

разных температурных уровней, причем их температура в обоих случаях растет с ростом коэффициента μ .

При сверхкритических перепадах давления газа в противоточной вихревой трубе процесс дросселирования можно разделить на четыре этапа:

- разгон газа в сопле улитки до скорости звука,
- дальнейший разгон газа от скорости звука до сверхзвуковой скорости,
- свободное расширение в профилированной части улитки с образованием свободного вихря в виде течения Прандтля–Майера с возникновением на его внешней и внутренней поверхности волн сжатия и разрежения в каждой точке поворота газового спирального потока до момента отбора горячей составляющей через дроссель,
- разрушение встречного дозвукового приосевого холодного вынужденного вихря.

УДК 629.76.03 (075.8)

ВЛИЯНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ В ГАЗОВОДЕ НА АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОРСУНОЧНОЙ ГОЛОВКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Анисимов В.С., Данильченко В.П., Ярославцев В.Г.

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

В настоящее время теоретически показано и экспериментально подтверждено, что акустические свойства форсуночной головки оказывают значительное влияние на устойчивость рабочего процесса в камере сгорания двигателей замкнутой схемы.

Так повышение акустической проводимости форсуночной головки двигателя НК-33 в 1,8 раза при сохранении проницаемости $\epsilon = 0,2 = \text{const}$ устранило виброгорение в камере на эксплуатационных режимах.

При малой проницаемости форсуночной головки ($\epsilon < 0,07$) повышение её акустической проводимости обычными средствами до уровня, достигнутого на двигателе НК-33, становится невозможным. В настоящей статье ис-

следует возможность повышения акустической проводимости форсуночной головки малой проницаемости выполнением в газоводе на входе в форсунки резонансного поглотителя. При исследовании использованы результаты теоретического анализа акустических свойств цилиндрических трубок, соединяющих источник кинетической энергии газа с источником акустической энергии [1] и акустических характеристик газовых трактов камеры сгорания [2].

Рассмотрен случай, когда резонансный поглотитель настроен на собственную частоту акустических колебаний давления в камере, а акустическая проводимость форсуночной головки является максимальной для принятой проницаемости. В этом случае мнимые части импедансов форсунок и поглотителя равны нулю. На рис. 1 представлена расчетная схема форсуночной головки с поглотителем.

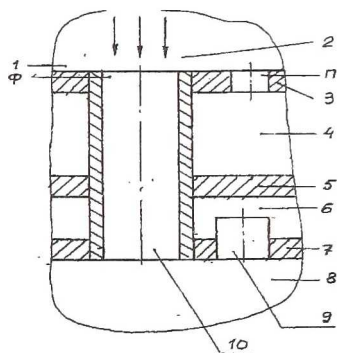


Рис. 1. Расчетная схема форсуночной головки с поглотителем:

1 - сечение газОВОда перед форсунками, ф - вход в форсунки, п - вход в отверстия поглотителя, 2 газОВОд, 3 диафрагма поглотителя, 4 резонансная полость поглотителя в газОВОде между форсунками, 5 среднее днище, 6 предфорсуночная полость горючего, 7 - огневое днище, 8 - камера сгорания, 9 форсунка горючего, 10 - форсунка окислительного газа

Учитывая, что среднее давление, колебание давления и температура газа в двух близких сечениях (1) перед форсунками, в самих форсунках (ф) и в отверстиях поглотителя (п) одинаковы, уравнение неразрывности для колебания скорости газа можно записать в виде:

$$V_1' F_1 = V_\phi' \cdot F_\phi + V_n' \cdot F_n, \quad (1)$$

где: V_1' , V_ϕ' , V_n' - колебания скорости газа перед форсунками, в самих форсунках у входа и в отверстиях поглотителя соответственно; F_1 , F_ϕ , F_n - площадь газОВОда перед форсунками, суммарная проходная площадь форсунок и суммарная площадь поглотителя соответственно.

Учитывая, что акустическая проводимость по определению [2] равна

$$\eta = \rho c \frac{V'}{P'}, \quad (2)$$

из уравнения неразрывности (1) и условий

$$P_1' = P_\phi' = P_n', \quad C_1 = C_\phi = C_n, \quad \rho_1 = \rho_\phi = \rho_n, \quad (3)$$

следует

$$\eta_{\phi.n} = \eta_1 \frac{F_1}{F_\phi} - \eta_n \frac{F_n}{F_\phi} \quad (4)$$

Для случая отсутствия отражения колебаний в газоводе перед форсунками

$$q_1 = 0, \quad \eta_1 = \frac{q-1}{q+1} = -1 \quad (5)$$

и выражение (4) принимает вид

$$\eta_{\phi.n} = -\frac{F_1}{F_\phi} - \eta_n \frac{F_n}{F_\phi} = -\frac{F_1}{F_\phi} (1 + \eta_n \frac{F_n}{F_1}) = -\frac{1}{\varepsilon_\phi} (1 + \eta_n \varepsilon_n)$$

При отсутствии поглотителя $\varepsilon_n = 0$ и, следовательно, $\eta_\phi = -\frac{1}{\varepsilon_\phi}$.

Окончательно имеем:

$$\frac{\eta_{\phi.n}}{\eta_\phi} = 1 + \eta_n \varepsilon_n. \quad (6)$$

Таким образом, выполнение поглотителя на входе в форсунки увеличивает акустическую проводимость форсунок (и головки в целом) в $(1 + \eta_n \varepsilon_n)$ раз. Это увеличение акустической проводимости форсунок определяется проницаемостью ε_n и акустической проводимостью η_n поглотителя. На рис. 2 представлена расчетная зависимость отношения акустической проводимости форсуночной головки двигателя НК-39 с поглотителем к таковой без поглотителя от комплекса поглотителя $\eta_n \varepsilon_n$.

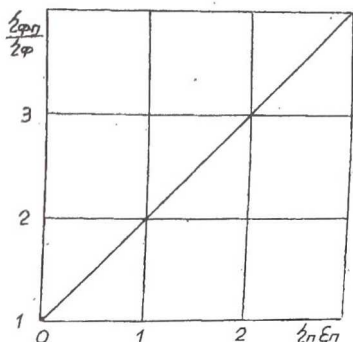


Рис. 2. Расчетная зависимость отношения акустической проводимости форсуночной головки двигателя НК-39 с поглотителем к таковой без поглотителя от комплекса поглотителя $\eta_n \varepsilon_n$

Влияние поглотителя в газоводе между форсунками в комплексе с повышением их акустической проводимости проверено на двигателе НК-39 с проницаемостью головки $\varepsilon = 0,067$. При испытаниях двигателя НК-39 с исходным вариантом камеры сгорания без указанных мероприятий выявлена граница виброгорения по скорости $W_{\text{фо}}$ окислительного газа в форсунках и соотношению расходов компонентов через головку $K_{\text{гол}}$. Виброгорение началось при достижении $W_{\text{фо.гр}} = 185$ м/с на $K_{\text{гол}} = 2,75$. На рис. 3 приведен эскиз форсуночной головки двигателя НК-39 с поглотителем в газоводе между форсунками.

После внедрения указанного комплекса мероприятий граница виброгорения не была достигнута при формировании режима до скорости $W_{\text{фо гр}} = 230$ м/с. На рис. 4 показаны режимы виброгорения в камере без мероприятий и режимы устойчивого горения в камере с мероприятиями. Из приведенных данных следует, что выполнение поглотителя в газоводе между форсун-

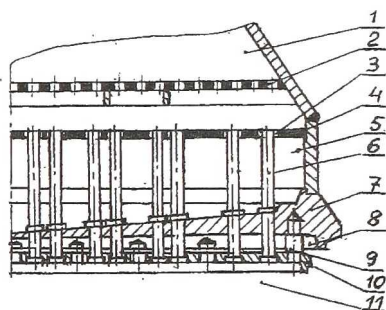


Рис. 3. Эскиз форсуночной головки двигателя НК-39 с поглотителем в газоводе между форсунками :

1 - газовод, 2 - выравнивающая решетка, 3 - кольцевые отверстия поглотителя, 4 - диафрагма поглотителя, 5 - резонансная полость поглотителя, 6 - форсунка окислительного газа, 7 - среднее днище, 8 - предфорсуночная полость горючего, 9 - форсунка горючего, 10 - огневое днище, 11 - камера сгорания

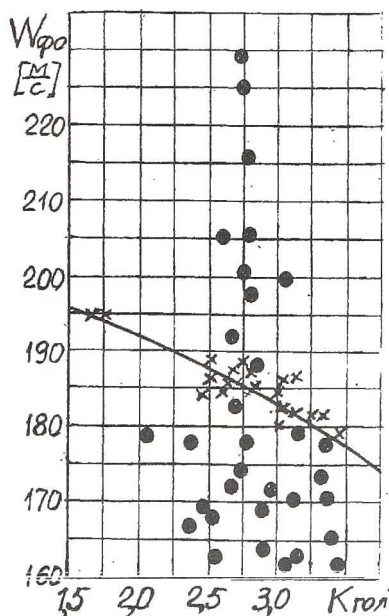


Рис. 4. Граница виброгорения в камере двигателя НК-39: (X) - без мероприятий и (•) - проверенные режимы устойчивого горения в камере с комплексом мероприятий ($W_{\text{фо}}$ - скорость окислительного газа в форсунках, $K_{\text{гол}}$ - соотношение расходов компонентов через головку)

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 газовой камере между форсунками. Расчетный анализ акустических свойств поглотителя и форсунок двигателя НК-39 подтверждают это.

Выполненный в газовой камере 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