

Разработка технологии низкоэмиссионного сжигания газообразного и жидкого горючего, конструкций камер сгорания авиапроизводных ГТУ с уровнем выбросов, отвечающих перспективным международным требованиям

Авторы работы: к.т.н. Г.К. Ведешкин, д.т.н. Е.Д. Свердлов,

А.Н. Дубовицкий, А.В. Лебедев

Интенсивное развитие промышленности, энергетики и транспорта привело к существенному загрязнению атмосферы земли продуктами сгорания и наиболее опасными из них для человека, канцерогенами – оксидами азота (NO_x) иmonoокисью углерода (СО). В связи с этим снижение выбросов вредных веществ стало наиболее актуальной задачей, решение которой лежит в плоскости разработки новых технологий сжигания топлив: — замены высокоеэмиссионной диффузационной технологии на низкоэмиссионную.

Наиболее перспективной для камер сгорания авиапроизводных газотурбинных установок (ГТУ) сегодня считается технология сжигания бедных, заранее перемешанных топливовоздушных смесей. (Сокращенно по-английски ее принято называть LPP — в переводе, дословно, сжигание «бедной, предварительно испаренной, перемешанной» топливовоздушной смеси). Разработкой этой технологии за рубежом ведущие фирмы мира занимаются более тридцати лет. Она позволила снизить уровень эмиссии NO_x и CO более чем на порядок, доведя эмиссию NO_x в лучших образцах НКС ГТУ до $10 \div 15 \text{ ppm}$ [1].

Вместе с тем многолетний опыт зарубежных фирм по внедрению технологии LPP в ГТУ показал, что для ее реализации необходимо решить ряд сложных проблем фундаментального научного и технического характера. Таких, как разработка эффективного и компактного смесителя горючего и окислителя, устранение причин проскоков пламени в смеситель, расширение границ бедного срыва пламени, подавление режимов виброгорения, замена конвективно-заградительной системы охлаждения стенок жаровой трубы во фронтовой части на чисто конвективную и др.

Таким образом, создание низкоэмиссионной камеры сгорания (НКС) требует комплексного решения ряда сложных научно-технических проблем. К началу 21-го века благодаря большим финансовым вливаниям и подключению к разработке технологии LPP многих ведущих научных школ мира крупнейшим фирмам (GE, Siemens, ABB(Alstom Power), MAN, Mitsubishi и др.) удалось решить в той или иной степени многие из проблем низкоэмиссионного сжигания топлив и создать НКС на природном газе с эмиссионными характеристиками, удовлетворяющими требованиям наиболее жестких международных стандартов (NO_x и CO < 25 ppm).

Отечественные наука и промышленность подключились к разработке технологии LPP и созданию образцов НКС для ГТУ и ГТД значительно позже зарубежных фирм при отсутствии достаточной финансовой поддержки, что и привело к существенному отставанию в этой области.

На рисунке 1 представлены данные из работ [2] по эмиссионным характеристикам эксплуатируемых ГТУ и ГПА отечественных фирм, полученные на период 1991÷1998г.

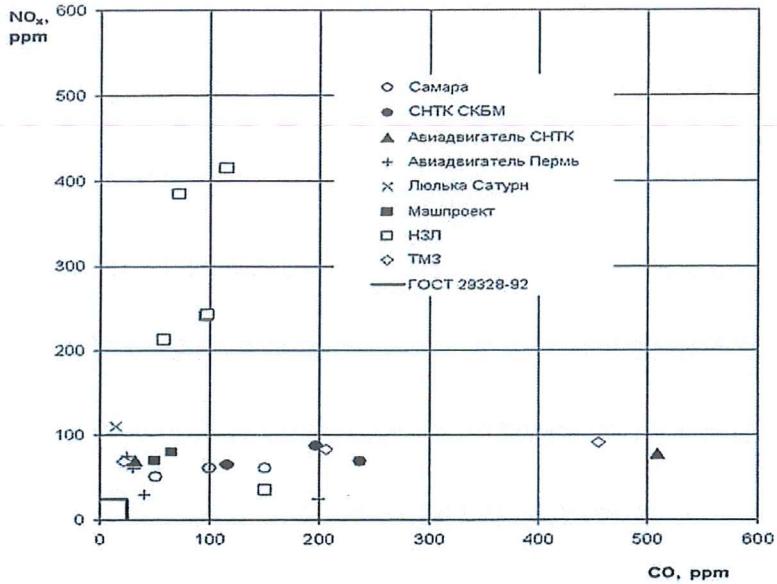


Рисунок 1.. Эмиссионные характеристики эксплуатируемых авиапроизводных ГТУ отечественных фирм на период 1991÷1998гг. [2]. Очерченная область в левом нижнем углу – ограничения международных и отечественных стандартов.

Для создания низкоэмиссионных камер сгорания ГТУ и ГТД в ЦИАМ в период 2003-2015гг на основе общей технологии LPP разработана оригинальная технология низкоэмиссионного сжигания бедных заранее перемешанных смесей, конструктивная схема НКС, реализующая эту технологию.

Особенностью разработанной в ЦИАМ технологии являются следующие решения:

1. Отказ от закрутки потока газа в горелке.
2. Формирование газодинамической схемы течения с одной центральной зоной рециркуляционной стабилизации горения больших размеров.
3. Использование конического стабилизатора пламени и конического диффузора жаровой трубы для формирования центральной зоны рециркуляционной стабилизации горения.
4. Снижение доли пилотного топлива до уровня $\leq 5\%$.

На основе разработанной в ЦИАМ низкоэмиссионной технологии и конструктивной схемы НКС получен ряд патентов РФ: № 2227247, № 2193139, № 2270402, № 2227247, подтверждающих новизну научно-технических решений.

Конструктивная схема разработанной в ЦИАМ НКС представлена на рисунке 2.

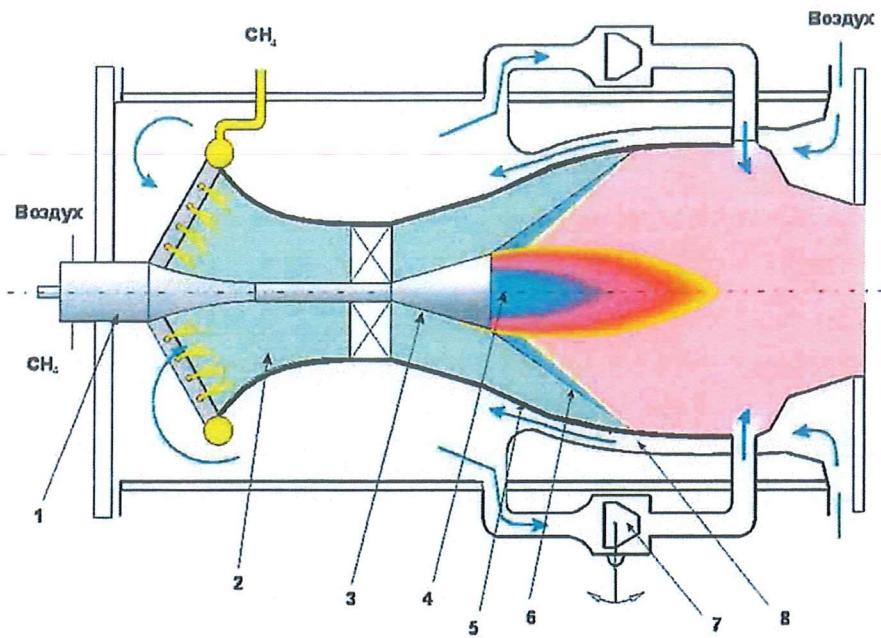


Рисунок 2. Схема НКС, реализующая разработанную в ЦИАМ низкоэмиссионную технологию организации рабочего процесса.

На основе разработанной схемы НКС для проведения экспериментальных исследований и подтверждения эффективности предложенной технологии были разработаны несколько вариантов экспериментальных НКС, один из которых представлен на рисунке 3.

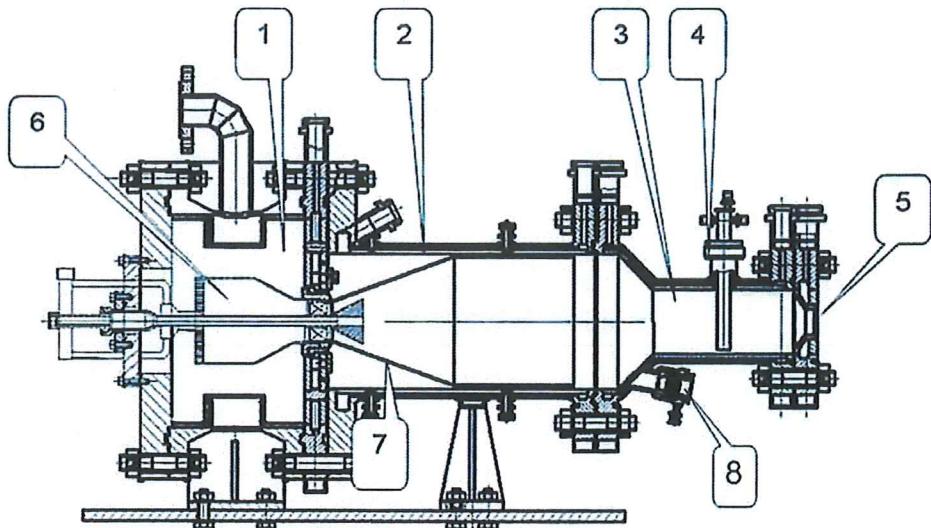


Рисунок 3. Конструкция экспериментального варианта НКС, реализующая разработанную в ЦИАМ технологию. 1-Ресивер, 2- корпус КС, 3-мерный участок, 4-гребенка отбора проб, 5- сопло, 6- низкоэмиссионная горелка, 7-диффузор и стенки жаровой трубы

Результаты испытаний экспериментального варианта НКС ЦИАМ в сравнении с данными НКС фирмы ABB на природном газе представлены на рисунке 4.

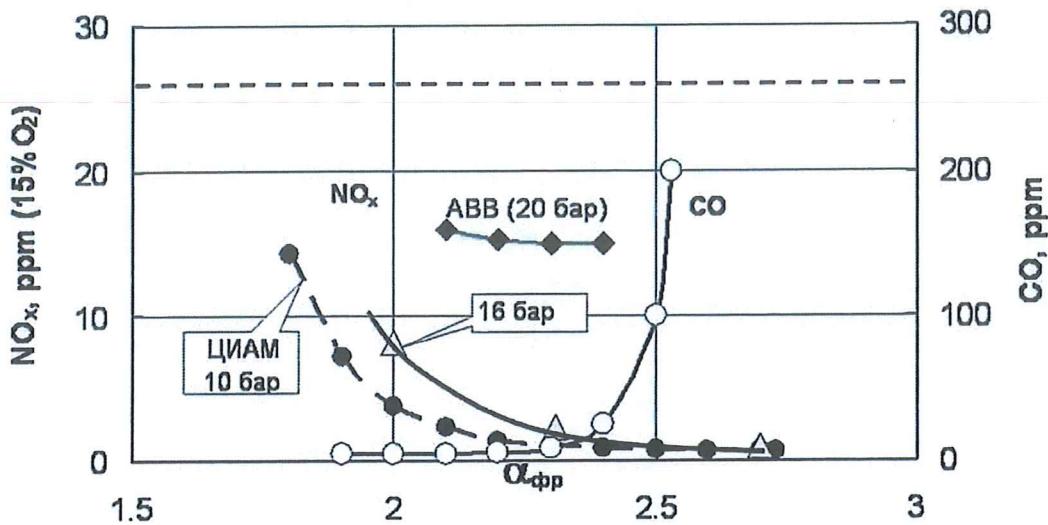


Рисунок 4. Эмиссионные характеристики НКС GTX100 фирмы АВВ (Alstom Power) и экспериментальной НКС ЦИАМ. ●○ - эмиссия NO_x и CO НКС ЦИАМ— $T_b = 740$ К, $P_k \approx 10$ бар и 16 бар, $g_n = 0$, $\tau_{np} = 25$ мс; ♦- эмиссия NO_x НКС GTX100 фирмы АВВ(Alstom Power):— $T_b = 740$ К, $P_k \approx 20$ бар, $g_n = 10\%$, $\tau_{np} = 30$ мс

Результаты экспериментальных исследований показали, что разработанная в ЦИАМ низкоэмиссионная технология сжигания газообразных горючих и конструктивный облик НКС позволяют получать уровни эмиссии NO_x и CO ниже существующих требований международных стандартов для ГТУ (25ppm). Полученные в ЦИАМ результаты на природном газе находятся на уровне результатов по эмиссии НКС фирмы Alstom Power и многих других фирм мира и являются лучшими, достигнутыми в РФ на авиапроизводных ГТУ.

Применительно к двухтопливным НКС разработана и прошла этап экспериментальных исследований НКС на керосине, реализующая разработанную в ЦИАМ низкоэмиссионную технологию сжигания топлив.

На рисунке 5. представлена конструкция экспериментальной НКС, работающая на керосине.

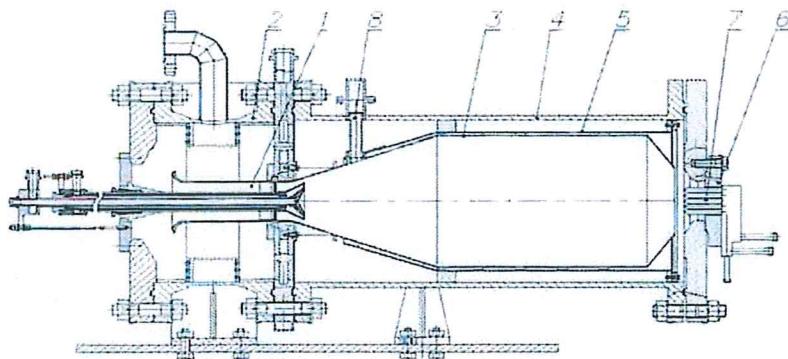


Рисунок 5. Экспериментальная НКС, реализующая низкоэмиссионную технологию сжигания керосина, предварительно испаренного в низкоэмиссионной горелке.

1-низкоэмиссионная горелка, 2-воздушный ресивер, 3- жаровая труба, 4-корпус НКС, 5- экран системы охлаждения, 7- гребенка отбора проб газа

Основные результаты испытаний НКС на испаренном в горелке керосине представлены в таблице. Существующие ограничения ИКАО по эмиссии для ДГА находятся на уровне $EINOx \approx 10\text{г}/\text{кг}$.

<i>Ga, кг/с</i>	<i>Pa, бар</i>	<i>Ta, К</i>	<i>am</i>	<i>PFR, %</i>	<i>EICO г/кг</i>	<i>EINOx г/кг</i>
1,16	7,15	720	2,30	0	0,24	2,7
1,19	7,55	723	2,45	0	0,18	1,5
1,96	11,61	719	2,54	0	0,26	3,8

Из таблицы видно, что полученные экспериментальные результаты эмиссионных характеристик НКС многократно ниже существующих международных ограничений, что подтверждает перспективность, разработанной в ЦИАМ низкоэмиссионной технологии сжигания не только газообразных, но и жидких углеводородных горючих.

Большой объём проведенных за последние годы экспериментальных и расчетных исследований позволил решить основные проблемы реализации низкоэмиссионной технологии и создать образцы эффективных НКС.

НКС, разработанная по технологии ЦИАМ, успешно прошла первый этап испытаний в составе газотурбинной установки ГТУ-16П ОАО «Авиадвигатель» и в настоящее время готовится к следующему этапу испытания. Предполагается использование этой разработки и на других ГТУ.

Результаты этапов НИР по разработке низкоэмиссионной технологии горения в последние годы неоднократно получали призовые места на конкурсе лучших работ ЦИАМ.

Литература:

1. А. Лефевр «Процессы в камерах сгорания ГТД». Издательство «Мир», Москва, 1986.
2. Постников А.М. «Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ». Самара: СНЦ РАН, 2002г, 286 с.