

Б. Б е с е к е р с к и й В.А., П о п о в В.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.:Наука, 1972.- 706 с.

Б. Ш а х м а т о в Е.В. К исследованию пульсационного воздействия в магистралях гидравлической системы управления механической сопла и компрессора ГТД. - В сб.: Труды I НТК молодых ученых и специалистов КуАИ.-Жуйбышев, 1981, с.130-142. Док. ВИНТИ " 1210-81.

УДК 629.7.036

В.Е.Годлевский, В.Е.Нигодск, Л.Я.Шумихина

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ГРАНИЦЫ УСТОЙЧИВОСТИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

Малоразмерные газогенераторы на жидком топливе имеют ряд особенностей в организации рабочего процесса, обусловленных, в частности, необходимостью дозирования малых расходов компонентов и, как следствие, необходимостью применения в дозирующих системах (ДС) сложных устройств, например, капиллярных трубок значительной относительной длины. Особенность дозирования топлива в этих газогенераторах определяется ламинарным характером течения в трактах ДС, что приводит к зависимости коэффициента ее гидравлического сопротивления (ξ_{DC}) от числа Рейнольдса, характеризуемой функцией чувствительности $\alpha_{\xi Re} = \partial \ln \xi_{DC} / \partial \ln Re$, а также наличием постоянной времени ДС.

Обеспечение малых расходов топлива связано либо с применением малых проходных сечений дозирующих элементов, что, однако, имеет технологические ограничения, либо с необходимостью уменьшать перепад давления на ДС, что может привести к неустойчивости статических параметров и изменению динамических характеристик газогенератора, а также к появлению низкочастотной неустойчивости рабочего процесса. Границы устойчивой работы газогенератора при передаточной функции ДС как идеального усилительного (биперационного) звена приведены в [1,2].

Влияние реальных параметров дозирующей системы, характерных для малоразмерных газогенераторов, на низкочастотную неустойчивость рабочего процесса рассмотрено ниже.

В общем случае динамические свойства ДС описываются дифференциальным уравнением, полученным на основании закона сохранения количества движения [3]

$$\rho \ell F \frac{dU}{d\tau} + F \Delta p_{mp} = F(\rho_n - \rho_k), \quad (1)$$

где F , ℓ - характерные площадь и длина элемента ДС; ρ и U - плотность и скорость компонента топлива; ρ_n и ρ_k - давление компонента на входе и давление газов в камере сгорания; Δp_{mp} - сопротивление трения.

Используя метод малых отклонений и учитывая известное соотношение гидравлики [4]

$$\Delta p_{mp} = \xi_{ДС} \frac{\rho U^2}{2}, \quad (2)$$

уравнение (1) можно преобразовать к виду

$$T_{ДС} \frac{d\delta \dot{m}}{d\tau} + \delta(\Delta p_{mp}) = [(\Delta \bar{p}_{ДС} + 1) \delta \rho_n - \delta \rho_k] \Delta \bar{p}_{ДС} \quad (3)$$

и получить выражения для определения $T_{ДС}$ и $\xi_{ДС}$ по результатам эксперимента

$$T_{ДС} = \frac{\rho \ell U}{\Delta p_{ДС}} = \frac{\ell \dot{m}_N}{F(\rho_n - \rho_k)}, \quad (4)$$

где $\dot{m} = \rho F U$ - массовый расход; $\delta x = (x - x_N) x_N$ - относительное отклонение (вариация) параметра; $\Delta \bar{p}_{ДС} = (\rho_n - \rho_k) \rho_k$ - относительный перепад давления на ДС; индексом "N" обозначено номинальное значение параметра.

Величина $T_{ДС}$ имеет размерность времени и является аналогом постоянной времени ДС, поскольку для ламинарного режима течения в трактах ДС без учета влияния начального гидродинамического участка и местных потерь

$$\xi_{ДС} = \frac{64}{Re} \frac{\ell}{d}, \quad (5)$$

уравнение (1) приводится к уравнению аperiodического звена

$$T \frac{dU}{d\tau} + U = \kappa (\rho_n - \rho_k) \quad (6)$$

с постоянной времени и коэффициентом усиления, равными

$$T = d^2 / 32 \nu, \quad (7)$$

$$\kappa = d^2/32 \nu \rho l, \quad (8)$$

где d - поперечный размер дозирующего элемента ДС; ν - коэффициент кинематической вязкости.

Методика определения постоянной времени ДС для ламинарного режима течения с учетом начального участка изложена в [5].

В общем случае, используя соотношение (2), отклонение сопротивления трения можно связать с отклонениями расхода и коэффициента гидравлического сопротивления ДС следующим выражением

$$\delta(\Delta p_{тр}) = 2\delta\dot{m} + \delta\xi_{ДС}, \quad (9)$$

откуда, учитывая, что при постоянной температуре

$$\delta\xi_{ДС} = a_{\xi, Re} \delta\dot{m}, \quad (10)$$

получим

$$\delta(\Delta p_{тр}) = (2 + a_{\xi, Re}) \delta\dot{m}. \quad (11)$$

При постоянном давлении на входе уравнение (3) с учетом (11) запишется в виде

$$\gamma_{ДС} \frac{d\delta\dot{m}}{d\tau} + (2 + a_{\xi, Re}) \delta\dot{m} + \delta p_{\kappa} / \Delta \bar{p}_{ДС} = 0. \quad (12)$$

Уравнение (12) записано для одной линии подачи компонента и справедливо для однокомпонентного газогенератора; однако, если $\gamma_{ДС}^r = \gamma_{ДС}^{ок}$ и $a_{\xi, Re}^r = a_{\xi, Re}^{ок}$, то оно будет справедливо и для суммарного расхода топлива. Если пренебречь влиянием коэффициента соотношения компонентов $\kappa_{\dot{m}}$ на полноту преобразования топлива (в области малых отклонений), задача об устойчивости двухкомпонентного газогенератора сводится к определению границ устойчивости однокомпонентного газогенератора на основании уравнений дозирующей системы (12) и камеры сгорания [2]

$$\gamma_{\kappa} \frac{d(\delta p_{\kappa})}{d\tau} + \delta p_{\kappa} = \delta\dot{m}(\tau - \tau_{пр}), \quad (13)$$

где T_{κ} - постоянная времени камеры сгорания, численно равная времени пребывания газов в камере; $\tau_{пр}$ - время преобразования топлива.

Приняв в качестве масштаба времени значение постоянной каме-

ри границы T_K , приведем (12) и (13) к безразмерному виду и выведем в операторной форме ($S = i\bar{\omega}$)

$$(\bar{T}_{DC} S + 2 + a_{\xi, Re}) \delta \dot{m} + \delta p_K / \Delta \bar{p}_{DC} = 0, \quad (14)$$

$$(S+1) \delta p_K = \exp(-S \bar{\tau}_{np}) \delta \dot{m}, \quad (15)$$

где $\bar{T}_{DC} = T_{DC} / T_K$, $\bar{\tau}_{np} = \tau_{np} / T_K$, $\bar{\omega} = \omega T_K$.

Объединяя (14) и (15) в одно уравнение, получим характеристическое уравнение

$$F = \bar{T}_{DC} S^2 + (\bar{T}_{DC} + 2 + a_{\xi, Re}) S + 2 + a_{\xi, Re} + \Delta \bar{p}_{DC}^{-1} \exp(-S \bar{\tau}_{np}), \quad (16)$$

на основании которого решается вопрос об устойчивости системы, причем при $\bar{T}_{DC} = 0$ и $a_{\xi, Re} = 0$ оно приводится к виду, полученному в [2].

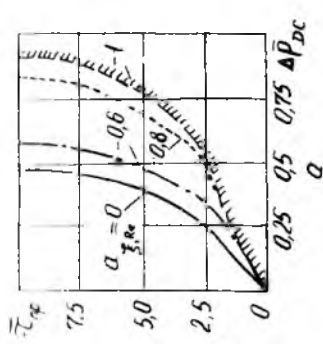
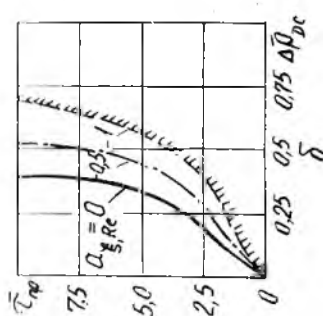
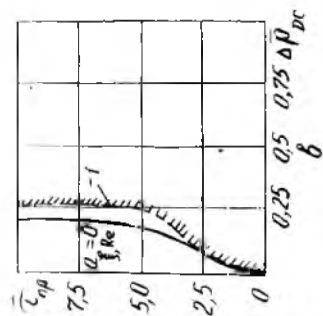
Для оценки влияния отдельных параметров на устойчивость системы строятся границы устойчивости методом D -разбиения [2], сущность которого сводится к следующему. Приравнивается к нулю характеристическое уравнение и выделяются вещественная и мнимая части. В результате, записав показательную функцию в форме Эйлера, получим два уравнения

$$\bar{T}_{DC} \bar{\omega}^2 - (2 + a_{\xi, Re}) - \Delta \bar{p}_{DC}^{-1} \cos \bar{\omega} \bar{\tau}_{np} = 0, \quad (17)$$

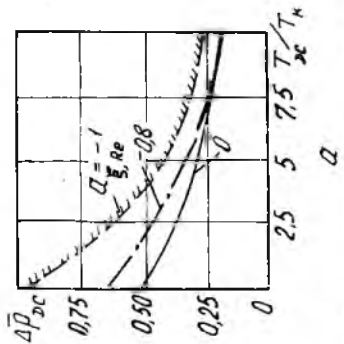
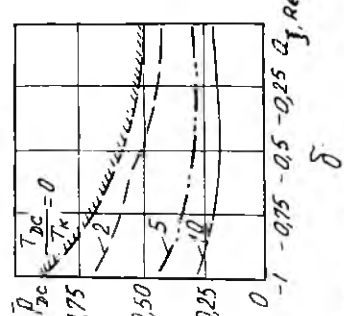
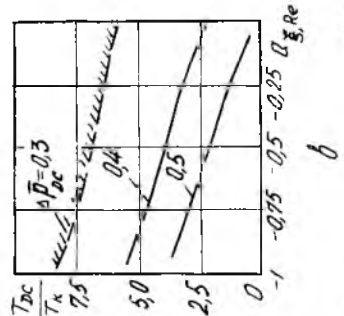
$$(\bar{T}_{DC} + 2 + a_{\xi, Re}) \bar{\omega} + \sin \bar{\omega} \bar{\tau}_{np} = 0, \quad (18)$$

которые позволяют получить границы устойчивой работы газогенератора в плоскости любых двух параметров, определяющих устойчивость системы \bar{T}_{DC} , $a_{\xi, Re}$, $\Delta \bar{p}_{DC}$, $\bar{\tau}_{np}$.

Границы устойчивости в плоскости $\bar{\tau}_{np} - \Delta \bar{p}_{DC}$ показаны на рис. 1, откуда следует, что при уменьшении $a_{\xi, Re}$ от 0 до -1 область абсолютной устойчивости при $\bar{T}_{DC} = 0$ сдвигается от $\Delta \bar{p}_{DC} = 0,5$ до $\Delta \bar{p}_{DC} = 1$. Однако увеличение \bar{T}_{DC} существенно расширяет область устойчивой работы к меньшим значениям $\Delta \bar{p}_{DC}$. Влияние параметров ДС на границы устойчивой работы наглядно представлено на рис. 2: влияние коэффициента $a_{\xi, Re}$ существенно при $\bar{T}_{DC} = 0$ и значительно снижается при $\bar{T}_{DC} / T_K \approx 10$; уменьшение $a_{\xi, Re}$ от 0 до -1 приводит к необходимости увеличивать либо перепад давления на ДС, либо постоянную времени последней.



Р и с. 1. Границы устойчивости при различных параметрах дозирующей системы:
 а - при $T_{DC}/T_K = 0$;
 б - при $T_{DC}/T_K = 2$; в - при $T_{DC}/T_K = 10$



Р и с. 2. Влияние параметров дозирующей системы на границу устойчивости при $\bar{\tau}_{op} = 10$;
 а - в плоскости параметров $\Delta \bar{p}_{DC} - T_{DC}/T_K$; б - в плоскости параметров $\Delta \bar{p}_{DC} - T_{DC}/T_K$;
 в - в плоскости параметров $T_{DC}/T_K - \alpha_{\xi, Re}$

Полученные зависимости свидетельствуют о возможности уменьшать перепад давления на ДС малоразмерного газогенератора за счет увеличения постоянной времени дозирующей системы и позволяют правильно выбрать параметры ДС, обеспечивающие устойчивость его внутрикамерного рабочего процесса.

Л и т е р а т у р а

1. А л е м а с о в В.Е., Д р е г а л и н А.Ф., Т и ш и н А.В. Теория ракетных двигателей / Под ред. Глушко В.П. - М.:Машиностроение, 1980. - 533 с.

2. В о л к о в Е.Б., С ы р и ц ы н Т.А., М а з и н г Т.Ю. Статика и динамика ракетных двигательных установок. Книга II. Динамика. -М.:Машиностроение, 1978. - 320 с.

3. З а л м а н з о н Л.А. Теория элементов пневмоники. -М.: Наука, 1969. - 507 с.

4. С т о ч е к Н.П., Ш а п и р о А.С. Гидравлика жидкостных ракетных двигателей. -М.:Машиностроение, 1978. - 128 с.

5. Б е л о у с о в А.И., Р ж е в с к и й В.П., Р а в и к о в и ч Ю.А. Динамические характеристики дросселирующих элементов подшипниковых узлов. - В кн.: Диссоциирующие газы как теплоносители и рабочие тела энергетических установок. -Минск: Наука и техника, 1977, с.123-130.

УДК 621.45.04:62-398

Н.Н.Гниломедов, В.П.Шорин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ КЛАПАНОВ

Из практики экспериментальной отработки дренажно-предохранительных и обратных клапанов известно существенное влияние геометрии проточной части клапана на устойчивость его работы (рис.1). Это, как правило, связано с возникновением отрывных течений в зоне "седло - запорный орган" и процессами интенсивного вихреобразования.