

УДК 621.452.3.034

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПЫЛА ТОПЛИВА И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА “НК”

© 2002 А. Ю. Васильев, А. И. Майорова, А. А. Свириденков,
В. В. Третьяков, В. И. Ягодкин

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

Экспериментально определены характеристики течения воздуха и топливного факела на выходе из фронтального устройства (модуля) камеры сгорания двигателей типа “НК”, на основе которых сделан вывод об оптимальной настройке топливных коллекторов для получения наилучшего распыливания топлива на режиме малого газа.

1. Введение

Эмиссионные характеристики камер сгорания в значительной степени зависят от типа и характеристик смесеобразования топливо-воздушной смеси. На режиме малого газа, когда испарение жидкого топлива еще лимитирует время горения, одним из средств улучшения полноты сгорания топлива является улучшение качества распыливания (мелкости капель). Главным способом получения более мелких капель является выбор режима малого газа с повышенными значениями давления и температуры. Однако это повышение ограничено условиями работы двигателя, и поэтому необходимы иные пути, связанные с выбором конструкции фронтального устройства и его настройки, например, путем перераспределения топлива по различным коллекторам. Отсюда возникает задача более глубокого исследования процесса распыливания с целью определения оптимальных условий его работы и использования этих данных при настройке коллекторов.

Современные смесительные модули представляют собой сложные форсунки с комбинированным способом распыливания: механическим - центробежной или струйной форсункой, и пневматическим - закрученным потоком воздуха. Они содержат множество геометрических и физических параметров, что затрудняет чисто расчетное, а также и экспериментальное исследование вариантов. В частности, обычный осевой сдвиг центробежной форсунки внутри смесительного модуля оказывает существенное влияние на форму и дисперсность топливо-воздушного факела: угол, средний зауэровский диаметр

капель, концентрацию топлива и др. [1]. Обычно эти характеристики немонотонны как по величине сдвига распылителя, так и по величинам перепадов топлива и воздуха. Можно предположить, что это связано с неавтомодельностью первичного топливного факела внутри смесителя (изменение угла, времени распада пленки топлива) и, соответственно, с изменением количества топлива, попадающего на кромку сопла модуля, его срывом и дроблением закрученным потоком воздуха. При заданных режимах малого газа и конструкции смесительного устройства, по-видимому, существуют оптимальные условия подачи топлива, при которых процесс смесеобразования является наилучшим. Поиску этих условий посвящена настоящая работа.

Схема исследуемого модуля с комбинированным способом распыла приведена на рис. 1.

Исследования проводились с применением оптических методов измерения размеров и концентрации капель топлива (ТС-1) и визуализации топливо-воздушного факела в лазерном ноже. Условия малого газа моделировались при атмосферном давлении и комнатной температуре путем соответствующего изменения перепада давления воздуха на модуле.

2. Выбор параметров испытаний и результаты

Как следует из введения, сложность взаимодействия потоков топлива и воздуха не позволяет строго моделировать процессы при переходе от истинных параметров малого газа ($P_k = 6$ ата, $T_k = 540$ К, $\alpha = 5,2$, $G_T = 650$ кг/час)

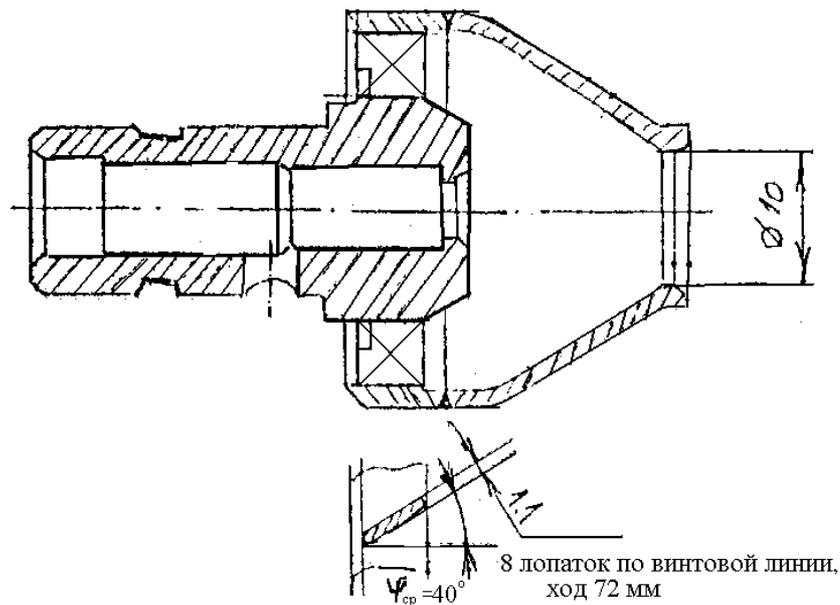


Рис. 1. Схема модуля фронтального устройства типа НК

к параметрам, допустимым при работе на стенде. Обычно делаются различные предположения о влиянии перепада воздуха на фронтальном устройстве, точнее на отдельном модуле, на характеристики распыливания. Одно из них – определяющее влияние числа

Вебера по воздуху $\frac{\rho_g \cdot U_r^2 \cdot h}{\sigma}$ (ρ_g - плотность,

σ - коэффициент поверхностного натяжения, h – толщина жидкой пленки), связанного с перепадом ΔP_g , вычисляемым из условия

$\Delta P_g = \delta \cdot P_k$. Здесь δ - коэффициент потерь полного давления (обычно изменяется в диапазоне = 0,03...0,05), P_k - давление на режиме малого газа. Индекс g здесь и далее обозначает распыливающий воздух, T – топливо. Таким образом, на стенде при $P_g = 1$ можно выбрать $\Delta P_g \approx 18...30$ кПа. Однако эти величины, вероятно, сильно завышены, так как в условиях пневматического распыливания плотность среды, по крайней мере до P_k малого газа, не оказывает заметного влияния на мелкость капель [2÷4], т. е. определяющей является относительная скорость воздуха $U_r = U_B - U_T$ (или число Вебера

по топливу $\frac{\rho_T \cdot U_r^2 \cdot h}{\sigma}$). Таким образом, при

малой скорости струи топлива моделируемый

перепад давления $\Delta P_g = \delta \cdot P_g \cdot \frac{T_g}{T_k} \approx 6...10$ кПа.

Из этих соображений в испытаниях был выбран следующий диапазон перепадов: $\Delta P_g = 6, 9, 12$ и 15 кПа. Точное значение ΔP_g может быть выбрано только в испытаниях камеры или его отсека.

Аэродинамические измерения осевой скорости пневмометрическим зондом выполнены для расстояний от кромки сопла модуля: $x = 10, 15, 20, 30, 35$ мм. И по ним была определена длина зоны обратных токов $L_{обр} \approx 35$ мм и форма кольцевой струи. Максимальный угол струи составил около 60° . Это означает, что эквивалентная геометрическая характеристика модуля, рассматриваемого как газовая горелка, близка к $A \approx 1$, т. е. слой воздуха на выходе из сопла (вне зоны обратных токов) приблизительно равен $2,5$ мм. Типичное распределение профиля продольного компонента скорости показано на рис. 2.

Распыливание топлива изучалось в двух вариантах: 1 - без воздуха и без конуса модуля; 2 – с конусом в составе модуля и при подаче воздуха.

В первом варианте фотографировались факелы распыливания топлива при освеще-

нии лазерным ножом для перепадов давления топлива, когда наблюдалось увеличение коэффициента расхода ($\Delta P_T = 1...3$ ата). На рис. 3 видно, что в этом диапазоне факел расширяется.

Во втором варианте выполнено исследование зависимостей среднезаутеровского диаметра капель топлива \overline{D}_{32} от P_T в этом диапазоне перепадов и при $\Delta P_6 = 6...15$ кПа при $x = 30$ мм (рис. 4). Величины \overline{D}_{32} уменьшаются с ростом ΔP_6 и немонотонно зависят от P_T . Следует отметить, что существует оптимальное значение $\Delta P_T \approx 1,6$ ата для всего диапазона ΔP_6 . Изменение \overline{D}_{32} наиболее заметно при $\Delta P_6 = 9...12$ кПа, где оно составляет около 1,6.

3. Заключение и обсуждение результатов

Преимуществом многофорсуночной схемы камеры сгорания является наличие двух топливных контуров, позволяющее изменить режим работы форсунок, перераспределяя топливо в контуры так, чтобы на режиме малого газа можно было добиться

уменьшения выбросов СО и СН. Согласно полученным результатам (рис. 4), наилучшее условие распыливания соответствует небольшому перепаду топлива $\Delta P_{\text{топт}} \approx 1,65$ ата, когда было зафиксировано уменьшение размеров капель в 1,6 раза при $\Delta P_6 = 12$ кПа (кривая 2), т. е. соответствующее уменьшение времени их испарения. Для того чтобы реализовать оптимальную работу камеры, должны быть выполнены следующие процедуры. После запуска двигателя на пусковом топливном контуре при приближении к режиму малого газа топливо должно быть переключено на основной контур ($\approx 30\%$ расхода), а пусковой отключен. Тогда, согласно данным настройки топливных контуров на режиме малого газа, все форсунки основного контура будут работать в оптимальном режиме.

Важным результатом измерений \overline{D}_{32} является слабая зависимость оптимального перепада давлений $\Delta P_{\text{топт}}$ от перепада давлений воздуха, т. е. от некоторой неопределенности моделирования режима малого газа.

Это можно объяснить тем, что взаимодействие топливного факела из центробежной форсунки с закрученным потоком возду-

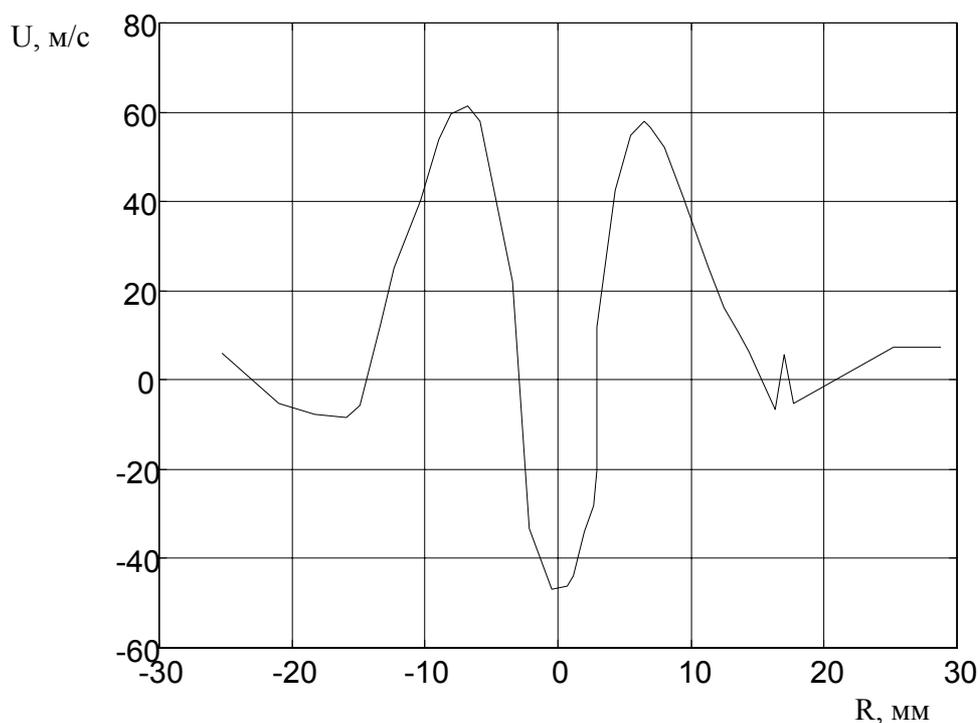


Рис. 2. Радиальное распределение продольного компонента скорости за фронтальным устройством на расстоянии 15 мм от форсунки

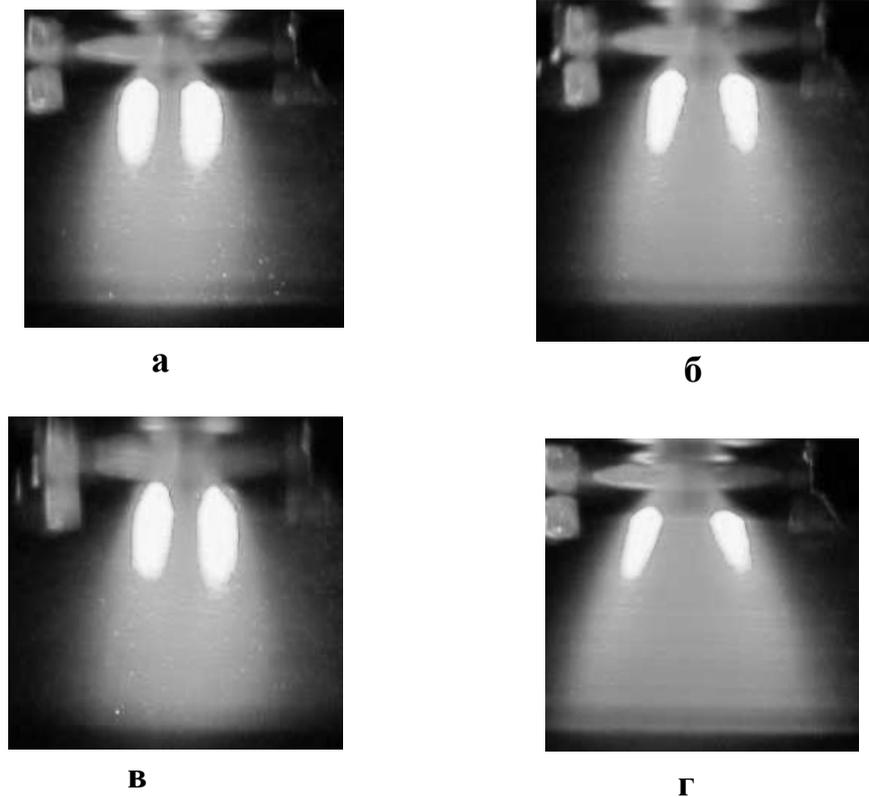


Рис. 3. Форма факела распыла без подачи воздуха через форсуночный модуль:
 а - $\Delta P_T = 1,0 \text{ ата}$; б - $\Delta P_T = 1,5 \text{ ата}$; в - $\Delta P_T = 2,0 \text{ ата}$; г - $\Delta P_T = 3,0 \text{ ата}$

ха в форсуночном модуле происходит лишь в тонком слое воздуха у выхода из сопла.

Однако существует еще неопределенность, связанная с влиянием увеличения плотности газа на уменьшение угла топливного факела [3], обнаруженная при распыливании топлива в свободном пространстве. Условия внутри модуля существенно отличаются по распределению давления вокруг факела, и поэтому изменение угла может быть несколько иным. Но если такое уменьшение угла остается, то в условиях малого газа потребуются дополнительная коррекция $\Delta P_{\text{топт}}$ в сторону его увеличения. Соответственно должен измениться закон регулирования топлива или должно уменьшиться число пусковых форсунок.

4. Выводы

В результате испытаний форсуночного модуля камеры сгорания двигателей типа “НК”

1. Обнаружена немонотонная зависимость среднего размера капель \overline{D}_{32} от перепада давлений топлива на форсунке при раз-

личных перепадах давлений воздуха на фронтальном устройстве, имитирующем режим малого газа двигателя типа “НК”.

2. Найдено оптимальное значение перепада давления топлива ($\Delta P_T \approx 1,2 \dots 1,6 \text{ ата}$ в зависимости от перепада давлений распыливающего воздуха) через один форсуночный модуль камеры сгорания, обеспечивающее уменьшение среднего размера капель примерно на 40 %.

3. Предполагаемое улучшение эмиссионных характеристик камеры при соответствующей настройке топливных коллекторов должно в среднем давать такое же уменьшение выбросов CO и CH в результате уменьшения времени испарения топлива.

4. Дано физическое объяснение полученных характеристик на основе лазерной визуализации двухфазного потока на выходе из форсунки и форсуночного модуля. Изменение угла топливного факела внутри модуля при изменении давления подачи топлива приводит к образованию пленки из фракции крупных капель на стенке и ее последующему дроблению в тонком слое закрученного

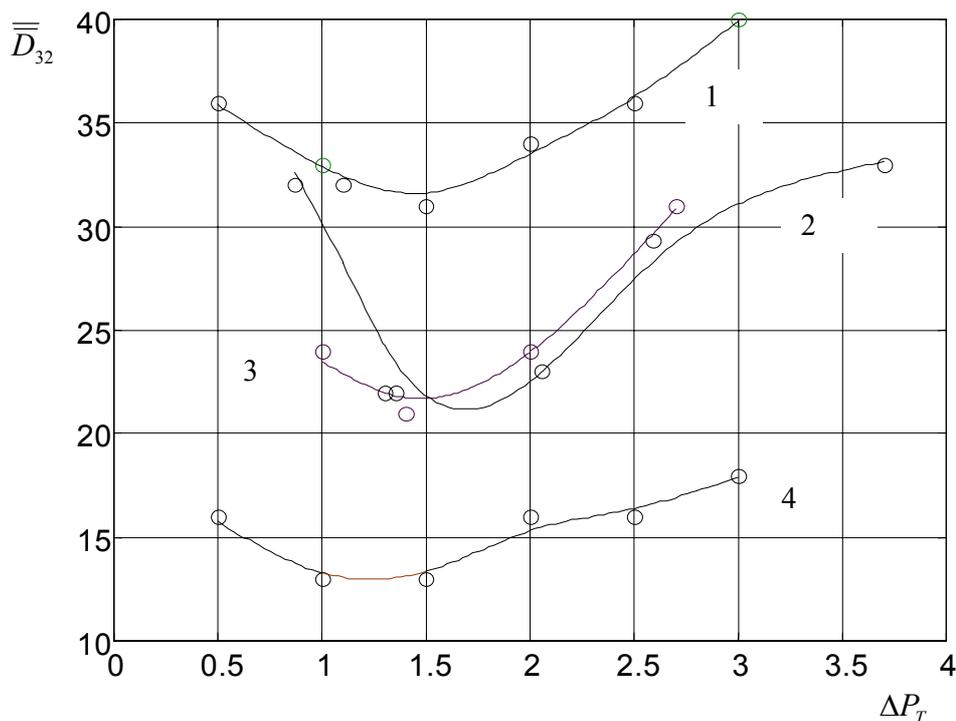


Рис. 4. Зависимость среднего размера капель распыленного керосина от давления подачи топлива при различных перепадах воздуха на модуле:

1 - $\Delta P_g = 15$ кПа, 2 - $\Delta P_g = 12$ кПа, 3 - $\Delta P_g = 9$ кПа, 4 - $\Delta P_g = 6$ кПа

потока воздуха. В зависимости от доли и размера капель, попадающих на \overline{D}_{32} стенку, можно получить на выходе многофорсуночного модуля капли больших или меньших размеров.

Список литературы

1. Yeoung Min Han, Woo Seok Seol, Dae Sung Lee, Victor I. Yadodkin, In Seuck Jeung. Effect of Fuel Nozzle Displacement on Pre-filming Airblast Atomization. Int. Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition, Stockholm, Sweden – June 2 – June 5, 1998.

2. O'Shaughnessy, P.J., Bideau, R.J., and Quing-ping Zheng, 1998, "Injector Geometry Effect in Plain Jet Airblast Atomization", ASME, 9867-445.

3. Zheng Q-P., Jasuja A.K. and Lefebvre, A.H., 1997, Structure of Airblast Sprays under High Ambient Pressure Conditions, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol 119, No 3, pp. 512-518.

4. Lefebvre, A.H., 1992, "Energy Consideration in Twin-fluid Atomization", Journal of Engineering Gas Turbine and Power, Vol. 114, pp. 89-96.

INVESTIGATION OF FUEL SPRAYING AND MIXING IN THE HEAD OF NK-TYPE ENGINE COMBUSTOR

© 2002 A. Yu. Vassiliev, A. I. Mayorova, A. A. Sviridenkov, V. V. Tretyakov, V. I. Yagodkin

Central Institute of Aircraft Engine Construction named after Baranov, Moscow

Characteristics of air flow and fuel spray as they leave the frontal device (module) of NK-type engine combustor are determined experimentally. On the basis of these characteristics a conclusion is made about the optimal setting of fuel collectors to obtain the best fuel spraying in the low gas mode.