

«Пределные возможности» ограничиваются:

- запасами по «бедному» срыву пламени;
- полнотой сгорания топлива (которая определяет выбросы CO) особенно на пониженных режимах работы;
- требованиями по равномерности температурного поля перед турбиной.

Реализация технологии «пределных возможностей» в производстве означает ужесточение требований по точности изготовления камер сгорания и введение их контрольных испытаний, а при необходимости и доводки на автономном стенде по температурному полю перед постановкой на двигатель.

Усовершенствованная по надежности и экологическим характеристикам камера сгорания традиционной схемы двигателя НК-36СТ прошла все виды специспытаний, полный объем проверок по программе Межведомственных испытаний в составе двигателя на ГПА-Ц-25/76 Тольяттинской компрессорной станции. Нарботка без замечаний по камере сгорания более 3500 часов. Камера изготавливается серийно АО «Металлист – Самара».

УДК 621.452.32

К ПРОБЛЕМЕ ВЫБРОСА БЕНЗ(а)ПИРЕНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОПЛИВ ШИРОКОГО ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА

Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Чечет И.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Сохраняющийся уровень авиаперевозок и рост количества автомобилей не позволяют снять с повестки дня проблему загрязнения окружающей среды отработавшими газами двигателей, работающих на углеводородных топливах. В настоящее время в отработавших газах авиационных двигателей нормируется содержание окиси углерода, окислов азота, суммарных углеводородов и сажевых частиц. Вместе с тем, доля вредности ненормируемых компонентов соизмерима с суммарной вредностью указанных веществ, а при определенных условиях может и превышать ее. Существующие данные по вы-

бросам ГТД [1] свидетельствуют о значительном вкладе в суммарную токсичность полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), достигающем в зависимости от режима работы двигателя 20...40%. Индикатором присутствия ПАУ в загрязняющих веществах принято считать бенз(а)пирен (БП) как один из наиболее сильных по воздействию и стабильных канцерогенов [1].

Согласно имеющимся прогнозам, сортовой нефти для производства высококачественных бензинов и авиационных топлив при существующем уровне мировой добычи должно хватить лишь на ближайшие 30...40 лет. Впоследствии возможно использование топлив с повышенным содержанием ароматических добавок, с расширенным фракционным составом и синтетических. Перспективным направлением является также перевод транспорта на газовое топливо, запас которого (особенно с учетом водорода) более обширен, но техническая база использования которого пока не создана и требует переходного периода. При такой программе использования топлив для наземного и авиатранспорта встает вопрос о возможных последствиях для экологии окружающей среды, а, следовательно, и здоровья населения. Таким образом, выяснение влияния химического состава топлива, и в частности содержания в нем ароматических углеводородов, на образование БП является актуальной задачей.

В составе реактивных топлив присутствуют представители как моноциклических (типа бензола или толуола), так и бициклических ароматических углеводородов [2]. В связи с повышенной склонностью к нагарообразованию и дымлению их содержание в топливах ограничивается и обычно составляет: моноциклических ароматических углеводородов – не более 22%, а бициклических – не более 2...3% (по массовому содержанию). В основном же реактивные топлива состоят из парафиновых (около 50%) и близких к ним по теплотворной способности и малой склонности к образованию сажи нафтеновых углеводородов (около 30%). Исключением служат топлива Т-6, Т-8, Т-8В предназначенные для самолетов со сверхзвуковыми скоростями полета, у которых парафиновые углеводороды составляют 15...17%, а нафтеновые 77...80%. В составе парафиновых углеводородов реактивных топлив преобладают изопарафиновые, имеющие низкую температуру плавления. Их характерный представитель – изооктан.

В автомобильных топливах содержится 35...53% парафиновых углеводородов (по массовому содержанию), доля ароматических углеводородов по

сравнению с реактивными топливами повышено и достигает 35...46%.

В состав как реактивных, так и автомобильных топлив входят и ПАУ. Начальное содержание БП в реактивных топливах составляет от 1 до 20, а в автомобильных топливах 100...400 мкг БП на кг топлива.

Согласно имеющимся данным [2, 3], в альтернативных углеводородных топливах (топливах из горючих сланцев и расширенного фракционного состава) содержание моноциклических и бициклических ароматических углеводородов будет увеличено до 35...40%, приближаясь, таким образом, к величине, соответствующей их содержанию в автомобильных топливах. Аналогичный прогноз существует и для ПАУ.

Механизмы синтеза БП (и других ПАУ) предполагают, что кинетические схемы образования этих веществ из алифатических и ароматических углеводородов имеют различный характер, а БП (и другие ПАУ) является промежуточным продуктом в процессе сажеобразования. На основании этого было высказано предположение, что по аналогии с сажой выход БП должен зависеть от молекулярной структуры топлива (в частности от наличия ароматических углеводородов) и процентного содержания в нем водорода.

Проверку данного предположения проводили экспериментально на цилиндрической камере сгорания (КС) со стабилизацией пламени на плоской решетке. Распыливание, испарение и смесеобразование осуществлялось до поступления топливовоздушной смеси (ТВС) в модельную камеру сгорания. Опыты проводились при турбулентном режиме горения, времени пребывания до 10 мс, атмосферном давлении, коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 0,5$ и температуре ТВС на входе в камеру $T_0 = 500$ К.

В ходе исследования в модельной установке сжигались смесевые топлива на основе эталонного изооктана (без примесей) с соответствующими значениями добавок моно-, бициклических ароматических углеводородов и ПАУ. При расчете величин добавок учитывался состав существующих и разрабатываемых реактивных топлив.

Для изучения влияния моноциклических ароматических углеводородов в изооктан добавлялось 20 и 40% (по объему) бензола или толуола; бициклических – от 1 до 5% (по объему) α -метилнафталина; полициклических ароматических углеводородов – 100...700 мкг БП на кг изооктана. Экспериментальные данные были оформлены в виде зависимостей выхода БП ($E_{БП}$, мкг/кг топл.) от массового содержания водорода в исследуемых смесевых топливах (рис.1).

Испытания камеры сгорания проводились на двух типах топлива ТС-1 и ТС-1 с добавкой толуола (20% по объему). В связи с добавкой в ТС-1 толуола изменяются физико-химические свойства топлива. При этом, для определения $\alpha_{КС}$, стехиометрический коэффициент определялся по формуле [2]:

$$L_0 = (1 + 2g_{H_2}) / 0,087,$$

где g_{H_2} – массовая доля водорода в топливе.

Целью данного эксперимента было исследование влияния химического состава топлива на уровень выхода БП, поэтому для адекватности сравнения данных по топливам: ТС-1 и ТС-1 с добавкой толуола, необходимо иметь одинаковое качество смесеобразования, как в первом, так и во втором случаях. Это условие может быть обеспечено за счет пневматического распыливания топлива, который осуществлялся путем подачи воздуха во второй контур двухконтурной форсунки и позволял минимизировать влияние физических свойств топлива на качество смесеобразования. Одной из основных характеристик качества смесеобразования является средней заутеровский диаметр (D_{32}) [3]. Для пневматических форсунок, при больших отношениях расходов воздуха и жидкости, он практически не зависит от вязкости топлива [3], вместе с тем существенное влияние на него оказывают силы поверхностного натяжения (σ). В работе [3] показано, что $D_{32} \sim \sigma^{0,5}$. Для оценочных расчетов при пневматическом распылировании можно использовать формулу [3]:

$$D_{32} = \frac{0,585}{U_{отн}} \left(\frac{\sigma}{\rho_T} \right)^{0,5} + 53 \cdot \left(\frac{\mu_T^2}{\sigma \cdot \rho_T} \right)^{0,225} \cdot \left(\frac{G_T}{G_B} \cdot \frac{\rho_B}{\rho_T} \right)^{1,5},$$

где $U_{отн}$ – относительная скорость жидкости;

G_T, G_B – расходы жидкости и воздуха соответственно;

ρ_T, μ_T, σ – плотность, динамическая вязкость и поверхностное натяжение жидкости.

Для оценки σ использовалось соотношение [2]: $\sigma = (0,05468 \cdot \rho_{20} - 18,10) \cdot 10^{-3}$, где ρ_{20} – плотность топлива при 20 °С. Динамическая вязкость топлив (μ_T) измерялась с помощью вискозиметра Энглера. Кроме того, предполагалось, что для различных типов топлив $U_{отн}$, G_T и G_B не изменяются, а соотношение расхода вспомогательного воздуха к расходу жидкого топлива ($m = G_B/G_T$) равнялось 0,2.

Результаты измерений и расчетов показали, что для топлив ТС-1 и ТС-1 с добавкой толуола (20% по объему) изменение D_{32} составляет величину менее 5%, что говорит о не значительном изменении качества смесеобразования. Таким образом, для данной серии опытов можно оценить влияние химического состава топлива на выброс БП из экспериментальной камеры сгорания.

Измерения концентрации БП проводились по радиусу КС в ее выходном сечении (рис. 2), здесь же представлены данные для топлива ТС-1 без

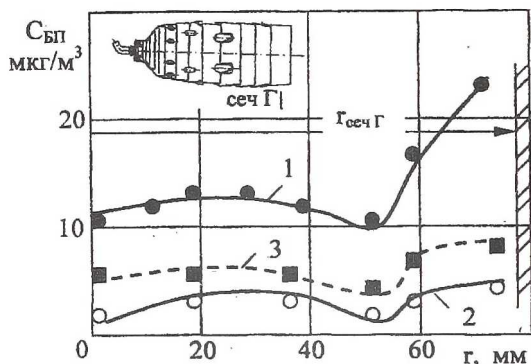


Рис. 2. Изменение концентрации БП по радиусу камеры сгорания:

1 — 80% ТС-1 + 20% толуола ($m = 0,2$);

2 — ТС-1 ($m = 0,2$); 3 — ТС-1 ($m = 0$)

использования пневматического распыливания ($m = 0$). Показано, что улучшение качества смесеобразования (для данного типа топлива: ТС-1, при изменении m от 0 до 0,2, происходит снижение D_{32} с 80 до 30 мкм) приводит к существенному падению величины $C_{БП}$ на выходе из КС как в центральной области, так и в районе стенки. При использовании стандартного топлива с добавкой толуола во всех рассматриваемых случаях наблюдается более высокий уровень концентрации БП. Последнее говорит о значительном влиянии химического состава топлива (а именно: доли ароматических углеводородов) на выброс БП (и других ПАУ) из камеры сгорания и его сопоставимости с влиянием качества смесеобразования.

Выполненное исследование свидетельствует о необходимости тщательного анализа химического состава жидких углеводородных топлив, предлагающихся в качестве альтернативных для ДВС, ГТД и ГТУ наземного применения. Особое внимание следует обращать на рост содержания ароматических углеводородов, в связи с возможным увеличением выбросов канцерогенных веществ.

использования пневматического распыливания ($m = 0$). Показано, что улучшение качества смесеобразования (для данного типа топлива: ТС-1, при изменении m от 0 до 0,2, происходит снижение D_{32} с 80 до 30 мкм) приводит к существенному падению величины $C_{БП}$ на выходе из КС как в центральной области, так и в районе стенки. При использо-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукачев С.В. Исследования закономерностей образования и выброса бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив в камерах сгорания авиационных ГТД // Изв. вузов. Авиационная техника. 1993. – №2. – С. 75...78.
2. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: Сборн. / Н.Ф. Дубовкин, В.Г. Маланичева, Ю.П. Массур, Е.П. Федоров. – М: Химия, 1985. – 240 с.
3. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. – М: Мир, 1986. – 566 с.

УДК 629.7.036:621.43.056

РЕШЕНИЕ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СГОРАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С УЧЕТОМ БАЛЛАСТИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ВОЗДУХЕ

Стародубцев В.В., Сыченков В.А., Янковский В.М.

КГТУ им. А.Н.Туполева, г. Казань

Основное направление в разработке и создании перспективных газотурбинных двигателей связано с повышением температуры газов перед турбиной. В работе представлена методика расчета энергетических и эмиссионных характеристик высокотемпературной камеры сгорания при горении стехиометрической топливовоздушной смеси. Методика основана на решении уравнения реакции горения с учетом наличия в продуктах сгорания балластирующих газов.

В настоящее время проектирование перспективных камер сгорания (КС) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) характеризуется стремлением к повышению температуры сгорания топлива и снижением выброса токсичных веществ, таких как угарный газ (СО), несгоревшие углеводороды (СН), окислы азота (NO_x) и сажа, которые нормируются стандартом ИКАО [1]. Параметры, которые характеризуют КС как энергетическую машину, должны отвечать предъявляемым к ним требованиям. К ним относятся высокая полнота сгорания топлива, которая определяет экономичность ГТД, минимальные потери полного давления и габаритные размеры КС, устойчивая работа на всех режимах без срыва пламени и вибрационного горения, обеспечение заданной радиальной эпюры и неравномерности поля температуры на выходе из КС, минимальный уровень выброса (эмиссии) токсичных ве-