

Афанасов Я.В.¹, Гридчин Н.В.².

¹Магистрант; ²Старший преподаватель
Кафедра «Тепловые двигатели и теплофизика»,
Калужский филиал Московского государственного технического
университета имени Н.Э. Баумана

ПЕРЕВОД КАМЕРЫ СГОРАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО ГТД НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы конверсии камеры сгорания малоразмерного газотурбинного двигателя при его переводе на газообразное топливо, особое внимание уделяется требованиям к критериям работы вновь проектируемых камер сгорания для установок гражданского применения.

Ключевые слова: камера сгорания, ГТД, конверсия, газ

Keywords: combustion chamber, gas turbine, conversion, gas

Перевод камеры сгорания малоразмерного ГТД на газообразное топливо является актуальной задачей при создании средств автономного энергоснабжения. Большинство малоразмерных ГТД производимых в нашей стране спроектированы как ВСУ военного назначения, использующие жидкое топливо. Конверсия продукции, изначально спроектированной для военного назначения в продукцию гражданскую, неизбежно требует решения задач придания ей конкурентоспособных на рынке характеристик по надёжности, эффективности и цене [1,21].

Особенности перевода КС на газообразное топливо. При переходе на газообразное топливо, как показывает практический опыт множества двигателестроительных предприятий, приходится решать общие (типовые) задачи [2,112; 3,168]:

– модернизация фронтального устройства (ФУ) для обеспечения подготовки топливо-воздушной смеси (ТВС) из топлива, плотность которого в 10^3 раз меньше жидкого (плотность дизельного топлива $\rho \approx 830 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а плотность природного газа $\rho = 0,7...1,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), при этом стремятся обеспечить минимальное избыточное давление газа над давлением воздуха в камере сгорания (для жидкого топлива эта величина $\Delta p = 1 \text{ МПа}$), вследствие чего проходные сечения каналов газовых форсунок значительно отличаются по размеру и количеству от жидкостных;

– организация пуска камеры сгорания;

– достижение высокого качества процесса горения, определяемого для современных камер сгорания не только традиционными параметрами $\eta_{\text{КС}}$, $t_{\text{ст}}$, $\Theta_{\text{Г}}$ и др., но и экологическими характеристиками, т.е. обеспечением допустимых уровней эмиссии выбросов вредных веществ. Практически все находящиеся в эксплуатации ГТУ оснащены низкоэмиссионными камерами сгорания.

Работа над новыми концепциями организации процесса горения ведётся непрерывно.

Концепции КС. Ключевым в формировании облика конвертированной на газообразное топливо КС является выбор технологии сжигания газа, которая будет отвечать всем предъявляемым требованиям (ресурс, полнота сгорания, экологичность).

Широко известны следующие концепции КС: LPP и RQL, а также технология “микрофакельного” сжигания газа.

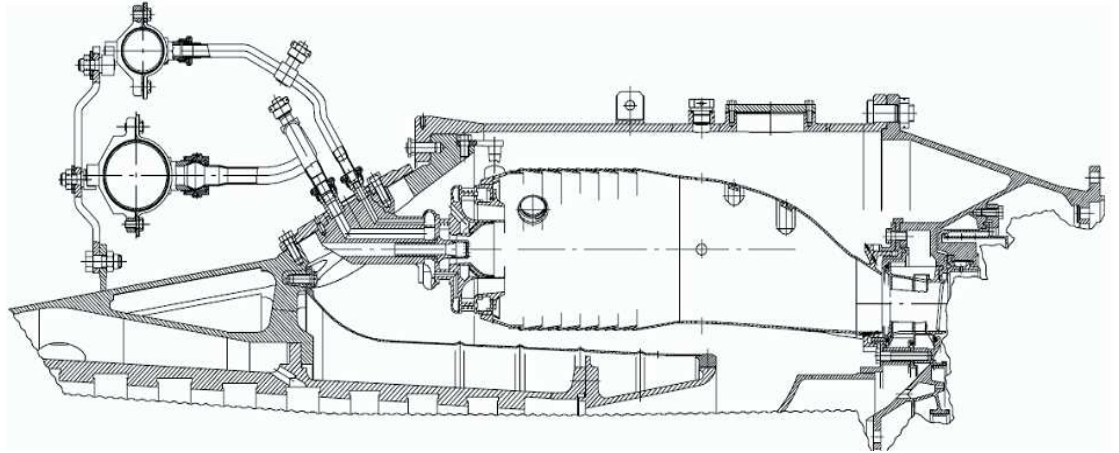


Рис. 1. КС двигателя ДН80 концепции LPP

Концепция LPP (рис.1) предполагает горение предварительно подготовленной ТВС при больших значениях коэффициента избытка воздуха в зоне горения, благодаря чему достигается относительно низкая температура горения (рис.2) и снижаются выбросы NO_x [4,156].

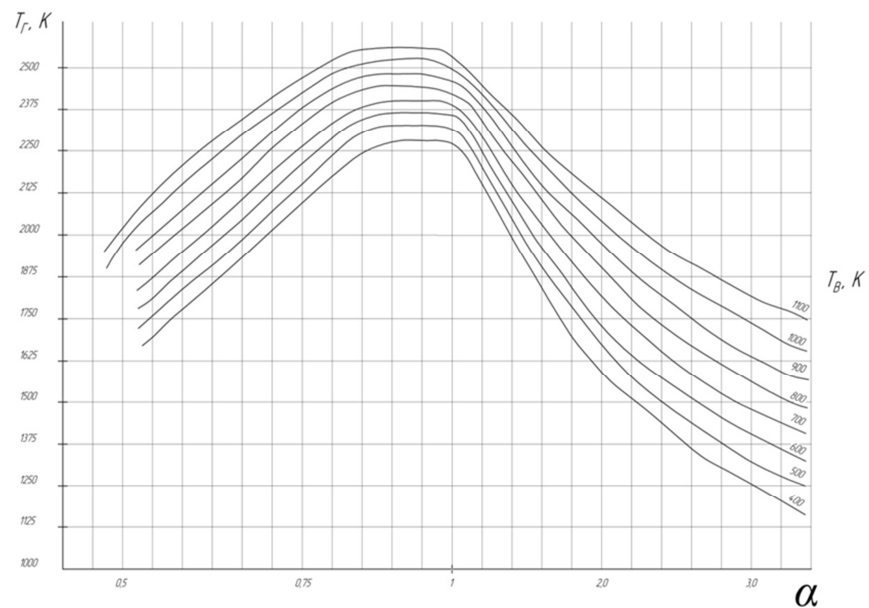


Рис. 2. Зависимость температуры пламени от коэффициента избытка воздуха.

К недостаткам данной концепции относится [5,83]:

- необходимость разработки принципиально нового ФУ;
- сложность поджига КС;
- вероятность получения неустойчивого (пульсационного) горения.

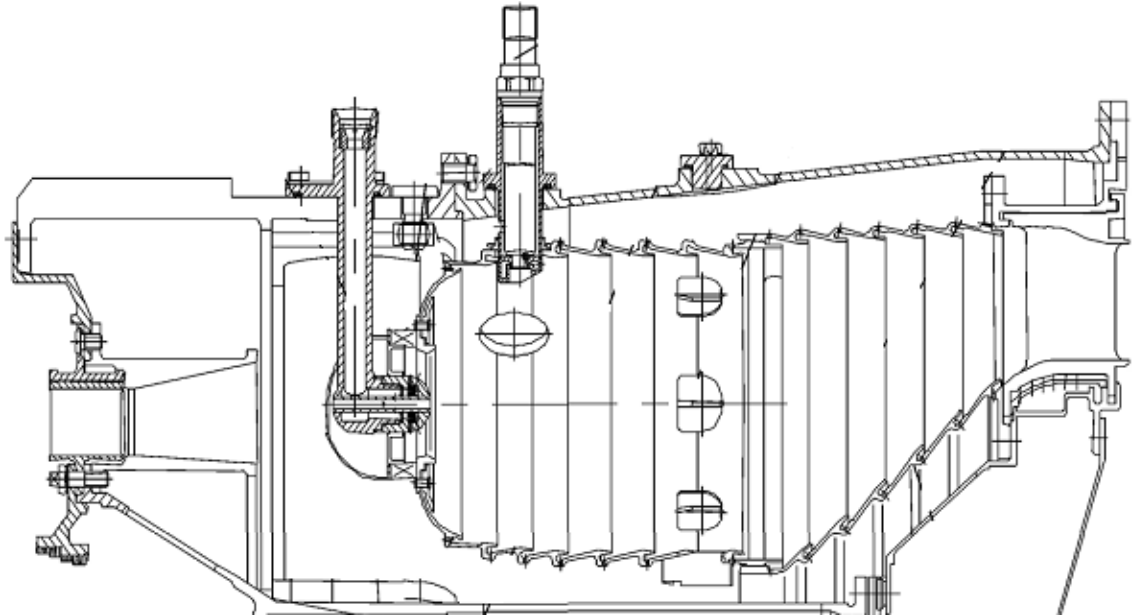


Рис. 3 КС ПС90-ГП2 концепции RQL

Технология RQL (рис.3) предполагает сгорание богатой ТВС в первичной зоне жаровой трубы (ЖТ), а затем быстрое разбавление продуктов сгорания значительными объёмами холодного воздуха в зоне смешения, что позволяет сократить время пребывания смеси в высокотемпературной зоне КС, а следовательно, снизить время на образования вредных веществ в продуктах сгорания.

Недостатками этой концепции являются:

- кардинальное изменение конструкции обечаек ЖТ;
- повышенное требование к охлаждению фронта КС.

Технология "микрофакельного" сжигания газа предполагает горение топлива во множестве малоразмерных факелов при коэффициенте избытка воздуха близкому к стехиометрическому. Такая дискретизация процесса горения позволяет достичь высокой полноты сгорания топлива и стабильности горения при равномерном поле температур во фронте КС, что позволит снизить эмиссию вредных веществ [6, 16].

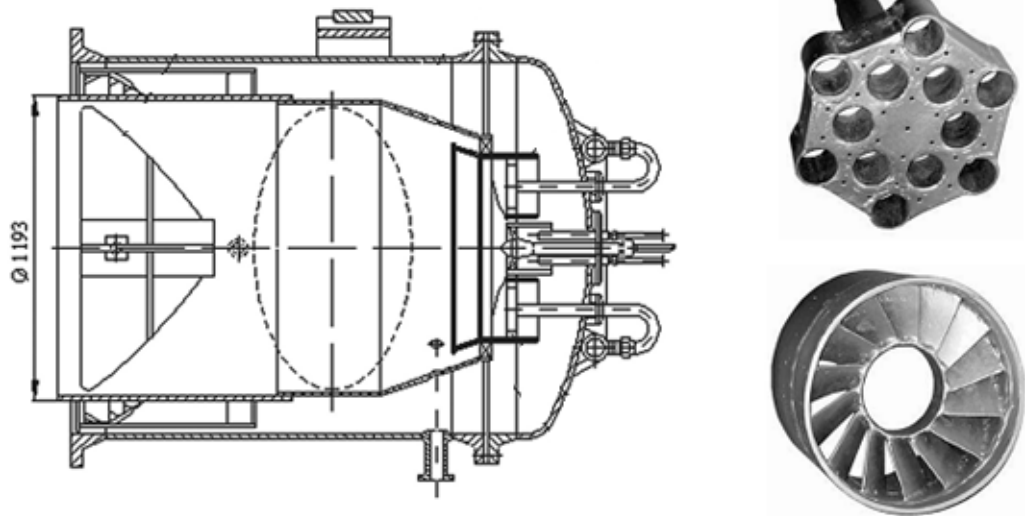


Рис. 3 КС ГПА ГТК-10 с трубчатыми горелками.

Недостатки данной концепции:

- значительное увеличение площади ФУ;
- усложнение системы топливных коллекторов;
- недостаток информации о процессах в данных КС.

Кроме того при выборе концепции проектирования новой КС основное ограничение оказывает компоновка двигателя, то есть возможность и рациональность внесения конструктивных изменений в различные элементы исходной конструкции.

Оценка параметров проектируемой КС. Предварительный расчет параметров КС позволяет оценить возможность реализации выбранных концепций на первом этапе, после компоновки. Её рационально проводить, по следующим критериям:

1) Средняя скорость воздуха через отверстия в ЖТ исходной и новой конструкции:

$$V = \frac{\Sigma G_i}{\Sigma F_i} \cdot \frac{m}{c}, \quad (1)$$

где ΣG_i - суммарный расход воздуха через КС, ΣF_i - суммарная площадь отверстий в ФУ КС и ЖТ.

Данное значение определяет изменение площадей вдоль всей КС и возможность реализации запуска и стабильного горения на газе. При этом, в данном уравнении расход воздуха, в случае конверсии, остаётся постоянным.

2) Теплонапряжённость:

$$q_{жс} = \frac{G_T \cdot H_u}{V_{ж} \cdot p_B}, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{час} \cdot \text{Па}}, \quad (2)$$

Её значение определяет материалы, ресурс и требования к охлаждению ЖТ. Рекомендации по данному параметру широко приведены в литературе в зависимости от назначения установки.

3) Критерий форсирования был впервые предложен в ЦИАМ В.Е. Дорошенко. Он позволяет оценить такой параметр процесса горения как химический недожог:

$$k_v = \frac{G_B}{p_B^{1,25} \cdot T_B \cdot V_{ж}}, \frac{\text{кг}}{\text{атм}^{1,25} \cdot \text{К} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}} \quad (3)$$

4) Время пребывания ТВС в объёме жаровой трубы позволяет оценить процесс горения в КС с точки зрения протекания химических процессов, например, оценить уровни эмиссии вредных веществ:

$$\tau = \frac{V_{ж}}{V_B}, \text{ сек}, \quad (4)$$

Оценка этих параметров позволяет на первоначальном этапе определить возможность реализации в рамках исходной установки той или иной концепции КС, не прибегая к более углублённому расчёту каждого конкретного варианта.

Вывод. Задача перевода камеры сгорания малоразмерного ГТД на газообразное топливо не имеет универсального решения по причине значительного влияние компоновки установки на возможность реализации различных концепций КС. Для эффективного анализа возможностей конверсии требуется провести следующие этапы: анализ

параметров и конструкции исходной КС, компоновочные работы по ряду вариантов, оценка технологических возможностей предприятия и сроков реализации, по результатам компоновки новых вариантов КС необходимо произвести предварительный расчёт основных параметров КС. Затем необходимо провести углублённые компоновочные работы отобранных конструкторских решений, провести тепловой и гидравлический расчёт отобранных вариантов КС, произвести CFD анализ структуры потока и концентраций ТВС, произвести расчёт режимов запуска, сделать заключение о возможности реализации процесса горения в выбранной компоновке на пусковых режимах.

Список литературы

[1]. Ивах А.Ф., Гребенюк Г.П., Ишбулатов М.Н., Арефин В.И. Фокин. Н.И. Особенности конвертирования форсированной по скорости камеры сгорания при работе на природном газе // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. — 2002. — №2.

[2]. Кочеров Е.А., Росляков А.Д., Цибизиов Ю.И. Разработка конструкции камеры сгорания двигателя НК-14СТ-10 с модульными горелками // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. — 2011. — №3(27). — С.112–116.

[3]. Матвеев С.Г., Ланский А.М., Орлов М.Ю., Абрашкин В.Ю., Дмитриев Д.Н., Зубрилин И.А., Семёнов.А.В. Моделирование процессов горения пропана при переводе камеры сгорания ГТД на газообразное топливо // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. — 2011. — №9(29). — С.168–178.

[4]. Романовский Г.Ф, Сербин С.И., Ванцовский В.Г., Викул.В.В. Технология малоэмиссионного сжигания топлива в камерах сгорания газотурбинных двигателей // Энергетические и теплотехнические

процессы и оборудование. — 2005. — №6. — С.154–160.

[5]. Герамисенко В.П. О неустойчивости горения в камерах сгорания ГТД // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. — 2007. — №2. — С.83–85.

[6]. Любчик Г.Н., Варламов Г.Б., Романов В.В., Ванцовский В.Г., Викул.В.В. Результаты испытаний камеры сгорания ГТД ДГ80 с низкоэмиссионным горелочным устройством на базе трубчатых модулей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — №6(40) — С.13–178.