

КРАТКАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАБИЛИЗАТОРА РЕЖИМА НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Одним из важнейших элементов контура стабилизации режима работы двигательной установки с дожиганием генераторного газа является гидравлический стабилизатор режима непрямого действия, состоящий из командной и исполнительной частей. Особенностью конструкции командной части стабилизатора является применение оригинального преобразователя давления в расход, выполненного в виде кавитационной трубки Вентури.

В настоящей работе предлагается математическая формализация нестационарных процессов в элементах рассматриваемого регулирующего устройства, проведенная на нелинейном и линеаризованном уровнях решения задачи. Получены сводные уравнения динамики командной и исполнительной частей стабилизатора режима, на базе которых возможно проведение параметрического анализа его структурной устойчивости.

В целях наиболее достоверного описания нестационарной математической модели первичного преобразователя давления в расход проведен ряд экспериментальных исследований по визуализации качественных картин течения на специально изготовленных, прозрачных плоской и объемной моделях его проточной части (рис. 1).

При выводе системы уравнений, описывающей динамические свойства стабилизатора, использованы уравнения количества движения и неразрывности для среды, текущей в его элементах.

Сложность и многообразие физических процессов, происходящих в первичном преобразователе, привели к необходимости принять ряд следующих основных допущений при описании его математической модели:

- жидкость достаточно дегазирована, чтобы давление в присоединенной камере и пузырьковых образованиях считать приблизительно равным давлению ее насыщенных паров;
- время установления термодинамического равновесия между фазами существенно меньше периода колебания параметров, определяющих течение в кавитационных зонах, что справедливо для низкочастотных режимов возмущений (менее 50 Гц);
- унос паровой фазы из зон кавитационных образований почти отсутствует;
- движение пузырьков в объеме $V_{см}$ происходит без скольжения;
- стенки проточной части абсолютно жесткие, жидкость в низкочастотном диапазоне возмущений несжимаема, а ее вязкостные свойства почти не проявляются;
- влияние со стороны скоростного напора на энергосодержание жидкости во входных и выходных полостях первичного преобразователя очень мало.

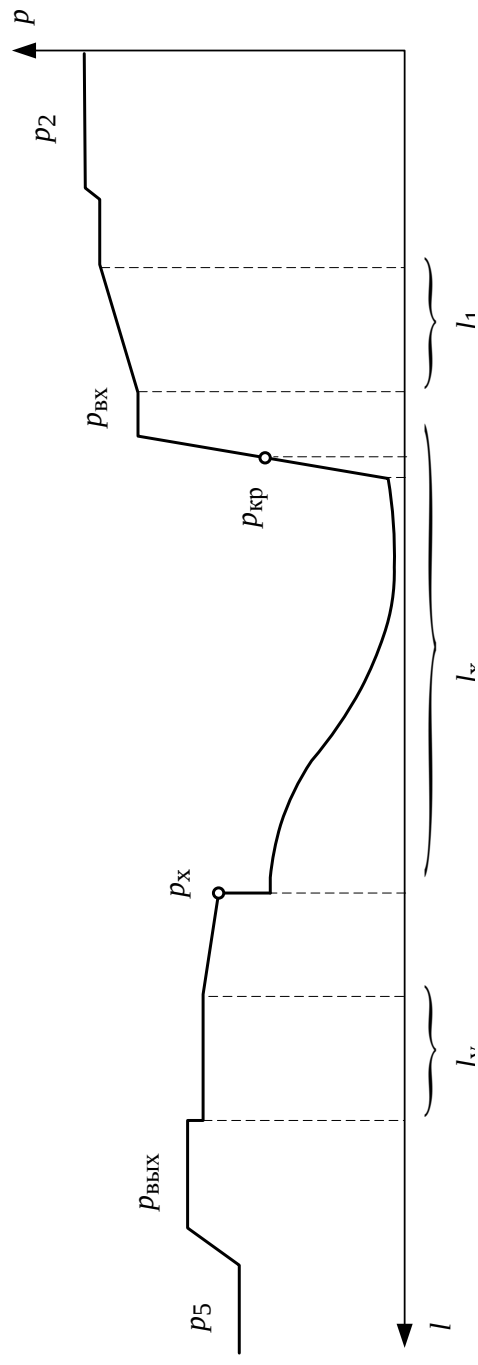
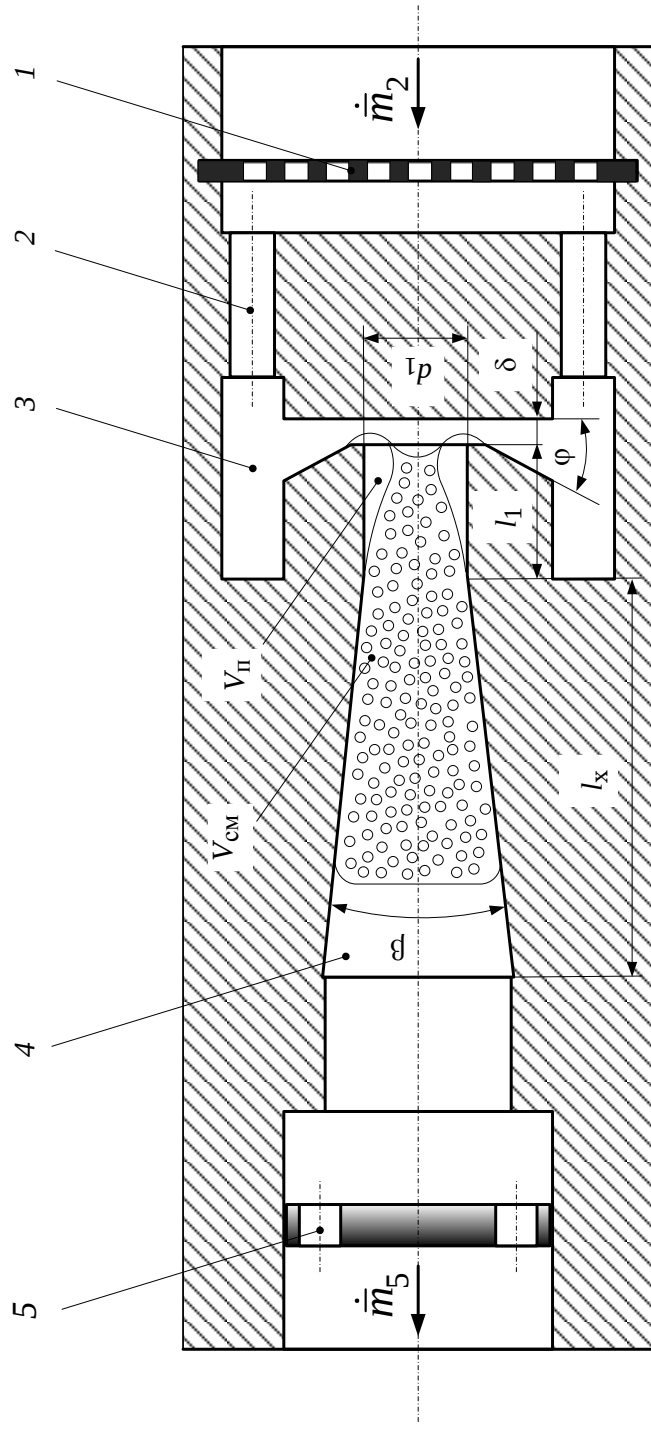


Рисунок 1 – Схема течения в преобразователе давления в расход: 1 – сетчатый фильтр; 2 – входные каналы секторного типа; 3 – входная кольцевая полость; 4 – диффузор; 5 – дроссельное сопротивление на выходе

После ряда последовательных математических преобразований и упрощений получим сводные уравнения динамики:
каскада входных преобразователей

$$D_0(p)\delta\bar{h} = K_{\kappa_1}K_c \left\{ \left[\frac{1}{K_1}(1-\tau_{\Pi}^*p) - \tau_{\Pi}^{**}\tau_{\Pi.\Pi}K_{\text{сл}_2}K_{\Pi_2} \frac{p^2}{D_n(p)} \right] \delta\bar{p}_2 + \right. \\ \left. + \tau_{\Pi}^{**}K_{\text{сл}_2} \left[K_{\Pi.\Pi} + \tau_{\Pi.\Pi}K_{\Pi_1} \frac{p}{D_n(p)} \right] p\delta\Delta\bar{p}_{\text{ж}} \right\}; \quad (1)$$

коммутационной части

$$\left\{ 1 + K_{\kappa_2} \left[K_{\Pi.\Pi} + \tau_{\Pi.\Pi}K_{\Pi_1} \frac{p}{D_n(p)} \right] (1 + \tau_{\kappa}p) \right\} \delta\Delta\bar{p}_{\text{ж}} = \\ = \left[1 + \tau_{\Pi.\Pi}K_{\kappa_2}K_{\Pi_2} \frac{(1 + \tau_{\kappa}p)p}{D_n(p)} \right] + K_{\kappa_1}D_{\text{кл}}^*(p)\delta\bar{h}; \quad (2)$$

исполнительной части

$$D_n(p)\delta\dot{\bar{m}}_{\text{гп}} = -K_{\text{р.о}_1}K_{\Pi_1}\delta\Delta\bar{p}_{\text{ж}} - [K_{\text{р.о}_1}K_{\Pi_2} - K_{\text{р.о}_2}D_n(p)]\delta\Delta\bar{p}_{\text{р.о}}. \quad (3)$$

где $\bar{p}_{\text{ж}}$ – плотность рабочей жидкости; p – давление; τ_{Π}^* – постоянная времени воздействия по производной от $\delta\bar{p}_2$ на входе; τ_{Π}^{**} – постоянная времени воздействия по производной от $\delta\bar{p}_5$ на выходе; K_{κ_1} , K_{κ_2} , K_c , K_1 , $K_{\text{сл}_2}$, K_{Π_1} , K_{Π_2} , $K_{\Pi.\Pi}$, $K_{\text{р.о}_1}$, $K_{\text{р.о}_2}$ – коэффициенты усиления по соответствующим зонам преобразователя; $D_n(p)$ – собственный оператор плунжера; $D_{\text{кл}}^*(p)$ – собственный оператор клапана; τ_{κ} – постоянная времени воздействия клапана; $\dot{\bar{m}}_{\text{гп}}$ – базисное значение расхода жидкости.

Искомое уравнение динамики стабилизатора режима непрямого действия имеет вид:

$$D_n(p)\delta\dot{\bar{m}}_{\text{гп}} = [K_{\text{р.о}_1}K_{\Pi_1}W_{\kappa}(p) + K_{\text{р.о}_1}K_{\Pi_2} - K_{\text{р.о}_2}D_n(p)]\delta p_2, \quad (4)$$

где $W_{\kappa}(p)$ – передаточная функция командной части, получаемая из совместного решения уравнений (1) и (2); $D_n(p) = \frac{1}{\gamma_{\Pi}^2}p^2 + 2\frac{\xi_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}}p + 1$, где γ_{Π} – коэффи-

циент парогазонасыщения пузырьковой зоны; ξ_{Π} – коэффициент гидравлических потерь.

Используя зависимость (4) можно сделать вывод, что отклонение расхода рабочей жидкости, перепускаемой через регулирующий орган стабилизатора, многократно связано с изменением давления в полости на выходе.

Анализ динамических свойств стабилизатора показал, что устойчивость стационарных положений исполнительного плунжера, каждое из которых задается перепадом давлений на жиклере, существенно зависит от эффективности ветвящегося сигнала отрицательной обратной связи скорости его перемещения. При наличии сведений по динамике объекта регулирования приведенные результаты позволят оценить устойчивость системы, двигательной установки стабилизатора в целом и произвести поиск оптимальных решений.

Литература

1. Гуськов В.П. Нестационарная математическая модель первичного преобразователя в расход / В.П. Гуськов, Е.В. Кобец // Высокотемпературные газовые потоки, их получение и диагностика : сборник научных трудов. – Харьков. ХАИ, 1991. – С. 24–31.
2. Борисенко А.И. Газовая динамика двигателей / А.И. Борисенко. – М. : Наука, 2002. – 793 с.
3. Венгерский Э.В. Гидродинамика двухфазных потоков в системах питания энергетических установок // Э.В. Венгерский, В.А. Морозов, Г.Л. Усов. – М. : Наука, 1982. – 128 с.
4. Steam Bubble Cavitation / Mahulkar A.V., Bapat P.S., Pandit A.B., Lewis F.M. // AIChE Jurnal. – 2008. – Vol. 54. – №7. – P. 1711–1724.

УДК 629.7.036

Кобець О.В., Загребельна Л.І.

КОРОТКА НЕСТАЦІОНАРНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТАБІЛІЗАТОРА РЕЖИМУ НЕПРЯМОЇ ДІЇ

Розглядається нестационарна математична модель регулювального кавітаційного обладнання, що працює в рідинних ракетних двигунах.

Kobets E.V., Zagrebelnaj L.I.

SHORT NON-STATIONARY MATHEMATICAL MODEL FOR THE STABILIZER OF INDIRECT ACTION MODE

The Non Stationary mathematical model of the governing cavitation device working in liquid rocket drives is considered.