

ками одновременно с увеличением их акустической проводимости повышает запас устойчивости к виброгорению по скорости газа более чем на 45 м/с (> 24%).

Учитывая, что на двигателе НК-39 при проницаемости головки $\varepsilon = 0,067$ максимальная акустическая проводимость головки ниже таковой на двигателе НК-33 примерно в 1,9 раза, полученный эффект по виброустойчивости можно объяснить выполнением поглотителя в газоводе между форсунками. Расчетный анализ акустических свойств поглотителя и форсунок двигателя НК-39 подтверждают это.

Выполненный в газоводе двигателя НК-39 поглотитель в соответствии с формулой (6) увеличивает акустическую проводимость форсуночной головки в 1,79 раза, т.е. практически до уровня, достигнутого на двигателе НК-33 без поглотителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кукинов А.Г. Одномерные колебания потока в цилиндрической трубе // Труды ЦАГИ, выпуск 1231. – М: ЦАГИ, 1970.
2. Устойчивость рабочего процесса в двигателях летательных аппаратов / Ильченко М.А., Крютченко В.В., Мнацапанян Ю.С. и др. – М.: Машиностроение, 1995.

УДК 621.43.056.001.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРЕЛОК С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ СМЕШЕНИЕМ

Анисимов В.Н., Постников А.М., Савченко В.П.

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

Организация сжигания топлива в двух зонах камер сгорания значительно расширяет возможности по снижению токсичности продуктов сгорания [1]. Особенно усиливается эффект снижения выбросов при обеспечении высокой степени гомогенизации смеси во второй, основной зоне двухзонной камеры сгорания [2].

В зависимости от конструкции горелки с предварительным смешением (гомогенные горелки) используются различные приемы предварительной подготовки смеси: для уменьшения длины внутрифорсуночного смешения

усиливают закрутку потока воздуха, разбивают газ на мелкие струи, внедряют его в поток воздуха, используя разного рода смесители, и т.д.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в описании полей газодинамических параметров в закрученном потоке, недостаточно полно, применительно к гомогенным горелкам, исследовано возвратное течение, возникающее в приосевой области камеры смещения горелки и в струе, истекающей из сопла горелки [3]. Поэтому вопросы формирования структуры закрученного потока, как правило, решаются при трудоемкой экспериментальной обработке.

В ходе доводки гомогенных горелок основного контура возникают противоречивые требования к формированию структуры потока на выходе из горелки. Это следует из данных, полученных при испытании двухзонных камер сгорания двигателей НК-36СТ, НК-37 и при газодинамических исследованиях горелок основного контура этих камер сгорания на стендах поузловой доводки (рис. 1). Видно, что характер поля полных давлений на выходе из сопла горелки существенно влияет на выбросы окислов углерода CO . При сильной закрутке потока, приводящей к образованию развитых зон обратных токов, происходит повышение выбросов оксидов азота NO_x . Образование возвратного течения в сечении среза сопла способствует проскоку пламени внутрь камеры смещения

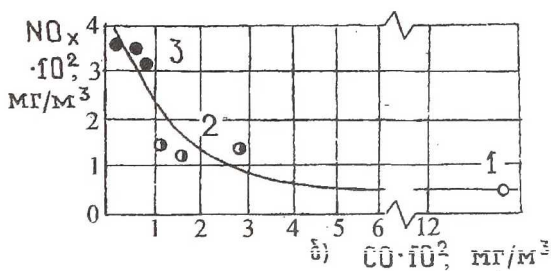
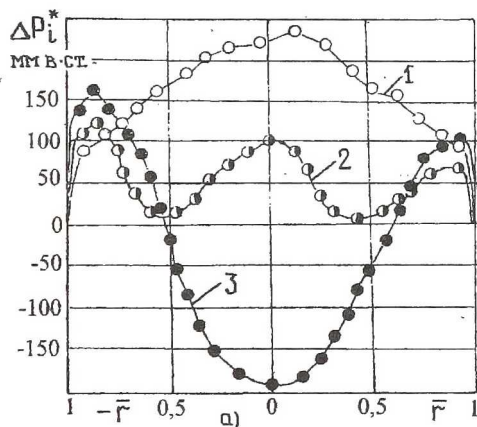


Рис. 1. Влияние характера неравномерности поля давлений на срезе сопла горелки основного контура 2-х зонной камеры сгорания двигателя НК-36СТ на эмиссию NO_x и CO .
1, 2, 3 — варианты горелок

горелки, что может приводить к ухудшению надежности её теплового состояния. Поэтому возникает необходимость применения дополнительных мер, чтобы обеспечить «выдув» зоны обратных токов из приосевой части сопла так, чтобы не сильно ослабить закрутку потока в струе, истекающей в камеру сгорания.

С учетом этих обстоятельств проведены исследования горелок по обеспечению необходимого значения их пропускной способности V , определяемой по замеренной для каждого варианта горелки характеристике

$$V = \frac{G_v \cdot \sqrt{T_{вх}^*}}{P_{вх}^*} = f(P_{вх}^*/P_n), \quad (1)$$

где G_v ; $T_{вх}^*$; $P_{вх}^*$; P_n — соответственно весовой расход воздуха, его температура, полное давление на входе в горелку и барометрическое давление. Определение V проводилось при отношении $P_{вх}^*/P_n^* = 1,03$, что соответствовало перепаду на жаровой трубе камеры сгорания, равному 3%. Режимы течения воздуха находились в области автомодельности по числу Рейнольдса. На срезе сопла горелки замерялась осевая составляющая скорости потока одиночным датчиком полного давления, установленным в координатном устройстве.

При газодинамической доводке горелок основного контура обеспечивалось такое значение их пропускной способности, чтобы в основной зоне камеры достигался «бедный» состав смеси ($\alpha \approx 1,5 \dots 2,0$) для снижения температуры горения до уровня, при котором происходит минимальный выброс оксидов азота. Для устранения проскока пламени внутрь сопла горелки обеспечивался «выдув» возвратного течения из сопла горелки, так чтобы в этой области струи имелся запас по скорости потока, препятствующий проскоку пламени в камеру смешения горелки.

На рис. 2 приведена схема горелки основного контура с тангенциаль-

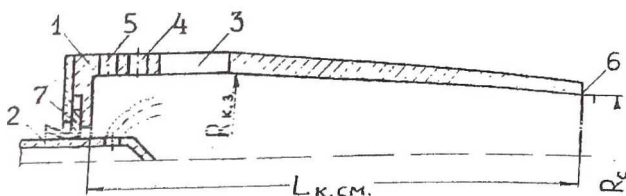


Рис. 2. Принципиальная схема горелки основного контура с предварительным смешением:

1— горелка, 2— форсунка, 3— тангенциальные пазы, 4— радиальные отверстия, 5— тангенциальные отверстия, 6— срез сопла горелки, 7— уплотняющая «плавающая» втулка

ным завихрителем 3, который формирует закрученный поток воздуха внутри камеры смешения горелки и в струе на выходе из сопла 6. Через радиальные каналы 4 и (или) тангенциальные каналы 5 с противоположным (тангенциальным пазом) направлением крутки потока проводился «выдув» возвратного течения из приосевой части сопла.

Обработка и анализ экспериментальных данных показали, что необходимый для выдува обратного течения из сопла горелки расход воздуха зависит от интенсивности закрутки потока пазами 3, которую можно описать критерием крутки потока, выраженным в соответствии с теорией Абрамовича Г.Н. в виде

$$A_r = \frac{F_c}{F_{вх}} \times \frac{R_z}{R_c} \quad (2)$$

где R_z , R_c – соответственно радиус закрутки тангенциального паза 3 и радиус сопла; F_c и $F_{вх}$ – площадь сопла и площадь тангенциальных пазов.

Оказалось, что при уменьшении величины A_r до значений 0,2...0,3, относительное значение расхода воздуха через каналы 4, 5 –

$\bar{g}_в = \frac{G_{в.4} + G_{в.5}}{G_{в.4} + G_{в.5} + G_{в.3}}$ необходимое для выдува зоны обратных токов умень-

шается до величины 5...10%. При увеличении A_r до значений 0,4...0,6, величина $\bar{g}_в$ повышается до значений 20...30%. Обработка экспериментальных данных позволила получить обобщающую зависимость в следующем виде:

$$\bar{g}_в = 0,38 \cdot (A_r - 0,1) \quad (3)$$

Пропускную способность горелки при работе только тангенциальных пазов 3 с достаточной для практики точностью возможно рассчитывать по известной методике [4]. При этом экспериментально замеренные значения коэффициентов расходов горелки (определенные по площади сопла горелки) превышали на 10% расчетные значения, что, возможно, связано с увеличенной длиной камеры закручивания исследуемых горелок ($L_{к.см} = 4,4...5R_{к.з}$).

При совместной работе тангенциальных пазов 3, радиальных 5 и тангенциальных 7 отверстий расчет пропускной способности горелки затруднителен, так как происходит интенсивное взаимодействие потоков, формируемых этими каналами внутри камеры смешения. Как видно из рис. 3 при совместной работе каналов 3, 4, 5 экспериментально замеренные значения про-

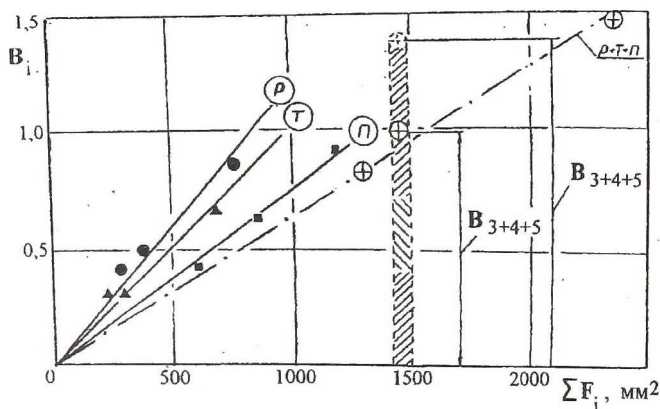


Рис. 3. Влияние гидродинамического взаимодействия потоков внутри камеры смешения горелки на уменьшение её пропускной способности:

Р – радиальные отверстия, Т – тангенциальные отверстия,
 П – тангенциальные пазы

пускной способности B_{3+4+5} значительно меньше суммы автономно замеренных значений $B_3 + B_4 + B_5$.

Обработка экспериментальных данных, полученных для исследованного типа однородных горелок (см. рис. 2, с изменением диаметра камеры закручивания 28, 40, 54, 73 мм, при конфузурности потока на входе в сопло 1,1...1,2) позволила получить следующие зависимости для определения пропускной способности:

- 1) при автономной работе каждого из каналов 3, 4, 5
 - тангенциальные отверстия $B \times 10^3 = 74,9 + 0,8708 \cdot F_T$;
 - радиальные отверстия $B \times 10^3 = 149,4 + 0,9325 \cdot F_P$;
 - пазы $B \times 10^3 = -80,39 + 0,8522 \cdot F_{\Pi}$;

2) при совместной работе всех каналов или при их сочетании

радиальные отверстия + пазы

$$B \times 10^3 = 229,59 + 0,6495 \cdot F_P + 0,5692 \cdot F_{\Pi};$$

- тангенциальные отверстия + пазы

$$B \times 10^3 = 230,49 + 0,5698 \cdot F_T + 0,5512 \cdot F_{\Pi};$$

тангенциальные отверстия + радиальные отверстия

$$V \times 10^3 = 142,996 + 0,6788 \cdot F_T + 0,7405 \cdot F_P ;$$

тангенциальные отверстия + радиальные отверстия + пазы

$$V \times 10^3 = 179,47 + 0,5808 \cdot F_T + 0,6605 \cdot F_P + 0,4712 \cdot F_{\Pi} ,$$

где F_P , F_T , F_{Π} , – площади (мм^2) радиальных отверстий, тангенциальных отверстий и пазов соответственно.

Полученные эмпирические зависимости для определения пропускной способности исследованных горелок, выбранный оптимальный профиль поля полных давлений на срезе сопла с точки зрения оптимизации вредных выбросов NO_x и CO , а также рекомендации по выбору величины степени конфузорности сопла и запаса по скорости в приосевой части сопла могут использоваться при создании современных высокоэффективных и экологически чистых камер сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкции камер сгорания с пониженной эмиссией загрязняющих веществ. // Новое в зарубежном авиадвигателестроении. – № 1, 1978 г. (AIAA Paper. 1976, № 762).
2. Тумановский А.Г., Соколов К.Ю., Гутник М.Н., Сударев А.В., Акулов В.А., Захаров Ю.И., Виноградов Е.Д. Исследование рабочего процесса двухзонной камеры сгорания стационарной ГТУ. // Теплоэнергетика. – 1994 г, №9.
3. Основы практической теории горения. / Под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергия, 1973г.
4. Методика расчета центробежных газовых форсунок. Отраслевой стандарт, ОСТ92, 1970 г.

УДК [629.7.036.34:621.43.056] 536.46

МИКРОДИФфузионное сжигание горючего газа как средство снижения эмиссии NO_x

Аскеров А.А., Груздев В.Н.

*Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева
КГТУ-КАИ, г. Казань*

В борьбе за снижение концентрации оксидов азота в выхлопных газах топочных устройств было предложено большое количество различных способов. Среди них: конструктивные приемы, подача воды в окислитель, бал-