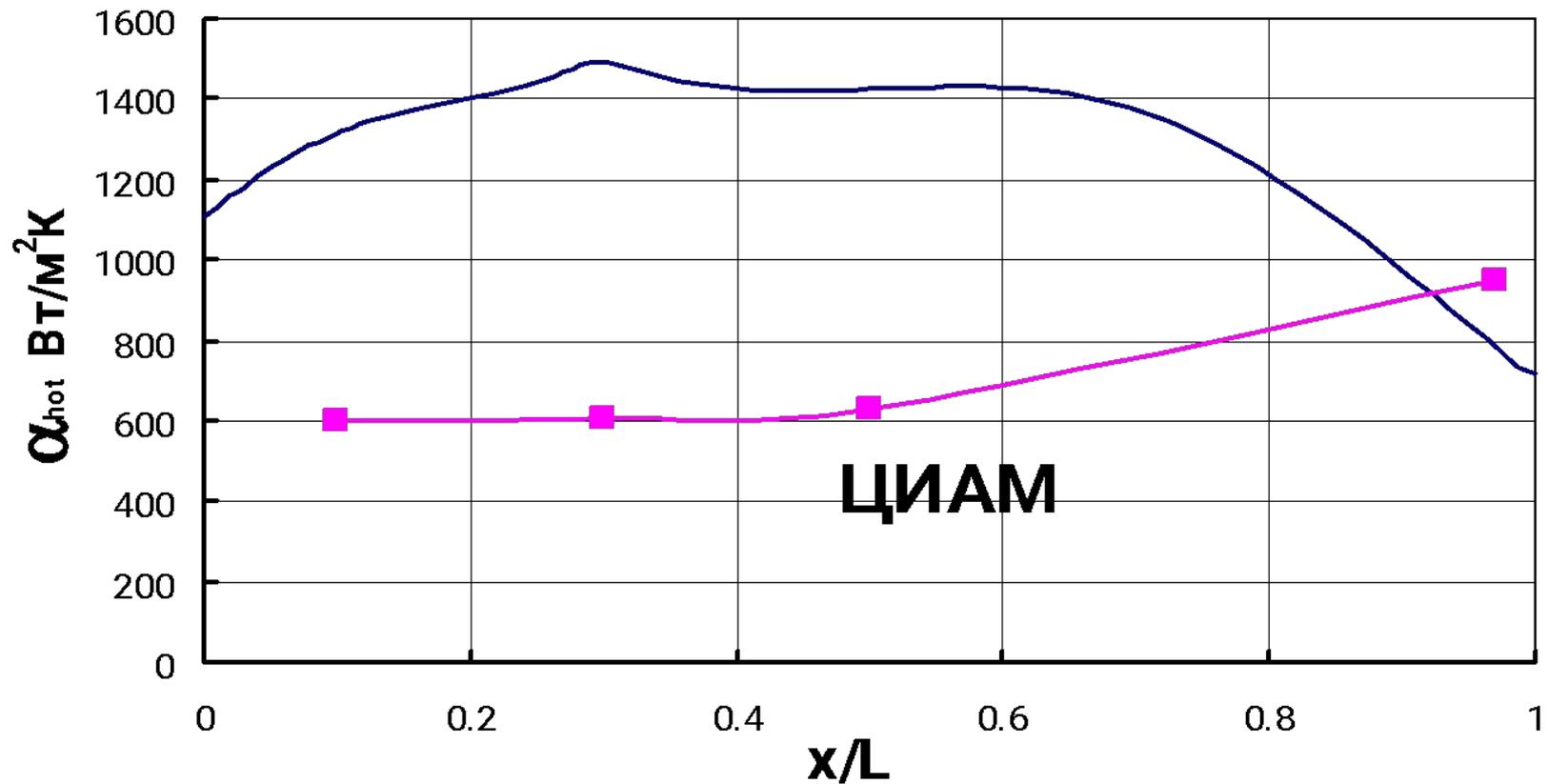


$T_B = 712$  K,  $D_{CT} = 185$  мм



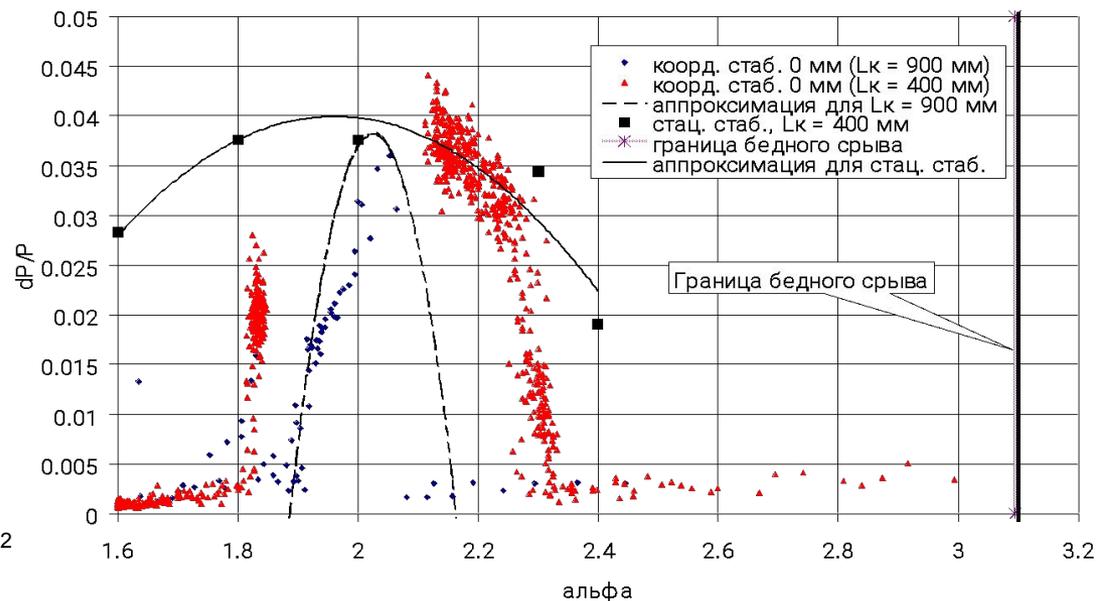
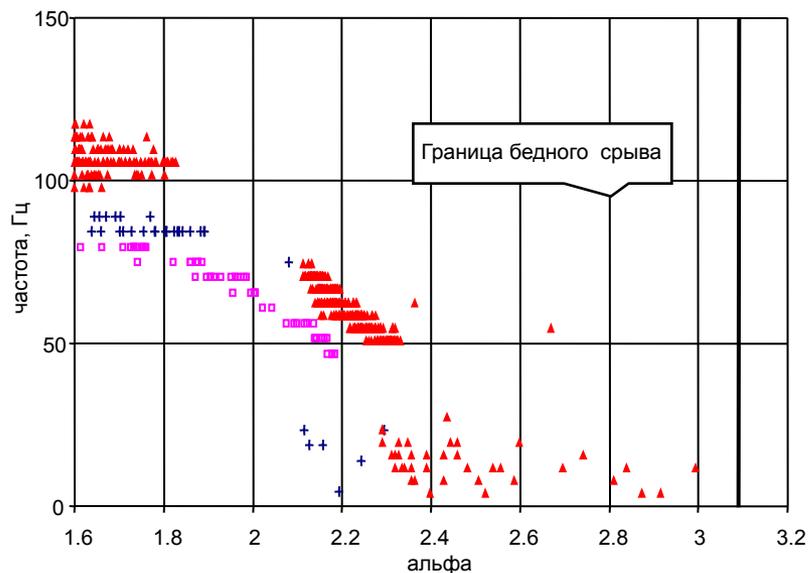
$T_B = 712$  K,  $P_K = 5$  бар

# Распределение коэффициента теплоотдачи вдоль стенок камер сгорания

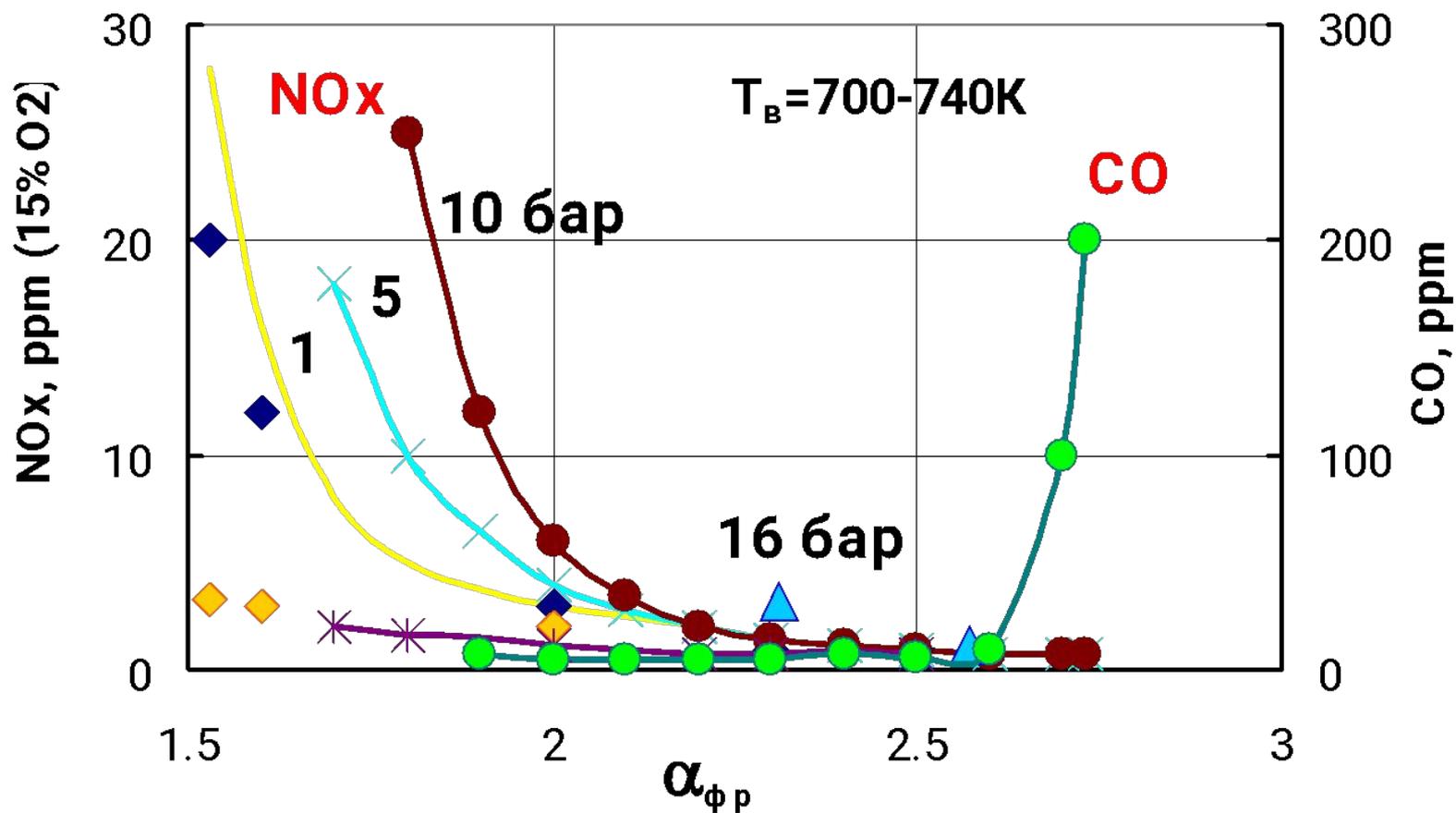


# Амплитудно-частотные характеристики пульсаций давления в НКС ЭКС1Г

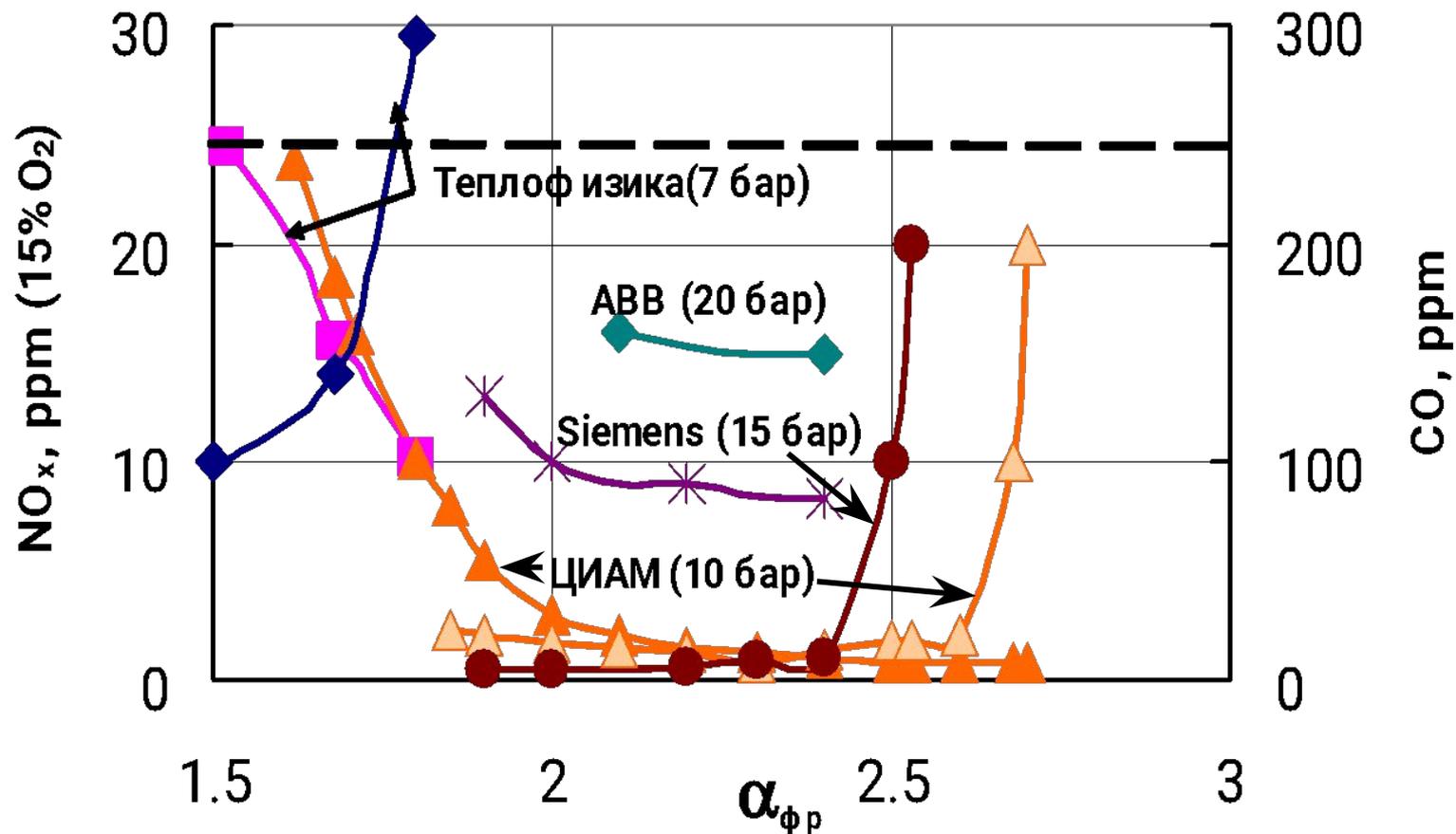
Давление в камере 5 – 15 бар, расход основного воздуха 0.75 – 2.25 кг/с, температура воздуха на входе 740 К.



# Эмиссионные характеристики НКС ЭКС1Г на газообразном горючем



# Сравнение эмиссионных характеристик НКС различных фирм



# Заключение

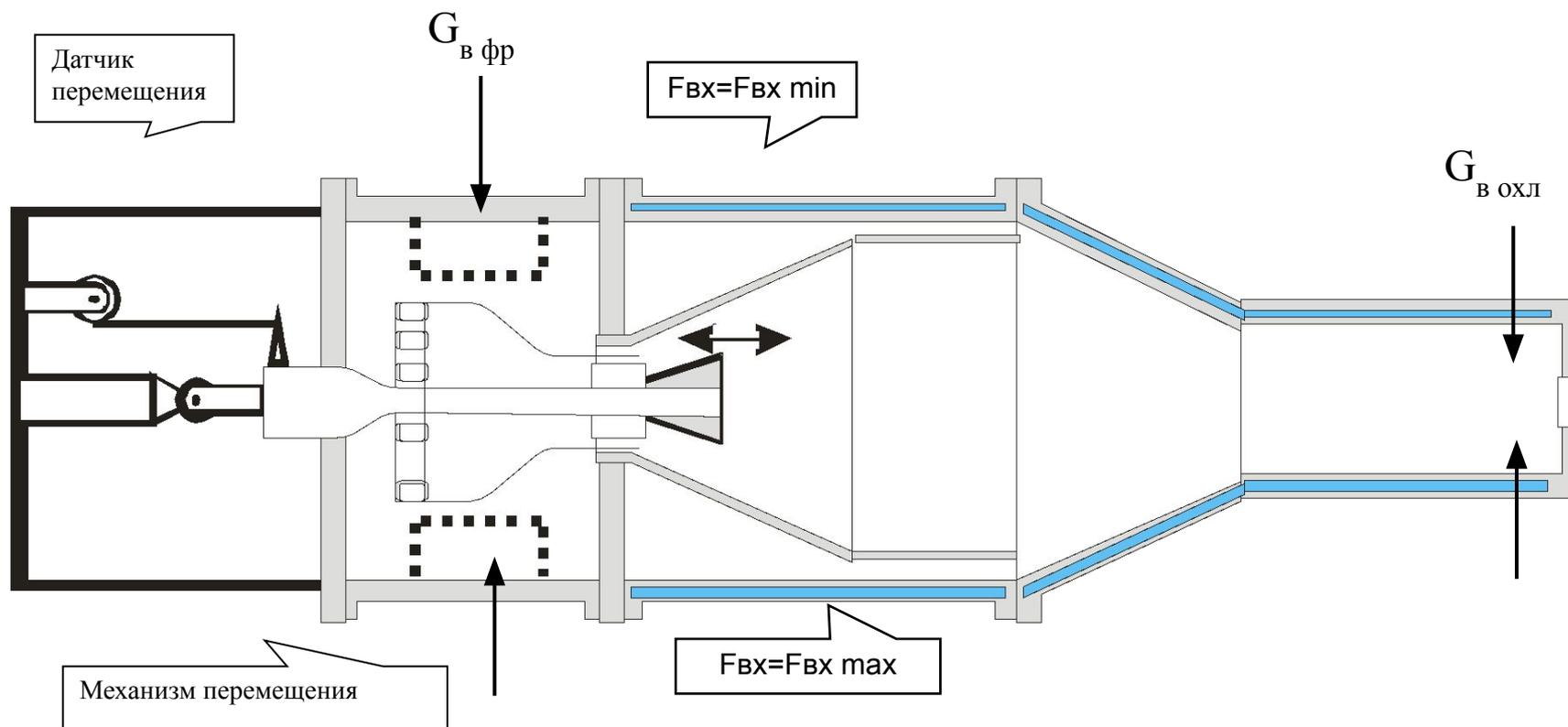
**Разработана низкоэмиссионная камера сгорания для перспективных ГТУ на природном газе, базирующаяся на технологии сжигания «бедной» заранее перемешанной топливовоздушной смеси.**

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

- уровень эмиссии  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO} < 5$  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 фронтное устройство камеры.
- В работе представлены результаты экспериментальных исследований предложенной НКС в реальном диапазоне условий работы ( $P_k = 1 \dots 20$  бар,  $T_w = 300 \dots 740$  К).
- Продемонстрирована возможность получения эмиссионных характеристик ( $NO_x$  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.