

УДК 621.452.3.034

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОТОПЛИВНОЙ СМЕСИ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

©2013 А. Ю. Васильев, Р. С. Медведев, О. Г. Челябин

Центральный институт авиационного моторостроения
им. П.И. Баранова (ЦИАМ), г. Москва

Проведено экспериментальное изучение процессов горения, протекающих при сжигании как стандартного авиационного, так и альтернативного топлива (биотоплива). Исследованы пределы устойчивого горения в отсеке камеры на традиционном топливе, а также на биотопливе и этиловом спирте. В результате схема сжигания топлива показала свою работоспособность, а результаты работы обеспечили выполнение необходимых условий для решения практических инженерных задач.

Горение, биотопливо, срыв пламени, отсек, камера сгорания, стабилизаторы пламени, объёмный расход, коэффициент избытка воздуха.

Современные экономические мировые тенденции заставляют ведущие державы вести поиск альтернативных источников энергии, в частности, расширять сферу применения биотоплив. Учитывая растущий дефицит нефти и тенденции повышения экологических требований, это направление имеет большие перспективы. При использовании биотоплив уменьшается дымность отработавших газов, содержание в них твёрдого углерода, окиси углерода и серы, а также снижается пагубное влияние на атмосферу в целом за счёт благотворного влияния на неё посевных площадей. К тому же, в случае перехода на альтернативные топлива гражданской авиации (например, Евросоюза), Россия должна быть готова к использованию данных видов топлива на своих воздушных судах, так как перевозка двойного запаса собственного топлива для полёта в обе стороны экономически затратна, как и заказ неосновного аэродромного топлива. Из стран СНГ такие работы активно ведутся на Украине и в Белоруссии. В России работы в данном направлении ведутся недостаточно активно.

В свете вышеизложенного предлагаемый проект достаточно актуален. Он является пионерным в России и соответствует передовым тенденциям зарубежной науки и техники. В основу проекта

положено предположение о возможности последовательного изучения влияния полученных экспериментальных характеристик на процессы сжигания жидких топлив.

Альтернативные виды топлива обладают физическими свойствами, несколько отличными от привычного авиационного керосина марки ТС-1. Влияние этих свойств на комплекс процессов, протекающих при сжигании жидких нефтяных и биотоплив, и описывается в статье.

В качестве альтернативных видов топлива в данной работе были выбраны этиловый спирт и смесевое биотопливо на основе авиационного керосина (как наиболее близко относящееся к ГТД). Использование промышленно полученного биотоплива (авиационного) на территории России на сегодняшний день не представляется возможным, так как единственная экспериментальная установка по производству подобного типа топлив (компания «Роснефть») выдаёт продукцию с себестоимостью около 1 млн. рублей за литр жидкости. Именно по этой причине в лаборатории отдела ЦИАМ самостоятельно были получены опытные образцы различных видов биотоплив.

В табл. 1 представлены различные варианты процентного соотношения компонентов проверенных горючих смесей на

основе содержания касторового масла и этанола. Касторовое масло необходимо в качестве ПАВ для растворения этанола в топливе. Основным компонентом были выбраны распространённые на террито-

рии России виды жидких топлив: авиационный керосин ТС-1, бензин АИ-95 и дизельное топливо.

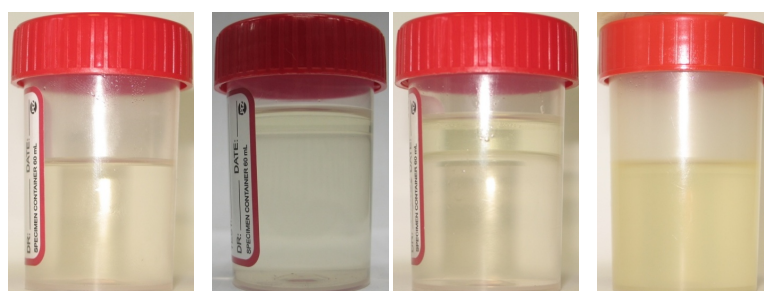
В качестве примера на рис.1 приведены фотографии смесей № 1-2А.

Таблица 1. Варианты состава исследуемых смесей

	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №2А	Вариант №3	Вариант №4
Керосин ТС-1	10%	30%	40%	50 %	80%
Масло касторовое	10%	10%	20%	10%	10%
Этанол	80%	60%	40%	40%	10%

	Вариант №5	Вариант №6	Вариант №7
Бензин 95	80%	85%	10%
Масло касторовое	10%	-	
Этанол	10%	15%	90%

	Вариант №8	Вариант №9	Вариант №10
Керосин ТС-1	40%	30%	50%
Рыжиковое масло	20%	10%	10%
Этанол	40%	60%	40%



а

б

в

г

Рис.1. Фотографии различных вариантов соотношения компонентов:

а – вариант №1; б – вариант №2; в – вариант №2 (дизельное топливо); г – вариант №2А

В ходе анализа образцов выявлено, что применение различных соотношений исходного топлива, этилового спирта и касторового масла показывают разительно отличные друг от друга результаты, а получить хорошо перемешанную однородную смесь возможно лишь при некоторых узких диапазонах процентного соотношения компонент. Для дальнейших испытаний был выбран вариант №2А (рис. 1, г), так как было подобрано оптимальное соотношение компонент без их оседания на дне и расслоения. Варианты №1 (рис.1, а), варианты №5 и №7, также показавшие хороший уровень смешения, отличаются большим содержанием этилового

спирта, керосина либо бензина АИ-95 (до 90%), что с точки зрения экономической целесообразности внедрения нового вида топлива невыгодно.

После обоснования актуальности данной тематики и выбора вида биотопливной смеси авторами были проведены горячие испытания по определению пределов устойчивого горения альтернативных топлив в высотных условиях. Испытания проведены на экспериментальном стенде ЦИАМ УВ-20 для отработки запусков отсеков камер сгорания. Путём регулирования объёмного расхода воздуха через жаровую трубу достигались различные режимы работы камеры сгорания. В

данном случае 2-канальная комбинированная горелка была установлена во фронтальной плите жаровой трубы (рис. 2) с подключённым только центробежным каналом подачи топлива. Испытания были

направлены на определение границ бедного и богатого срывов, определение пределов устойчивой работы камеры сгорания на различных видах биотоплив.



Рис. 2. Экспериментальный образец жаровой трубы

Для проведения огневых испытаний были выбраны 3 типа горючих смесей: авиационный керосин марки ТС-1, смесь №2А и этиловый спирт. Керосин был выбран в качестве сравнения полученных данных с проведёнными испытаниями и как основной вид авиационного топлива. Розжиг камеры проводился штатным пусковым устройством. Запуски проводились при работе горелки на первом канале, расход топлива варьировался от 1 до 5,7 г/с. С помощью аппаратуры фото- и видеофиксации через окно, расположенное в барокамере на выходе из газосборника, фиксировались запуски и срывы пламени. По результатам испытаний получены эпюры срывных характеристик камеры сгорания при различных α и объёмном расходе. Графики зажигания и срывов пламени приведены ниже на рис. 3 - 9.

Границы срыва определялись лишь на одном пусковом канале. Можно предположить, что подключение второго канала горелки позволит еще больше расширить зону устойчивой работы камеры. Границы срывов получены при разрежении в камере $P_k^* = 0,08$ МПа, что соответствует по ГОСТ 4401-81 высоте порядка 2

км. Срывные характеристики в земных условиях должны быть как минимум не хуже полученных.

Исследования пределов устойчивого горения в отсеке камеры на традиционном топливе (рис. 3) показали, что камера устойчиво работает в диапазоне α_k от 1 до 10 и до объёмного расхода $0,4$ м³/с.

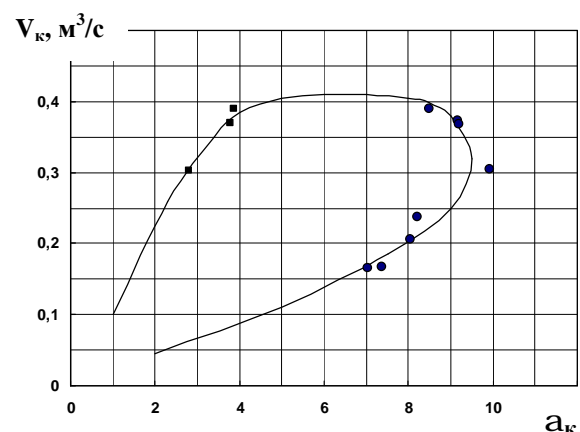


Рис. 3. Граница зажигания и срыва пламени для керосина ТС-1:

- – бедный срыв; ■ – богатый срыв;
- – область устойчивого горения

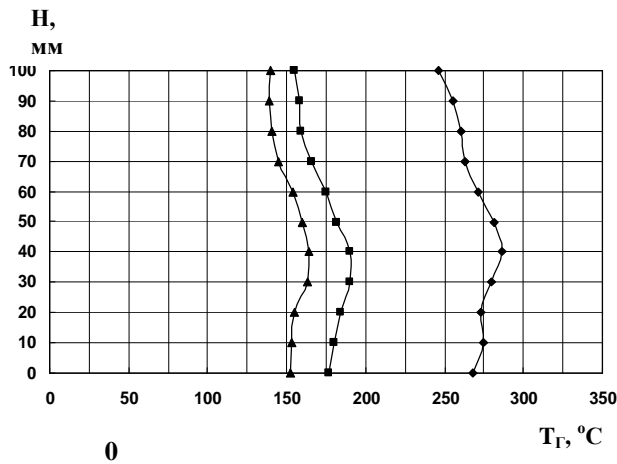


Рис.4. Этюра распределения температуры по высоте газосборника камеры сгорания при различных α для керосина:
 —◆— - $\alpha=3,5$; —■— - $\alpha=5$; —▲— - $\alpha=6,3$

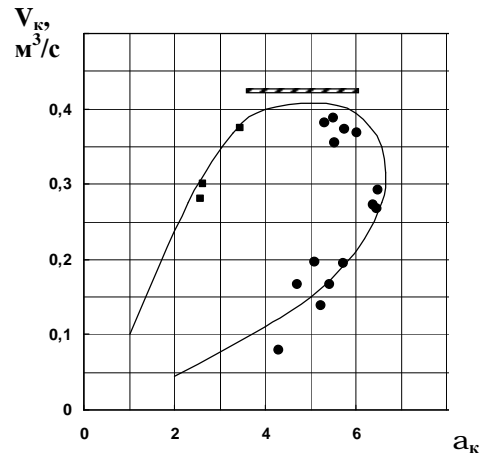


Рис. 5. Граница зажигания и срыва пламени для биотоплива:
 ● – бедный срыв; ■ – богатый срыв;
 — - область устойчивого горения

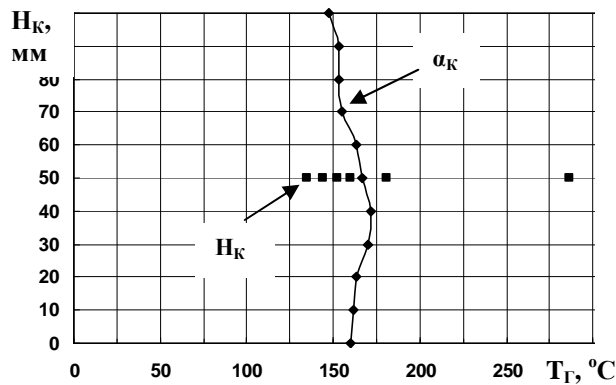


Рис.6. Распределение температуры по диаметру камеры сгорания для биотоплива

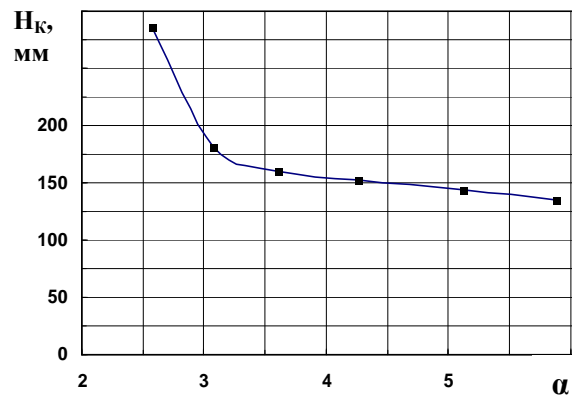


Рис.7. Распределение температуры по оси камеры сгорания для биотоплива при различном α и $H_k=50$ мм

При переходе на биотопливо (рис. 5) уменьшается диапазон α_k с 10 до 6,5 при сохранении максимального объёмного расхода. Изменился цвет пламени при сохранении общей его структуры. Из сравнения рис. 4 и 6, 7 легко заметить, что достичь максимальной температуры пламени в 290 °С на выходе из газосборника на биотопливе удаётся лишь при увеличении массы впрыскиваемого топлива (изменение α_k с 3,5 до 2,6). Из рис. 7 следует, что при работе камеры сгорания на выбранной смеси №2А на оси устройства при $\alpha_k=3,6$ этюра распределения температуры имеет максимальное значение 160 °С, причём если увеличить альфа до 6, то

температура остаётся практически неизменной. Это говорит о том, что изменение расхода топлива через форсунку не влияет на температурное поле.

Таким образом, при переходе на работу устройства с использованием данного модельного топлива необходимо заранее предусмотреть ряд мероприятий: ввести в конструкцию искусственные стабилизаторы пламени для сохранения пределов устойчивой работы камеры; оптимизировать систему впрыска топлива и смешения его с воздухом с целью уменьшения мелкости капель до уровня керосиновой смеси для сохранения КПД и полноты сгорания в камере.

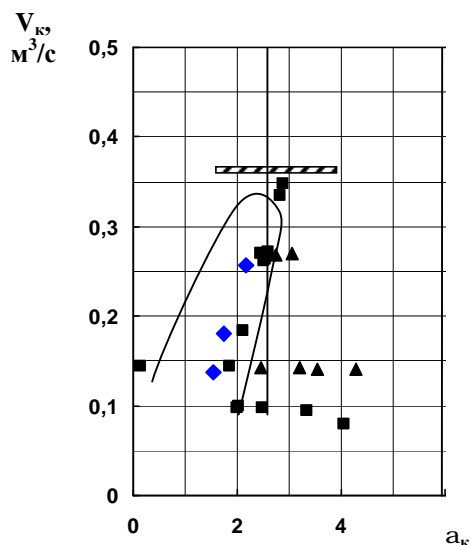


Рис.8. Границы зажигания и срыва пламени при работе камеры сгорания на этиловом спирте:

- – срыв; ▲ – камера не работает;
- ◆ – камера работает

Для варианта с этиловым спиртом граница срыва опустилась до значения $\alpha_k=3$ (рис. 8), а сама камера устойчиво работает лишь при больших расходах топлива при $\alpha_k \sim 1,8$. Связано это с тем, что спирт обладает большей летучестью, чем другие жидкие топлива, и тем самым быстрее всего сгорает, не успев распространиться на большой объем фронта пламени. Максимальное значение температуры достигает порядка 300°C при $\alpha_k=2,1$ (рис. 9).

В связи с изложенным применение этанола как альтернативного вида топлива не представляется на сегодняшний день возможным, как минимум, без применения специальных топливных присадок.

Заключение

Проведено экспериментальное изучение процессов горения, протекающих при сжигании, как стандартного авиационного топлива, так и биотопливной смеси. Данная смесь была разработана и испытана. Исследования пределов устойчивого горения в отсеке камеры сгорания газотурбинного двигателя на традицион-

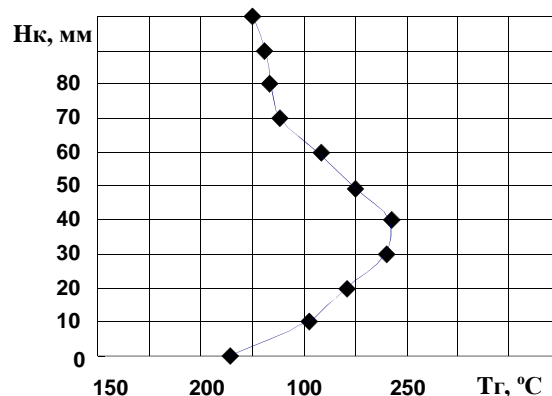


Рис.9. Распределение температуры по диаметру камеры сгорания для этилового спирта при $\alpha_k=2,1$

ном топливе показали, что камера устойчиво работает в диапазоне α_k от 1 до 10 и до объемного расхода $0,4\text{ м}^3/\text{с}$. Границы срывов получены при разрежении в камере $P_k^*=0,08\text{ МПа}$, что соответствует по ГОСТ 4401-81 высоте порядка 2 км.

При переходе на биотопливную смесь уменьшается диапазон устойчивой работы по α_k до 6,5 при сохранении максимального объемного расхода. Достичь максимальной температуры пламени в 290°C на выходе из газосборника на биотопливе удастся лишь при изменении α_k с 3,5 до 2,6.

Таким образом, при применении биотопливной смеси вместо стандартного авиационного керосина необходимо ввести в конструкцию искусственные стабилизаторы пламени для сохранения пределов устойчивой работы камеры сгорания на прежнем уровне и модернизировать систему впрыска топлива с целью уменьшения мелкости капель до уровня керосиновой смеси для сохранения полноты сгорания топлива.

Библиографический список

1. Lefebvre, A.H. Gas Turbine Combustion. Hemisphere Publishing corporation. - Washington, New York, London. 1985 / рус. пер. Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД [Текст] / А. Лефевр. М.: Мир, 1986. – 566 с.

2. Дубовкин, Н. Ф. Справочник по углеводородным топливам и их продуктам сгорания. [Текст] / Н.Ф. Дубовкин. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 288 с.

3. Законы горения [Текст] / под общ. ред. Ю.В. Полежаева. – М.: Энергомаш, 2006. – 352 с.

**PECULIARITIES OF APPLICATION OF BIOFUEL MIXTURE
IN COMBUSTION CHAMBERS OF MODERN GAS TURBINE ENGINES**

©2013 A. J. Vasilyev, R. S. Medvedev, O. G. Chelebyan

Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, (Moscow)

An experimental study of combustion processes occurring during the combustion of both standard aviation fuel and alternative fuels (biofuels) is carried out. The range of steady-state combustion in the compartment of a chamber working on fossil fuel as well as on biofuel and ethanol is investigated. As a result, the scheme has shown its combustion efficiency, and the results have provided the necessary conditions for the solution of practical engineering problems.

Burning, biofuels, flameout, combustion chamber, flame holders, volumetric flow rate, excess air ratio.

Информация об авторах

Васильев Александр Юрьевич, кандидат технических наук, начальник сектора ЦИАМ. E-mail: vasiliev@ciam.ru. Область научных интересов: комбинированные форсуночные модули, пневматические форсунки, визуализация потоков.

Медведев Роман Сергеевич, инженер, начальник сложного экспериментального стенда ЦИАМ УВ-20 для отработки запусков отсеков камер сгорания. E-mail: perform1988@mail.ru. Область научных интересов: процессы горения, камеры сгорания.

Челебян Оганес Грачьяевич, младший научный сотрудник ЦИАМ. E-mail: oganeschelebyan@mail.ru. Область научных интересов: камеры сгорания, распыливание топлива, пневматические форсунки.

Vasilyev Aleksandr Yurievich, Candidate of Sciences (Engineering), Head of Sector, CIAM. E-mail: vasiliev@ciam.ru. Area of research: combustion chambers, combined sprayer modules, pneumatic nozzles, flow visualization.

Medvedev Roman Sergeevich, engineer, Head of the CIAM Complex Experimental Test Bed for the optimization of starting compartments of combustion chambers. E-mail: perform1988@mail.ru. Area of research: processes of combustion, combustion chambers.

Chelebyan Oganesh Grachyaevich, Junior Researcher, CIAM. E-mail: oganeschelebyan@mail.ru. Area of research: combustion chambers, fuel atomization, pneumatic nozzles.