

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тумановский А.Г. Некоторые пути снижения концентрации окислов азота в камерах сгорания ГТУ. // Теплоэнергетика. -1973. №6
2. Лефевр А.Х. Процессы в камерах сгорания ГТД. -М: Мир, 1986. -566с.

УДК 621.452.322.034.313

РЕЗУЛЬТАТЫ ОТРАБОТКИ МНОГОФОРСУНОЧНЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГТД НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

Епейкин Л.Ф., Крыжановский А.И., Лавров В.Н.,
Спивак Ю.В., Цыбизов Ю.И.

ОАО СНТК им. Н.Д.Кузнецова, г. Самара

На двигателях НК-88 и НК-89 (базовый двигатель НК-8-2У), предназначенных в качестве силовой установки самолетов Ту-155 и Ту-156 соответственно, проведены испытания на водороде и СПГ следующего состава: метан 99,4...99,8 %, этан 0,01...0,03%, пропан и более тяжелые углеводороды 0,01...0,03%, азот 0,26...0,52%. На указанных двигателях использована многофорсуночная камера сгорания (КС) прототипа в двухтопливном варианте. Система топливоподачи включает в себя керосиновую систему базового двигателя и вновь разработанную криогенную систему, состоящую из насосного агрегата; теплообменников - газификаторов и соответствующих агрегатов управления и регулирования.

При работе двигателя на водороде и СПГ запуск осуществлялся на керосине. Для воспламенения топлива применялись воспламенители с аэрозийными свечами, работающими с индукционным агрегатом зажигания поверхностного разряда. Переход на работу с альтернативным видом топлива осуществлялся после выхода двигателя на режим малого газа. При этом основной вариант двигательной топливной системы предполагает подачу водорода и СПГ в КС в испаренном виде. Испарение топлива производится в двух последовательно расположенных теплообменниках, в которых используется тепло, отбираемое от керосина и от затурбинного газа (продуктов сгорания).

На двигателе НК-89 на СПГ исследовалась работа КС при подаче в форсунки как жидкого СПГ, так и перегретого газифицированного топлива в зависимости от вида подключаемого теплообменника. В связи с тем, что концентрационные пределы устойчивого горения метана, составляющего основу СПГ, с воздухом уже по сравнению с керосино-воздушными смесями, то для обеспечения бесрывного горения здесь применяется огневая поддержка - в первый (пусковой) контур подается добавочно керосин с расходом 400 кг/час постоянно на всех режимах.

На рис.1 приведено изменение суммарного потребного расхода топлива в зависимости от режима работы двигателя. Видно, что для достижения максимальной взлетной тяги (100%R) на двигателе НК-88 требуется меньший почти в 3 раза расход водородного топлива.

Измерения эмиссии загрязняющих атмосферу веществ проводились газоанализирующей аппаратурой "JANAKO" и "HORIBA" (производство Японии), проходившей периодическую метрологическую проверку.

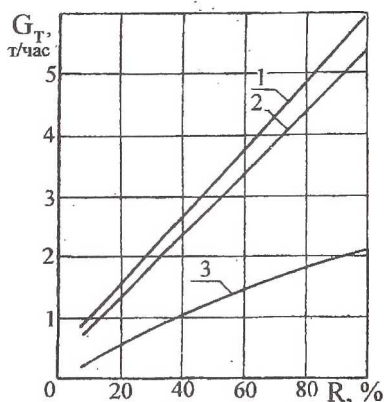


Рис. 1. Зависимость расхода топлива от относительной взлетной тяги.

1 – керосин, 2 – СПГ, 3 – водород

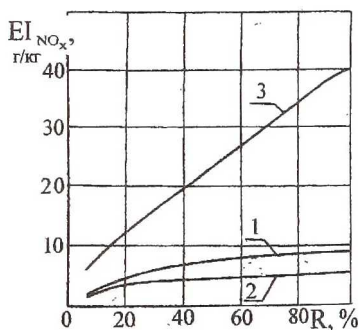


Рис. 2. Зависимость индекса выбросов окислов азот от относительной взлетной тяги (обозначения по рис. 1)

Результаты измерения эмиссии оксида азота NO_x , окислов углерода CO и углеводородов C_mH_n представлены на рис.2...4. Максимальный выброс окислов азота, замеренный в граммах на килограмм топлива, получен на взлетном режиме при сжигании водорода $E_{NO_x} = 40$ г/кг-топл., а минимальный $E_{NO_x} = 5$ г/кг-топл. при СПГ (рис.2), что объясняется величиной температуры пламени в зоне горения.

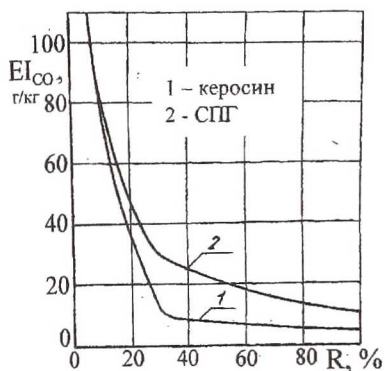


Рис. 3. Зависимость индекса выбросов окиси углерода от относительной взлетной тяги

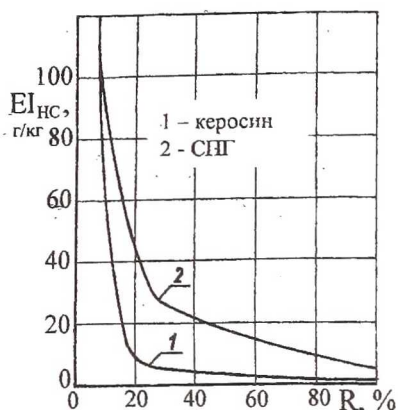


Рис. 4. Зависимость индекса выбросов несгоревших углеводородов от относительной взлетной тяги

Большой уровень выбросов CO и C_mH_n до 100г/кг-топл. (рис.3 и 4) при работе на СПГ и керосине объясняется недостаточно высокой полнотой сгорания ($\eta = 0,85...0,89$) на режиме малого газа (7% R) при низких параметрах воздуха на входе в КС ($P_k^* = 2\text{кг/см}^2$, $T_k^* = 360\text{ К}$).

В таблице приведены параметры эмиссии NO_x двигателей НК-88 и НК-89 за взлетно-посадочный цикл в сравнении с принятыми нормами ИКАО на 1986г и 1996г ($\Pi_{NO_x} = 40 + 2\Pi_k$; $\Pi_{NO_x} = 32 + 1,6\Pi_k$).

Таблица 1

Двигатель	Параметр выбросов NO_x , г/кг-топл.	Норма ИКАО	
		1986г	1996г
НК-89 (керосин)	43,10	62	49,60
НК-89 (СПГ)	22,85	62	49,60
НК-88	46,70	62	49,60

Как следует из данных таблицы, параметр эмиссии NO_x при горении керосина и водородного топлива в многофорсуночных однотипных конструкциях КС двигателей НК-88 и НК-89 практически одинаков. Но в связи с тем, что у водородного топлива скорость горения значительно выше, чем у керосина, то на двигателе НК-88 есть потенциальная возможность снижения выброса NO_x за счет уменьшения времени пребывания топливо-воздушной смеси в укороченном варианте КС.