

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВА В РН С ОДНОКОМПОНЕНТНЫМ ЖРД

**М.И. Дьяченко,
А.Н. Темнов**

Московский Государственный
Технический Университет
имени Н.Э. Баумана
105005, Россия, г. Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
s_masvanva@mail.ru, antt45@mail.ru

В данной работе представлены решения задач о колебаниях жидкости в цилиндрических и конических емкостях, с граничными условиями на свободной поверхности и поверхности с сопротивлением – поверхности слива; особое внимание уделено исследованию влияния перераспределению топлива на возникновение эффекта Пого. Рассматриваемые задачи появились с решением улучшить энергетические характеристики ракет-носителей пакетной схемы, обеспечивая более полную заправку центральной ступени из баков боковых блоков.

Ключевые слова: РН, топливные магистрали, математическая модель; пакетная схема; перераспределение топлива, продольные колебания

Введение

Улучшение энергетических характеристик ракеты-носителя (РН) пакетной схемы является одной из актуальных проблем современных средств выведения. Для повышения энергомассовых свойств второй ступени РН пакетной схемы предлагается перераспределение топлива из бака первой ступени в бак второй во время совместной работы ступеней. Перераспределение топлива может быть осуществлено с помощью бустерного насоса, установленного в нише центрального бака. Наличие насоса приводит к возникновению дополнительных гидросвязей между центральным и боковыми блоками. Работа посвящена исследованию динамических процессов в упрощенной математической модели многоступенчатой РН на активном участке траектории. Продольные колебания РН являются потенциально опасными и при определенных условиях могут вызвать колебания давления в камере сгорания и привести к эффекту Пого.

При исследовании устойчивости продольных колебаний допускается, что одновременное опорожнение четырех боковых блоков через расходные магистрали в двигатели боковых блоков и магистрали перераспределения в центральный блок происходит синхронно. Предполагается, что упругие связи между центральным и боковыми блоками воспринимают только продольные возмущения.

Модель РН с однокомпонентным ЖРД

Математическая модель представляет собой систему линеаризованных дифференциальных

уравнений второго порядка. Система состоит из уравнений сохранения расхода топлива в центральном и боковых баках; уравнений движения топлива в расходных магистралях и магистралях перераспределения; уравнений для изменения давления в бустерном насосе; уравнений ЖРД и уравнений для обобщенных координат продольных колебаний центрального и боковых блоков [1-3].

Математическая модель включает в себя систему гидродинамических уравнений, описывающих динамические процессы в агрегатах и элементах РН как в системе с сосредоточенными параметрами. Математическая модель представляет собой систему линеаризованных дифференциальных уравнений второго порядка.

Система состоит из уравнений движения топлива в расходных магистралях и ЖРД, составленных относительно возмущения давления Δp_{1n} и Δp_{1Bi} на входах в насосы центрального и боковых блоков:

$$\begin{aligned} \Delta \ddot{p}_{1n} + 2\varepsilon_M \Delta \dot{p}_{1n} + \omega_M^2 \Delta p_{1n} = \\ = - \sum_{n=1}^{\infty} (a_{Ln} \ddot{q}_n + b_{Ln} \dot{q}_n) + c_{Ll} \Delta H_{Ll}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta \ddot{p}_{1Bi} + 2\varepsilon_{Mi} \Delta \dot{p}_{1Bi} + \omega_{Mi}^2 \Delta p_{1Bi} = \\ = - \sum_{n=1}^{\infty} (a_{Bn} \ddot{\lambda}_n^i + b_{Bn} \dot{\lambda}_n^i) + \\ + c_{Bi} \Delta H_{Bi} + d_{Bi} \Delta \dot{H}_{Bi}, \quad i=1,2,\dots,N, \end{aligned} \quad (2)$$

уравнений для обобщённых координат продольных колебаний $q_n(t)$, $\lambda_n^i(t)$ центрального и боковых блоков:

$$\ddot{q}_n + 2\varepsilon_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -K_{qq} \Delta p_{1H} + \sum_{i=1}^N K_{q\lambda_i} \lambda_n^i; \quad (3)$$

$$\ddot{\lambda}_n + 2\varepsilon_{ni} \dot{\lambda}_n + \omega_{ni}^2 \lambda_n = -K_{\lambda\lambda} \Delta p_{1Bi} + K_{\lambda iq} q_n, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

и уравнений движения топлива в магистралях перераспределения из баков боковых блоков в бак центрального блока, записанных относительно отклонений уровня топлива $\Delta H_{Ц}$, ΔH_{Bi} :

$$\begin{aligned} \Delta \ddot{H}_{Ц} + 2\varepsilon_{Ц} \Delta \dot{H}_{Ц} + \omega_{Ц}^2 \Delta H_{Ц} &= \omega_{Ц}^2 \Delta H_{Bi} + C_{ЦH} \Delta \dot{H}_{Bi} + \\ &+ C_{Цp} \Delta \dot{p}_{1u} + C_{Цp} \Delta \dot{p}_{1u} + C_{Цp} \Delta p_{1u} + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} (C_{Цqn} \ddot{q}_n + C_{Цqn} \dot{q}_n + C_{Ц\lambda_n} \ddot{\lambda}_n^i) + C_{ЦW} \ddot{u}_{oЦ}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta \ddot{H}_{Bi} + 2\varepsilon_{Bi} \Delta \dot{H}_{Bi} + \omega_{Bi}^2 \Delta H_{Bi} &= \omega_{Bi}^2 \Delta H_{Ц} + C_{Bp} \Delta \dot{p}_{Bi} + \\ &+ C_{Bp} \Delta \dot{p}_{Bi} + C_{Bp} \Delta p_{Bi} + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} (C_{B\lambda_n} \ddot{\lambda}_n^i + C_{B\lambda_n} \dot{\lambda}_n^i + C_{Bqn} \ddot{q}_n) + C_{BW} \ddot{u}_{oBi}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \end{aligned} \quad (6)$$

где N – количество боковых блоков;

$u_{oЦ}(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_{no}^q(0) q_n(t)$ – смещение днища бака

центрального блока при продольных колебаниях корпуса; $q_n(t)$, $f_{no}^q(0)$ – обобщённая координата продольных колебаний корпуса центрального блока и значение формы упругих колебаний днища бака, равное коэффициенту формы колебаний массы механического осциллятора при n – ом тоне колебаний центрального

корпуса; $u_{oBi}(x_i, t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_{no}^{\lambda_i}(0) \lambda_n^i(t)$ – смещение днища бака бокового блока при продольных колебаниях корпуса;

$\lambda_n^i(t)$, $f_{no}^{\lambda_i}(0)$ – обобщённая координата продольных колебаний корпуса i -ого бокового блока и значение формы упругих колебаний днища бака, равное коэффициенту формы

колебаний массы механического осциллятора при n – ом тоне колебаний i -ого бокового корпуса.

Коэффициенты уравнений (1)-(6) задаются формулами, в которые входят параметры невозмущенного движения топлива в расходных магистралях, а также коэффициенты, характеризующие упругие свойства рассматриваемой гидромеханической системы и системы перераспределения.

Анализ уравнений динамики магистралей перераспределения топлива в неподвижном жестком баке бокового блока в неподвижный жесткий бак центрального блока

Рассмотрим динамические процессы, происходящие в системе перераспределения для случая жестких центрального и боковых блоков, закрепленных неподвижно на стенде (рисунок 1). Пусть отсутствует движение топлива в расходных магистралях, а также опустим слагаемое в правой части уравнения для центрального блока, связанное с потерями энергии в боковых блоках (коэффициент $C_{ЦH}$).

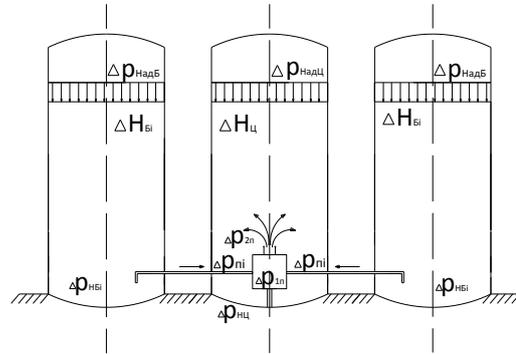


Рисунок 1. Математическая модель системы перераспределения из жестких баков ББ в жесткий бак ЦБ

Для этого случая приведенная система уравнений резко упрощается, и может быть записана в виде

$$\left. \begin{aligned} \Delta \ddot{H}_{Ц} + 2\varepsilon_{Ц} \Delta \dot{H}_{Ц} + \omega_{Ц}^2 \Delta H_{Ц} &= \omega_{Ц}^2 \Delta H_{Bi}, \\ \Delta \ddot{H}_{Bi} + 2\varepsilon_{Bi} \Delta \dot{H}_{Bi} + \omega_{Bi}^2 \Delta H_{Bi} &= \omega_{Bi}^2 \Delta H_{Ц}, \quad i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Пусть ББ и ЦБ являются однородными блоками [4]. Определим свободные движения рассматриваемой системы, задав начальные условия:

$$\begin{aligned}\Delta H_{Ц}(0) &= a; \Delta H_{Бi}(0) = b_i; \\ \Delta \dot{H}_{Ц}(0) &= a_1; \\ \Delta \dot{H}_{Бi}(0) &= b_{1i}.\end{aligned}$$

Систему уравнений (7) приведем к главным обобщенным координатам. Для этого вычтем из первого уравнения каждое i -ое второе, а затем сложим первое со вторым, предварительно умножив первое на $\gamma_{Ц}$, второе на $\gamma_{Б}$.

Введём обобщённые координаты

$$\begin{aligned}\text{где } q_{1i} &= \Delta H_{Ц} - \Delta H_{Бi}; \\ q_{2i} &= \gamma_{Ц} \Delta H_{Ц} + \gamma_{Б} \Delta H_{Бi}; \\ \gamma_{Ц} &= \frac{F_O}{F_O + NF_{обi}}; \gamma_{Б} = \frac{NF_{обi}}{F_O + NF_{обi}}\end{aligned}$$

а отклонения $\Delta H_{Ц}, \Delta H_{Бi}$ выразятся через обобщённые координаты формулами:

$$\begin{aligned}\Delta H_{Ц} &= q_{2i} + \gamma_{Б} q_{1i}; \\ \Delta H_{Бi} &= q_{2i} - \gamma_{Ц} q_{1i}.\end{aligned}$$

В результате преобразований получим дифференциальные уравнения главных колебаний системы перераспределения

$$\begin{aligned}\ddot{q}_{1i} + 2\varepsilon_{1i} \dot{q}_{1i} + \Omega_{1i}^2 q_{1i} &= 0; \\ \ddot{q}_{2i} + 2\varepsilon_{2i} \dot{q}_{2i} &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{где } 2\varepsilon_{1i} = 2\varepsilon_{2i} &= \left(\frac{(\zeta_{\Pi} V_{1\Pi}^* - k_V) NF_{\Pi i}}{F_{\Pi}} + \right. \\ & \left. + \zeta_{\Sigma i} V_{\Pi i}^* \right) / l_{\Pi i}; \\ \Omega_{1i}^2 &= \frac{j F_{\Pi i} (NF_{обi} + F_O)}{l_{\Pi i} F_O F_{обi}}.\end{aligned}$$

Как следует из приведённых результатов, главные частоты подсистемы перераспределения будут равны:

$$\omega_{1i} = -\varepsilon_{1i} \pm i\Omega_{1i};$$

$$\omega_{2i} = 2\varepsilon_{2i};$$

$$\Omega_{1i} = \sqrt{\Omega_{2i}^2 - \varepsilon_{1i}^2}.$$

В случае возникновения свободных движений топлива в магистралях перераспределения из состояния покоя т.е. $b_{1i} = a_1 = 0$ имеем выражения:

$$\Delta H_{Цi} = \gamma_{Ц} a + \gamma_{Бi} b_i + \gamma_{Бi} \frac{a - b_i}{\Omega_{1i}} \cdot$$

$$\cdot \Omega_{1i} e^{-\varepsilon_{1i} t} \sin(\Omega_{1i} t + \varphi_i);$$

$$\Delta H_{Бi} = \gamma_{Ц} a + \gamma_{Бi} b_i - \gamma_{Ц} \frac{a - b_i}{\Omega_{1i}} \cdot$$

$$\cdot \Omega_{1i} e^{-\varepsilon_{1i} t} \sin(\Omega_{1i} t + \varphi_i);$$

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \Omega_{1i} / \varepsilon_{1i}.$$

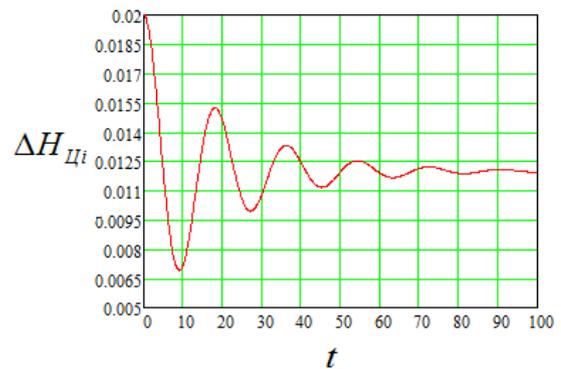
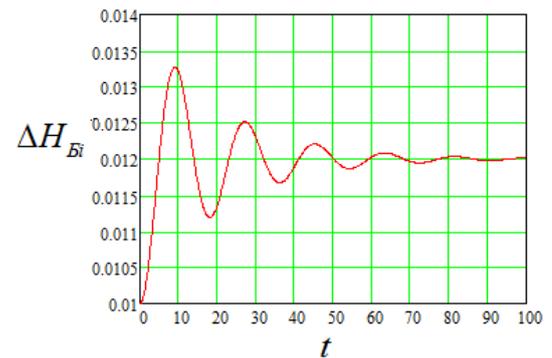


Рисунок 2. Зависимости отклонения высоты столба жидкости от времени при начальных отклонениях координат

Если в результате мгновенного приложения давления скорости изменения $\Delta H_{Ц}, \Delta H_{Бi}$

приобретут начальные конечные значения a_1 , b_{1i} , то свободные движения уровня топлива будут следовать зависимостям:

$$\Delta H_{\text{Би}} = (\gamma_{\text{Ц}} a_1 + \gamma_{\text{Би}} b_{1i})(1 - e^{-2\varepsilon_{1i}t}) /$$

$$/ 2\varepsilon_{1i} + \gamma_{\text{Би}} \frac{a_1 - b_{1i}}{\Omega_i} e^{-\varepsilon_{1i}t} \sin(\Omega_i t);$$

$$\Delta H_{\text{Би}} = (\gamma_{\text{Ц}} a_1 + \gamma_{\text{Би}} b_{1i})(1 - e^{-2\varepsilon_{1i}t}) /$$

$$/ 2\varepsilon_{1i} - \gamma_{\text{Ц}} \frac{a_1 - b_{1i}}{\Omega_i} e^{-\varepsilon_{1i}t} \sin(\Omega_i t).$$

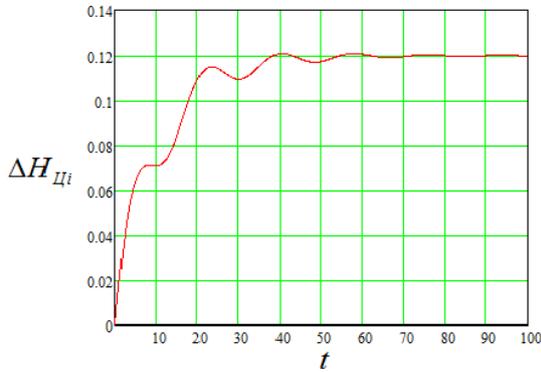
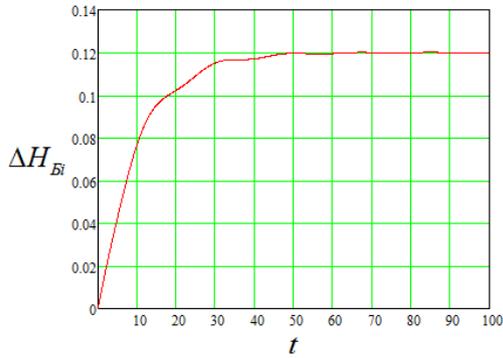


Рисунок 3. Зависимости отклонений высоты столба жидкости от времени при заданных начальных скоростях координат

Анализ уравнений динамики магистралей перераспределения топлива в неподвижном жестком баке в неподвижный жесткий бак центрального блока с системой подачи топлива в двигателях

Рассмотрим более сложную математическую модель [5], учитывающую движение топлива в

расходных магистралях и камерах сгорания двигателей.

Уравнения возмущенного движения (1)-(6) гидродинамической системы в этом случае запишется в следующем виде:

$$\Delta \ddot{p}_{1n} + 2\varepsilon_M \Delta \dot{p}_{1n} + \omega_M^2 \Delta p_{1n} = c_{\text{Ц}} \Delta H_{\text{Ц}};$$

$$\Delta \ddot{p}_{1\text{Би}} + 2\varepsilon_{\text{Ми}} \Delta \dot{p}_{1\text{Би}} + \omega_{\text{Ми}}^2 \Delta p_{1\text{Би}} = c_{\text{Би}} \Delta H_{\text{Би}};$$

$$\varepsilon_{\text{Ц}} \Delta \dot{H}_{\text{Ц}} + \omega_{\text{Ц}}^2 \Delta H_{\text{Ц}} = \omega_{\text{Ц}}^2 \Delta H_{\text{Би}} + C_{\text{ЦФ}} \Delta \dot{p}_{1n} +$$

$$+ C_{\text{ЦФ}} \Delta \dot{p}_{1n} + C_{\text{ЦФ}} \Delta p_{1n};$$

$$\Delta \ddot{H}_{\text{Би}} + 2\varepsilon_{\text{Би}} \Delta \dot{H}_{\text{Би}} + \omega_{\text{Би}}^2 \Delta H_{\text{Би}} = \omega_{\text{Би}}^2 \Delta H_{\text{Ц}} +$$

$$+ C_{\text{БФ}} \Delta \dot{p}_{\text{Би}} + C_{\text{БФ}} \Delta \dot{p}_{\text{Би}} + C_{\text{БФ}} \Delta p_{\text{Би}},$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

где

$$2\varepsilon_{\text{Ми}} = \frac{l_{1\text{Би}} Y_{\text{дв}} + \zeta_{\text{Ми}} V_{\text{Ми}}^* K_{\text{унр}}}{K_{\text{унр}} l_{1\text{Би}}}; \quad \omega_{\text{Ми}}^2 = \frac{1 + \rho \zeta_{\text{Ми}} V_{\text{Ми}}^* Y_{\text{дв}}}{K_{\text{унр}} l_{1\text{Би}} \rho};$$

$$c_{\text{Би}} = \frac{j}{K_{\text{унр}} l_{1\text{Би}}}; \quad d_{\text{Би}} = \frac{\psi}{K_{\text{унр}} l_{1\text{Би}}}; \quad c_{\text{Ц}} = \frac{j}{K_{\text{унр}} l_{1\text{Ц}}};$$

$$2\varepsilon_M = \frac{l_{1\text{Ц}} Y_{\text{дв}} + \zeta_{\text{М}} V_{\text{М}}^* K_{\text{унр}}}{K_{\text{унр}} l_{1\text{Ц}}};$$

$$\omega_M^2 = \frac{1 + \rho \zeta_{\text{М}} V_{\text{М}}^* Y_{\text{дв}}}{K_{\text{унр}} l_{1\text{Ц}} \rho};$$

$$C_{\text{ЦБ}} = -NF_{\text{П}} H_{\text{Би}} / l_{\text{П}} F_{\text{О}};$$

$$C_{\text{ЦВ}} = -F_{\text{М}} / F_{\text{О}}; \quad C_{\text{БВ}} = -F_{\text{Ми}} / F_{\text{Оби}};$$

$$C_{\text{ЦФ}} = -(\zeta_{\text{П}} V_{1\text{П}}^* - k_{\text{V}}) F_{\text{М}} N F_{\text{П}} /$$

$$/ l_{\text{П}} F_{\text{О}} F_{\text{П}} - \zeta_{\Sigma i} V_{\text{П}}^* F_{\text{М}} / F_{\text{О}} l_{\text{П}};$$

$$C_{\text{БВ}} = -(\zeta_{\text{П}} V_{1\text{П}}^* - k_{\text{V}}) N F_{\text{Ми}} F_{\text{П}} /$$

$$/ F_{\text{П}} F_{\text{Оби}} l_{\text{П}} - \zeta_{\Sigma i} V_{\text{П}}^* F_{\text{Ми}} / F_{\text{Оби}} l_{\text{П}}.$$

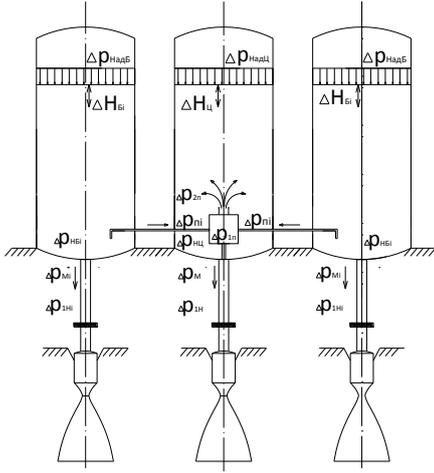


Рисунок 4. Гидравлическая схема системы перераспределения из жестких баков ББ в жесткий бак ЦБ с системой подачи топлива в двигателя

Введем обобщенные координаты:

$$\left. \begin{aligned} q_{1i} &= \Delta H_{Ц} - \Delta H_{Бi}, & q_{2i} &= \gamma_0 \Delta H_{Ц} + \gamma_B \Delta H_{Бi} \\ \Delta \pi_{1i} &= \Delta p_{1и} - \Delta p_{1Бi}, & \Delta \pi_{2i} &= \gamma_0 \Delta p_{1и} + \gamma_B \Delta p_{1Бi} \end{aligned} \right\}$$

Предполагая, что блоки однородные, приходим к уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \ddot{\pi}_{1i} + 2\varepsilon_M \Delta \dot{\pi}_{1i} + \omega_M^2 \Delta \pi_{1i} &= c_{q1} q_{1i}; \\ \Delta \ddot{\pi}_{2i} + 2\varepsilon_M \Delta \dot{\pi}_{2i} + \omega_M^2 \Delta \pi_{2i} &= c_{q2} q_{2i}; \\ \Delta \ddot{q}_{1i} + 2\varepsilon_1 \Delta \dot{q}_{1i} + \Omega_1^2 \Delta q_{1i} &= C_{Цр} \Delta \ddot{\pi}_{1i} + C_{Цр} \Delta \dot{\pi}_{1i} + C_{Цр} \Delta \pi_{1i}; \\ \Delta \ddot{q}_{2i} + 2\varepsilon_2 \Delta \dot{q}_{2i} &= C_{Бр} \Delta \ddot{\pi}_{2i} + C_{Бр} \Delta \dot{\pi}_{2i} + C_{Бр} \Delta \pi_{2i}. \end{aligned} \right\} (8)$$

Систему уравнений (8) можно привести к двум уравнениям относительно функций $\Delta \pi_{1i}$ и $\Delta \pi_{2i}$:

$$\begin{aligned} a_0 \Delta \ddot{\pi}_{1i} + a_1 \Delta \dot{\pi}_{1i} + a_2 \Delta \pi_{1i} + a_3 \Delta \dot{\pi}_{2i} + a_4 \Delta \pi_{2i} &= 0; \\ b_0 \Delta \ddot{\pi}_{2i} + b_1 \Delta \dot{\pi}_{2i} + b_2 \Delta \pi_{2i} + b_3 \Delta \dot{\pi}_{1i} + b_4 \Delta \pi_{1i} &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} a_0 &= 1; \\ a_1 &= 2\varepsilon_M + 2\varepsilon_1; \\ a_2 &= \omega_M^2 + 2\varepsilon_M 2\varepsilon_1 + \Omega_1^2 - c_{q1} C_{Цр}; \\ a_3 &= 2\varepsilon_1 \omega_M^2 + 2\varepsilon_M \Omega_1^2 - c_{q1} C_{Цр}; \\ a_4 &= \omega_M^2 \Omega_1^2 - c_{q1} C_{Цр}; \end{aligned}$$

$$b_0 = 1;$$

$$b_1 = 2\varepsilon_M + 2\varepsilon_2;$$

$$b_2 = \omega_M^2 + 2\varepsilon_2 2\varepsilon_M - C_{Цр} C_{q};$$

$$b_3 = 2\varepsilon_2 \omega_M^2 - C_{Цр} C_{q};$$

$$b_4 = -C_{Цр} C_{q};$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2.$$

Далее $\Delta \pi_{1i} = \Delta \pi_{1i}^0 e^{-j\omega t}$ и $\Delta \pi_{2i} = \Delta \pi_{2i}^0 e^{-j\omega t}$ подставим в (9) и каждое из полученных уравнений представим в виде суммы мнимой и действительной частей, каждое из которых будет содержать безразмерные параметры $\bar{\omega}_M^2$ и $2\bar{\varepsilon}_M$. Приравняв мнимую и действительную части полученных выражения к нулю, выразим исследуемые величины $2\bar{\varepsilon}_M$ и $\bar{\omega}_M^2$ для $\Delta \pi_{1i}$:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\omega}_M^2 &= \left[\frac{\omega^6 + (4\varepsilon_1^2 - x - 2)\omega^4 + (x+1 - 4\varepsilon_1 x \alpha -)}{-4\varepsilon_1^2 x \omega^2 + 2\varepsilon_1 x \alpha} \right] / \\ & / \left[\omega^4 + 2(2\varepsilon_1^2 - 1)\omega^2 + 1 \right]; \\ 2\bar{\varepsilon}_M &= \frac{x((\omega^2 - 1)\alpha - 2\varepsilon_1(1 + 2\varepsilon_1 \alpha))}{\omega^4 + 2(2\varepsilon_1^2 - 1)\omega^2 + 1} \end{aligned} \right\} \text{ и}$$

$$\text{для } \Delta \pi_{2i}: \left. \begin{aligned} \bar{\omega}_M^2 &= \omega^2 - x; \\ 2\bar{\varepsilon}_M &= \frac{x\alpha}{\omega^2}, \end{aligned} \right\}$$

где приняты следующие обозначения:

$$x = \frac{F_M l_{Пi}}{l_1 F_{Пi} (N+1)};$$

$$\alpha = \frac{Y_{\partial \partial}}{K_{\text{упр}} \Omega_1};$$

$$\Omega_1 = \sqrt{\frac{\gamma F_{Пi}}{F_{Бi} l_{Пi} (N+1)}}.$$

Область устойчивости для системы $\Delta \pi_{1i}$ и $\Delta \pi_{2i}$, при которых корни имеют одновременно отрицательную вещественную часть находятся выше заштрихованной области для кривой $\Delta \pi_{1i}$.

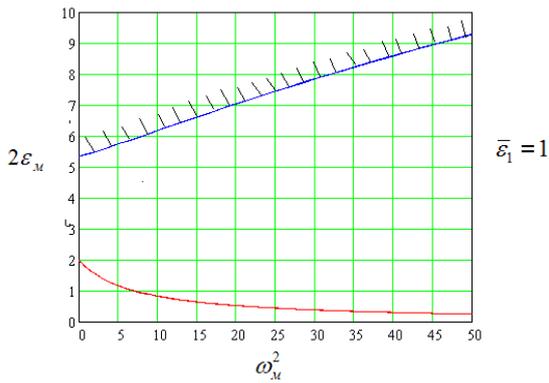


Рисунок 5. Область устойчивости в плоскости двух параметров для $\Delta\pi_{1i}$ и $\Delta\pi_{2i}$.

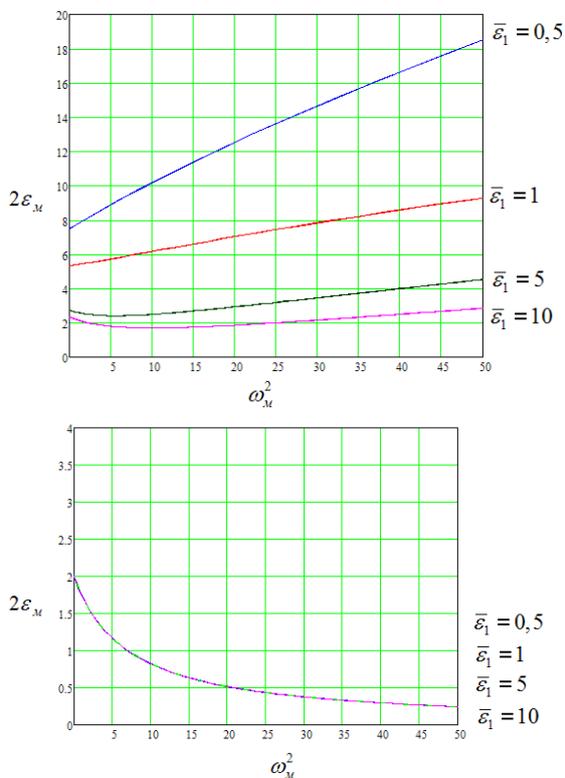


Рисунок 6 Графики в плоскости двух параметров для $\Delta\pi_{1i}$ и $\Delta\pi_{2i}$ при различных $\bar{\varepsilon}_1$ соответственно

Заключение

Данная работа содержит систему дифференциальных уравнений, описывающих возмущенное движение топлива в магистралях многоступенчатых ракет-носителей пакетной схемы с учетом подачи топлива из баков боковых блоков в бак центрального блока с помощью бустерного насоса в баке центрального блока на активном участке полета.

Список использованных источников

[1] Нестеров В.Е. Исследование энергомассовой эффективности ракет-носителей с использованием перелива топлива [Текст] / В.Е. Нестеров, А.И. Кузин, Ю.О. Бахвалов, А.А. Николаев, И.А. Биркин, В.А. Гордеев // Авиакосмическая техника и технология, 2010. № 3. С. 13-24.

[2] Гордеев В.А. Принципы построения и структурные схемы систем управления расходом топлива и наддува баков РН с гидравлическими связями между боковыми и центральными блоками [Текст] / В.А. Гордеев, В.А. Жуков, В.К. Завадский, В.П. Иванов, Е.Б. Каблова, Л.Г. Кленовая, М.Ю. Мозжорина // Научно-технические разработки ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева. - М.: Машиностроение, 2010. -С. 331-337.

[3] Колесников К.С. Динамика ракет. [Текст] / К.С. Колесников. – М.: Машиностроение, 2003. 520 с.

[4] Биркин И.А. Об эффективности перелива топлива между ракетными ступенями, Актуальные проблемы российской космонавтики [Текст] / И.А. Биркин // Материалы XXXV академических чтений по космонавтике. Москва, январь 2011 г. – М., С.42-43.

[5] Кириллов В.В. Исследование колебаний жидкости в неподвижном сосуде с учётом её вытекания [Текст] / В.В. Кириллов // Труды МФТИ - М., 1960. Вып. 5. С. 19-25.

THE INVESTIGATION OF THE STABILITY OF THE PROPELLANT INTAKE IN CARRIER ROCKET WITH MONOPROPELLANT ROCKET ENGINE

**M.I. Diachenko,
A.N. Temnov**

Bauman Moscow State
Technical University
5/1, ul. Baumanskaya 2-ya,
Moscow, 105005, Russia
s_masyanya@mail.ru
ant45@mail.ru

The problem of propellant free oscillations in cylindrical and conical tanks is considered and solutions presented with boundary conditions on a free surface and the surface of intake which if speak figuratively provides a resistance to the fluid descent; the special attention was given to research influences the propellant intake on appearance Pogo effect. Such problems have come from the purpose to increase efficiency and output performance of the multistage cluster rockets by a central stage fueling from the side stages of a cluster.

Key words: *mathematical model, the multistage cluster rockets, the propellant intake, longitudinal oscillations*

References

- [1] Nesterov, V.E., Kuzin, A.I., Bakhalov, Y.O., Nikolaev, A.A., I.A. Birkin, I.A. and Gordeev, V.A. (2010), Issledovanie energomassovoy effektivnosti raket-nositeley s ispol'zovaniem pereliva topliva [Investigations of energy and mass efficiency of launch vehicles with using of fuel spillover], Aviakosmicheskaya tekhnika I tekhnologiya, no. 3, pp. 13-24.
- [2] Gordeev, V.A., Zhukov, V.A., Zavadskiy, V.K., Ivanov, V.P, Kablova, E.B., Klenova, L.G. and Mozzhorina, M.Y. (2010), Princyipy postroeniya i strukturnye skhemy upravleniya rashodovaniem topliva i nadduva bakov RN s gidravlicheskimy svyazyami mezhdubokovymi I tsentralnym blokami [Design principles and schematic diagram for fuel flow control and tanks pressurization taking into account hydraulic connections between side and central tanks in space rockets], Mashinostroenie, Moscow, Russia, pp. 331-337.
- [3] Kolesnikov, K.S, (2003). Dinamika raket [Rockets dynamics], Mashinostroenie, Moscow, Russia, 520 p.
- [4] Birkin, I.A. (2011), Ob effektivnosti pereliva topliva mezhdubokovymi stupenyami [Efficiency of fuel spillover between rocket tanks] Aktual'nye problemy rossiyskoy kosmonavtiki. – Materialy XXXY akademicheskikh chteniy po kosmonavtike, Moscow, pp. 42-43.
- [4] Kirillov, V.V. (1960), Issledovanie kolebaniy zhidkosti v nepodvizhnom sosude s uchedom ee vytekaniya [Investigations of fluid oscillations in motionless vessel taking into account fluid streaming], Trudy MFTI, Moscow, Russia, vol. 5, pp. 19-25.