

камере с достаточной интенсивностью и обеспечить вполне приемлемую теплонапряженность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.Р., Лебедев А.Б., Секундов А.Н., Смирнова И.П. Расчет турбулентного диффузионного факела горения с учетом пульсаций концентрации и архимедовых сил. // Изв. АН СССР, МЖГ №1, 1977. – с. 32...40.
2. Бурико Ю.Я., Лебедев А.Б. Экспериментальное и расчетное исследование диффузионного турбулентного горения в спутном потоке в канале. // Технический отчет ЦИАМ №8570. – М.: ЦИАМ, 1978.
3. Зайцев С.А., Лебедев А.Б. Анализ турбулентного смешения при диффузионном горении струй в каналах и при пористом вдуве в пограничном слое. // Технический отчет ЦИАМ №10229. – М.: ЦИАМ, 1988.
4. Козлов В.Е., Лебедев А.Б., Мазо А.С., Секундов А.Н., Смирнова И.П. Двухпараметрическая модель турбулентности для описания свободных и пристеночных течений. // Технический отчет ЦИАМ №11270. – М.: ЦИАМ, 1988.

УДК 621.438.056 / 438

## ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ В ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ФОРСУНКАХ НА КОЭФФИЦИЕНТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОРЕНИЯ

Данильченко В.П., Савченко В.П., Ярославцев В.Г.

*ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара*

Создание высокофорсированных камер сгорания основано на повышении интенсивности процесса горения, требующей комплексной увязки, как правило, противоречивых положений, определяющих экономичность, гидравлическое сопротивление, надежность теплового состояния конструкции камеры сгорания, топливосжигающих устройств и т.д.

Среди большого разнообразия конструкций горелочных устройств значительное место занимают горелки предварительного смешения [1]. По опыту организации горения в промышленных топочных устройствах высокая эффективность процесса горения реализуется за счет турбулентного массообмена в туннелях при отношениях диаметров туннеля и сопла  $D/d = 2,5 \dots 4,5$ . Возникшая рециркуляция продуктов сгорания к корню факела нагревает свежую

газовоздушную смесь, повышает эффективность горения, также улучшает стабилизирующие свойства пламени.

Ввиду больших расходонапряженностей камер сгорания ЖРД, выполненных по замкнутой схеме, применение указанного способа интенсификации турбулентного горения при  $D/d \geq 2,5$  ограничивается ростом гидравлических потерь. Поэтому при организации частичного внутрифорсуночного смешения компонентов топлива применяются значительно меньшие величины отношения  $D/d$ , чем указанные в работе [1] ( $D/d = 2,5$ ).

На рис. 1 приведена схема двухкомпонентной струйно-центробежной форсунки с отношением  $D/d = 1,28 \dots 1,4$ . По центральному каналу подается окислительный газ, жидкое горючее подводится тангенциально, создавая пленку жидкости, охлаждающую стенку форсунки. На длине  $\Delta$  происходит динамическое взаимодействие компонентов топлива и, как показал анализ, частичное сгорание смеси.

Как видно из рис. 2, при увеличении длины  $\Delta$  из-за частичного внутрифорсуночного сгорания смеси происходит увеличение коэффициента гидрав-

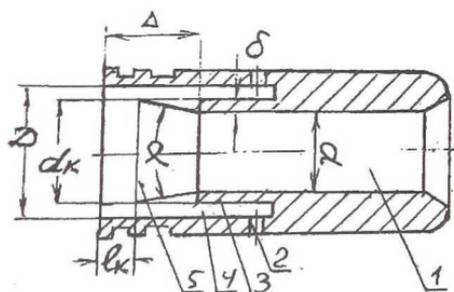


Рис. 1. Схема двухкомпонентной струйно-центробежной форсунки:

1 – центробежный канал (сопло) подачи окислительного газа (диаметр  $d$ ), 2 – тангенциальные отверстия подачи жидкого горючего, 3 – разделительная втулка, 4 – кольцевой канал горючего, 5 – камера смешения – туннель (диаметр  $D$ ),  $\Delta$  – длина камеры смешения,  $l_k$  – длина контакта компонентов,  $d_k$  – диаметр жидкой пленки,  $\alpha$  – угол свободного расширения газовой струи

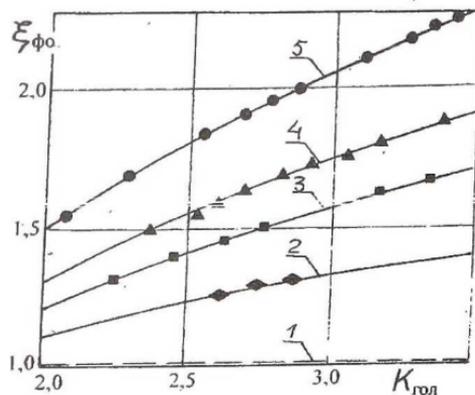


Рис. 2. Влияние длины камеры смешения

$\Delta$  и соотношения расходов компонентов топлива  $K_{гол}$  на коэффициент сопротивления форсуночной головки по тракту подачи окислительного газа:

1 –  $d = 14,5$  мм,  $\Delta = 0$ ; 2 –  $d = 14,5$  мм,  $\Delta = 20$  мм; 3 –  $d = 16$  мм,  $\Delta = 20$  мм; 4 –  $d = 16$  мм,  $\Delta = 30$  мм; 5 –  $d = 16$  мм,  $\Delta = 30$  мм, диффузорный канал

лического сопротивления тракта окислительного газа больше чем в 2 раза по сравнению с данными продувки форсуночных головок без горения. Такой же уровень повышения коэффициентов гидравлического сопротивления происходит и по линии подачи жидкого горючего.

Проведенные модельные огневые испытания указанных форсуночных головок на компонентах: нагретый до  $200^{\circ}\text{C}$  воздух и смесь испаренного топлива с воздухом (при составе  $\alpha = 0,08 \dots 0,1$ ) показали, что при снижении химической активности смеси, при низком уровне давления в камере и при температуре окислителя существенно ниже чем в натуральных условиях, повышение коэффициента сопротивления по линии окислителя составляет значительно меньшую величину:  $1,2 \dots 1,4$ .

На рис. 3 приведены результаты обработки экспериментальных данных по гидравлическим потерям в форсунке по тракту подачи окислительного газа от относительной длины контакта компонентов топлива, определенной в

Рис. 3. Обобщение экспериментальных данных по влиянию относительной длины контакта компонентов топлива на коэффициент гидравлического сопротивления форсунок по тракту подачи окислительного газа:

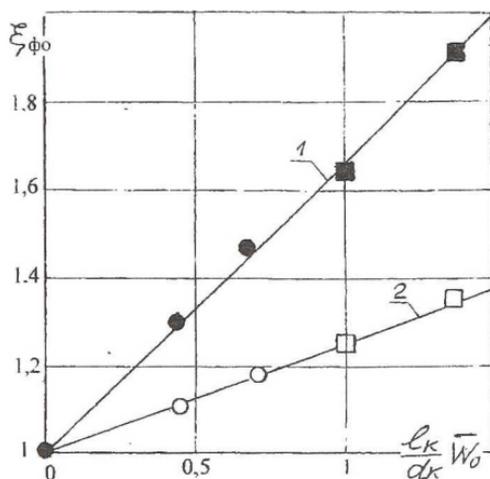
1 – натурные испытания  $\bullet, \square$ ;

2 – модельные испытания  $\circ, \square$ ;

$\bullet, \circ - d = 14,5 \text{ мм}$ ,

$\square, \square - d = 16 \text{ мм}$

$$\bar{W}_0 = W_{16}/W_{14,5}$$



следующем виде:  $1_r = \Delta - \delta/\text{tg}(\alpha/2)$ . Угол свободного расширения газовой струи принят равным  $\alpha = 14^{\circ}$ . Видно, что для номинального режима работы камеры сгорания (кривая 1) относительный рост коэффициента тепловых потерь хорошо обобщается линейной зависимостью (при  $K_{\text{гол}} = 2,75$ ). Из рис. 3 видно, что для модельных компонентов топлива (кривая 2) нарастание коэффициента гидравлических потерь происходит в меньшей степени. Эти данные подтверждают возможность интенсификации процесса горения в топочных

устройствах, камерах сгорания ГТУ на менее активных компонентах, чем газообразный кислород.

В ходе доводки камер сгорания подтверждена надежность теплового состояния форсунок, в которых происходит частичное внутрифорсуночное сгорание компонентов топлива. На рис. 4 приведена зависимость коэффициента полноты сгорания топлива в камере двигателя НК-33 от длины контакта

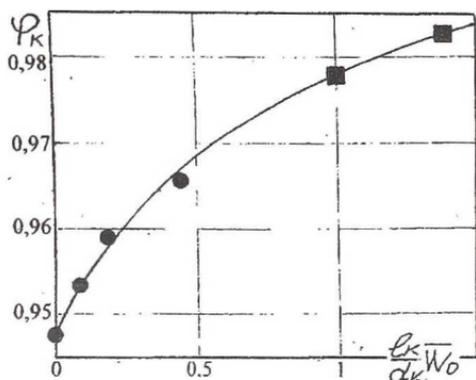


Рис. 4. Обобщение экспериментальных данных по влиянию относительной длины контакта компонентов топлива на полноту сгорания:

- 1 – натурные испытания  $\bullet, \square$ ;  
 2 – модельные испытания  $\circ, \square$ ;  
 $\bullet, \circ - d = 14,5 \text{ мм}$ ,  
 $\square, \square - d = 16 \text{ мм}$   
 $\bar{W}_0 = W_{16}/W_{14,5}$

$l_k$  компонентов топлива в форсунке. Получен значительный прирост коэффициента полноты сгорания при увеличении  $l_k$ . Несмотря на значительное повышение полноты сгорания, были обеспечены большие запасы устойчивости процесса по отношению к виброгорению с акустическими частотами.

Известно, что при наличии горения внутри форсунки процесс смешения затягивается в 2...3 раза [2]. Эффект затягивания процесса смешения наблюдается не только при сравнении струи и факела, но и за форсуночными головками

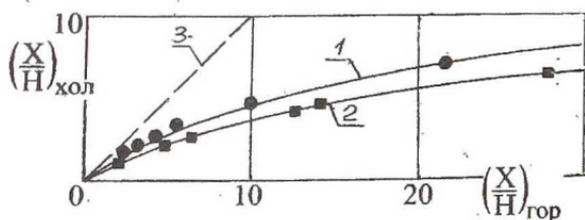


Рис. 5. Сравнение относительной длины полного смешения при «холодных» продувках и при горении за различными вариантами форсуночной головки модельной камеры сгорания:

- 1, 2 – данные Иванова Ю.А. и Пецева соответственно при горении, 3 – без горения

модельных камер сгорания. На рис. 5 приведены сравнительные данные по длинам участков полного смешения в струях без горения и при горении. Видно, что при горении длина полного смешения увеличивается. Можно предположить, что в

случае частичного внутрифлорсуночного сгорания этот эффект (увеличения длины смешения) усиливается пропорционально коэффициенту  $K_{г.ф} \approx \frac{\bar{\xi}}{\xi_{ф}}$ .

Поэтому применение частичного внутрифлорсуночного сгорания смеси при определенных условиях может благоприятно сказаться на повышении устойчивости процесса в камере.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива. – Л.: Недра, 1980 г.
2. Алексеева Т.И., Новикова Л.М. Новые закономерности стабилизации пламени. // Физика горения и взрыва, № 1, 1997.
3. Теория турбулентных струй. Абрамович Г.Н. и др. – 1984.

УДК 621.452.3 : 621.45.022 : 621.43-421/44 : 621.43.068

## К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ДВУХФАЗНОЙ ТОПЛИВО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД

Диденко А.А., Роголев В.В.

*Самарский государственный аэрокосмический университет,  
ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара*

### 1. ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ

Авиационные ГТД достигли уже предельно высоких параметров и совершенства. Однако, в связи с отсутствием альтернативы для них в авиации и в связи с постепенным расширением их применения в других областях, работы по развитию и совершенствованию авиационных ГТД продолжают, и это несмотря на усложнение и повышение стоимости новых разработок. Помимо традиционных требований к улучшению технико-экономических показателей и характеристик острую озабоченность по-прежнему вызывает загрязнение окружающей среды выхлопными газами двигателей, в которых, как известно, содержится большое число вредных, токсичных и канцерогенных веществ. Наиболее токсичными из числа нормируемых на сегодня веществ являются окислы азота ( $NO_x$ ). Они оказывают отравляющее действие на живые организмы, являются основным разрушителем озонового слоя и источником кислотных дождей.