АНАЛИЗ АБСОЛЮТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИНГУЛЯРНО-ВОЗМУЩЕННЫХ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ ПРИ СТРУКТУРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ (РАВНОМЕРНОЕ ГРАДУИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ШКАЛЫ)

В.Г.МИЛАДЖАНОВ, Р.В.МУЛЛАЖОНОВ, К.Х.ТУРГУНОВА, Ж.В.МУЛЛАЖОНОВА

Сингуляр тойиган йирик масштабли системаларнинг турғунлиги масаласи ўрганилган, аммо унинг абсолют турғунлиги кўриб чиқилмаган эди. Мақолада Лурье типидаги сингуляр-тойиган йирик масштабли системалар абсолют турғунлигининг етарли шартлари текис даражаланган вақт шкаласида ҳосил қилинган.

Калит сўзлар: *турғунлик, сингуляр тойиган, йирикмасштабли, абсолют турғунлик.*

Проблема устойчивости сингулярно-возмущенных крупномасштабных систем изучена достаточно, но их абсолютная устойчивость еще рассматриваласье. Эта работа посвящена изучению абсолютной устойчивости сингулярео-возмущенных крупномасштабных систем типа Лурье на равномерно градуированной временной шкале.

Ключевые слова: *устойчивость, сингулярно-возмущенный, крупномасштабный, абсолютная устойчивость.*

Stability of the singular-indignant large scale systemsas been investigated but their absolute stability has not been studied yet. This article is devoted to the study of formation of sufficient condition of asymptotic stability of the singular-indignant large scale systems such as system of a class of Lure.

Key words: *stability, singular-indignant, large scale, absolute stability.*

При исследовании устойчивости крупномасштабных систем эффективным является такой подход, который позволяет построить матрицу агрегирования размерности меньшей, чем размерность исходной системы, и свойства которой следуют свойства нулевого решения исходной системы. Другим важным вопросом является оценка границы допустимых верхних значений параметров m_i. При решении этой задачи возникает проблема построения полной системы функций Ляпунова и проблема взаимной независимости малых параметров. Свойства взаимной независимости малых параметров влияют на выбор временных шкал для подсистем. В случае равномерного градуирования временной шкалы сингулярно-возмущенная система типа Лурье имеет вид:

$$\frac{dx_i}{dt} = A_i x_i + \sum_{\alpha=1}^{r} S_{i\alpha}^{(1)} A_{i\alpha} y_\alpha + q_{i1} f_{i1}(\sigma_{i1}),$$

$$\sigma_{i1} = \hat{c}_{i1}^T E_i + \hat{c}_{i2}^T y_i, \qquad \forall i = 1,2,...,q;$$

$$\mu_1 \frac{dy_i}{dt} = \sum_{\beta=1}^{q} \mu_1 S_{q+i}^{(1)} B_{i\beta} x_\beta + \tau_i B_i y_i + \tau_i q_{i2} f_{i2}(\sigma_{i2}) + \tau_i q_{i3} f_{i3}(\sigma_{i3}), \qquad (1)$$

$$\sigma_{i2} = \mu \hat{c}_{i3}^T x_i + \hat{c}_{i4}^T y_i; \quad \sigma_{i3} = \sum_{\beta=1}^{q} \mu_1 \hat{c}_{\beta 5}^T S_{q+i,\beta}^{(2)} x_\beta + \sum_{\beta=1}^{r} \hat{c}_{\beta 6}^T S_{q+i,\beta}^{3} y_\beta,$$

$$\forall i = 1,2,...,r \text{ , } q+r=s,$$

где

$$\sigma_{ij}^{-1} f_{ij}(\sigma_{ij}) \in [0, k_{ij}] \subset R_+ \begin{cases} i = 1,...,q : >340\ j = 1 \\ i = 1,...,r : >340\ j = 2,3. \end{cases}$$

все матрицы и векторы соответствующего порядка, причем

$$S_{il}^{(1)}, \quad S_{q+i,l}^{(1)}, \quad S_{q+i,l}^{(2)}, \quad S_{q+i,l}^{(3)}$$

диагональные матрицы.

Пусть

$$S_i = \begin{bmatrix} S_{i1}^{(1)} & S_{i2}^{(1)} ... S_{ii-1}^{(1)} & I & S_{ii=1}^{(1)} ... S_{iq}^{(1)} \\ S_{q+i,1}^{(1)} & S_{q+i,2}^{(1)} ... S_{q+i,i-1}^{(1)} & I & S_{q+i,I+1}^{(1)} ... S_{q+i,q}^{(1)} \\ S_{q+i,1}^{(2)} & S_{q+i,2}^{(2)} ... S_{q+i,i-1}^{(2)} & O & S_{q+i,i+1}^{(2)} ... S_{q+i,q}^{(2)} \\ S_{q+i,1}^{(3)} & S_{q+i,2}^{(3)} ... S_{q+i,i-1}^{(3)} & O & S_{q+i,i+1}^{(3)} ... S_{q+i,q}^{(3)} \end{bmatrix},$$

$$S = diag\{S_1, S_2, ..., S_q\}.$$

Структурное множество определим формулой

$$\Phi_s = \{S : 0 \le S_{jl}^{(k)} \le I,\ S_{ii}^{(1)} = S_{q+i,i} = I;\ S_{q+i,i}^{(2)} = S_{q+i,i}^{(3)} = 0,\ i,I = 1,2,...q,\ k = 1,2,3\},$$

где I - единичная матрица соответствующей размерности. $\tau_i \in [\underline{\tau}_i, \overline{\tau}_i]$; числа $\underline{\tau}_i$ и $\overline{\tau}_i$ заданы.

Для анализа асимптотической устойчивости КМС типа Лурье (1) построим МФ

$$U(t,x,y,m_1) = \begin{bmatrix} U_{11}(t,x) & \mu_1 U_{12}(t,x,y) \\ \mu_1 U_{12}^T(t,x,y) & \mu_1 U_{22}(t,x) \end{bmatrix}, \qquad (2)$$

где

$$U_{11}(t,x) = [v_{ip}(t,x_i,x_p)],\ v_{ip} = v_{pi},\ i,p = 1,2,\ldots,q;$$
$$U_{22}(t,x) = [v_{q+j,q+l}(t,x_i,y_i)],\ v_{q+j,q+l} = v_{q+l,q+j},\ j,l = 1,2,\ldots,r;$$
$$U_{12}(t,x,y) = [v_{j,q+j}(t,x_i,y_i)],\ i = 1,2,\ldots q,\ j = 1,2,\ldots,r,$$

с элементами

$$v_{ip}(x_i,x_p) = v_{pi}(x_i,x_p) = x_i^T P_{ip} x_p,\ i,p = 1,2,\ldots,q;$$

$$v_{q+j,q+j}(y_i,y_l) = v_{q+j,q+j}(y_i,y_l) = y_j^T P_{q+j,q+l} y_l, \qquad (3)$$

$$v_{i,q+j}(x_i y_j) = x_i^T P_{i,q+j} y_j,\ i = 1,2,\ldots,q;\ j = 1,2,\ldots,r,\ q+r = s,$$

где P_{ii}, $P_{q+j,q+l}$- симметрические, положительно-определенные матрицы;

P_{ii}, $i \ne p$, $P_{q+j,q+l}$, $j \ne l$, $P_{i,q+j}$- постоянные матрицы.

Для функции (3) выполняются оценки:

а) $\lambda_m(P_{ii}) \|x_i\|^2 \le v_{ij}(x_i) \le \lambda_m(P_{ii}) \|x_i\|^2,\ \forall x_i \in N_{ix0},\ i \in [1,q]$

б) $\lambda_m(P_{q+j,q+j}) \|y_j\|^2, \le v_{q+j,q+j}(y_j) \le \lambda_m(P_{q+j,q+j}) \|y_j\|^2,\ \forall y_j \in N_{jy0},\ j = 1,2,\ldots,r;$

в) $-\lambda_M^{\frac{1}{2}}(P_{ip}P_{ip}^T) \|x_i\| \|x_p\| \le v_{ip}(x_i,x_p) \le \lambda_M^{\frac{1}{2}}(P_{ip}P_{ip}^T) \|x_i\| \|x_p\|,\ \forall (x_i,x_p) \in N_{ix0} \times N_{px0},\ i,p = 1,2,\ldots,q,\ i \ne p;$ (4)

г) $-\lambda_M^{\frac{1}{2}}(P_{q+j,q+l}P_{q+j,q+l}^T) \|y_j\| \cdot \|y_l\| \le v_{q+j,q+l}(y_j,y_l) \le \lambda_M^{\frac{1}{2}}(P_{q+j,q+l}P_{q+j,q+l}^T) \|y_j\| \cdot \|y_l\|,$

$\forall (y_j,y_l) \in N_{jy0} \times N_{ly0},\ j,l = 1,2,\ldots,r,\ j \ne l;$

д) $-\lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}{}_{i,q+j}(x_i,y_j) \le v_{i,q+j}(x_iy_j) \le \lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}(P_{i,q+j}\ P_{i,q+j}^T)\|x_i\|\cdot\|y_j\|, \forall(x_i,y_j)\in N_{ix0}x\,N_{jy0}$, i=1,2,…,q, j=1,2,…,r , q+r=s,

где $\lambda_m(\cdot)$ – минимальные собственные числа, $\lambda_m(\cdot)$ – максимальные собственные числа, $\lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}$ - норма матриц.

При выполнении оценок (4) для функции (2) с элементами (3) верна двусторонняя оценка

$$u^TA(\mu_1)u \le U(x,y,\mu_1) \le u^TB(\mu_1)u,\ \forall(x_i,y_j,\mu_1)\in N_{ix0}x\,N_{jy0}xM,$$

где

$$u^T=(\|x_1\|,\|x_2\|,...,\|x_q\|,\|y_1\|,\|y_2\|,...,\|y_r\|),\ A(\mu_1)=H^TA_1(\mu_1)H,\ B(\mu_1)=H^TA_2(\mu_1)H,\ H=diag\{\eta_1,\ldots,\eta_S\}$$

$$A_1(\mu_1)=\begin{bmatrix} A_{11} & \mu_1A_{22} \\ \mu_1A_{12}^T & \mu_1A_{22}\end{bmatrix},\ A_2(\mu_1)=\begin{bmatrix} \overline{A_{11}} & \mu_1\overline{A}_{12} \\ \mu_1\overline{A}_{12}^T & \mu_1\overline{A}_{22}\end{bmatrix},$$

$$A_{11}=[\underline{\alpha}_{ip}],\ \underline{\alpha}_{ip}=\underline{\alpha}_{pi},\ \overline{A}_{11}=[\overline{\alpha}_{ip}],\ \overline{\alpha}_{ip}=\overline{\alpha}_{pi}$$

$$A_{22}=[\underline{\alpha}_{q+j,q+l}],\ \underline{\alpha}_{q+j,q+l}=\underline{\alpha}_{q+l,q=j},\ \overline{A}_{22}=[\overline{\alpha}_{q+j,q+l}],\ \overline{\alpha}_{q+j,q+l}=\overline{\alpha}_{q+l,q=j},$$

$$A_{12}[\underline{\alpha}_{i,q+j}],\ \overline{A}_{12}=[\overline{\alpha}_{i,q+j}],\ i,p=1,2,\ldots,q;\ j,l=1,2,\ldots,r;\ q+r=s.$$

$$\underline{\alpha}_{ii}=\lambda_m(P_{ii});\ \underline{\alpha}_{ip}=\underline{\alpha}_{pi}=-\lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}(P_{ip}P_{ip}^T),\ i\ne p=1,2,\ldots,q;$$

$$\overline{\alpha}_{ii}=\lambda_m(P_{ii});\ \overline{\alpha}_{ip}=\overline{\alpha}_{pi}=\lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}(P_{ip}P_{ip}^T),\ i\ne p=1,2,\ldots,q;$$

$$\underline{\alpha}_{q+j,q+l}=\lambda_m(P_{q+j,q+l});\ \underline{\alpha}_{q+j,q+l}=\underline{\alpha}_{q+l,q+j}=-\lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}(P_{q+j,q+l}P_{q++j,q+l}^T),\ j,l=1,2,\ldots,r;\ j\ne l;$$

$$\overline{\alpha}_{q+j,q+l}=\lambda_m(P_{q+j,q+l});\ \overline{\alpha}_{q+j,q+l}=\overline{\alpha}_{q+l,q+j}=\lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}(P_{q+j,q+l}P_{q++j,q+l}^T),\ j,l=1,2,\ldots,r;\ j\ne l;$$

$$\underline{\alpha}_{i,q+j}=-\lambda_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{M}}(P_{i,q+j}\ P_{i,q+j});\ \overline{\alpha}_{q+j,q+l}=\underline{\alpha}_{i,q+j},\ i\in[1,q],\ j\in[1,r].$$

Не трудно проверить, что если матрицы A^*_{11} и A^*_{22} – положительно-определенные, то функция

$$V(t,x,y,\mu_1)=\eta^TU(t,x,y,\mu_1)\eta \qquad (5)$$

положительно-определенная при любом $\mu_1\in]0,\ \mu^*_1[$ и при $\mu_1\to 0$,
где

$$\mu_1^*=\min\left\{1,\frac{\lambda_m(A_{11}^*)\lambda_m(A_{22}^*)}{\lambda_M(A_{12}^*A_{12}^{*T})}\right\},$$

$$A_{11}^*=H_1^TA_{11}H_1,\ \ A_{22}^*=H_2^TA_{22}H_2\ \ A_{12}^*=H_1A_{12}H_2,$$

$$H_1=diag\{\eta_1,\eta_2,\ldots,\eta_q\},H_1=diag\{\eta_{q+1},\eta_{q+2},\ldots,\eta_S\}.$$

Для функции (5) верна двусторонняя оценка

$$\begin{aligned} &u^TA(\mu)u \le V(x,y,\mu_1) \le u^TB(\mu)u,\\ &\forall(x_i,y_j,\mu_1)\in N_{ix_0}\times N_{jy_0}\times\mu,\ \forall\tau_i\in[\underline{\tau}_i,\overline{\tau}_i],\end{aligned} \qquad (6)$$

Лемма 1. Если для системы (1) построена МФ (2) с элементами (3), то для полной производной функции (5) в силу системы (1) выполняется неравенство:

$$\begin{aligned} &DV(x,y,\mu_1)\le u^TC^*u+\mu_1u^TG^*u,\\ &\forall(x,y,\mu_1,s)\in N_{x_0}\times N_{y_0}\times\mu\times\phi_s,\end{aligned} \qquad (7)$$

где

$$u^T = (\|x_1\|,\|x_2\|,...,\|x_q\|,\|y_1\|,\|y_2\|,...,\|y_r\|),$$

$$C^* = [c_{ij}^*],\ c_{ij}^* = c_{ji}^*,\ i,j = 1,2,...,s;$$

$$G^* = [\sigma_{ij}^*],\ \sigma_{ij}^* = \sigma_{ji}^*,\quad i,j = 1,2,...,s;$$

$$c_{ii}^* = \lambda_M(c_{ii}),\ c_{ii} = p_{ii}A_i + A_i^T p_{ii} + p_{ii}q_{i1}k_{i1}^*(\hat{c}_{i1}^{\,i})^T + (q_{i1}k_{i1}^*(\hat{c}_{i1}^{\,i})^T)^T p_{ii} +$$

$$+2\sum_{\substack{p=2\\ p\rangle i}}^{q}(p_{ip}q_{p1}k_{p1}^*(c_{p1}^p)^T + (q_{p1}k_{p1}^*(c_{p1}^p)^T)^T p_{ip}^T),\quad i = 1,2,...,q;$$

$$C_{q+j,q+j}^* = \lambda_M(C_{q+j,q+j}(\tau_j^*,\bar{s})),\quad C_{q+j,q+j}(\tau_j^*,\bar{s}) = p_{q+j,q+j}\tau_j^* B_j + \tau_j^* B_j^T p_{q+j,q+j} +$$

$$+p_{q+j,q+j}\tau_j^* q_{j2}k_{j2}^*(\hat{c}_{j4})^T + (\tau_j^* q_{j2}k_{j2}^*(\hat{c}_{j4})^T)^T p_{q+j,q+j} + p_{q+j,q+j}\tau_j^* q_{j3}k_{j3}^*(\hat{c}_{j6})^T S_{q+j,j}^{-(3)})^T p_{q+j,q+j} +$$

$$p_{q+j,q+j} + \sum_{\substack{l=2\\ l>j}}^{r}\{p_{q+j,q+l}\tau_l^* q_{l3}k_{l3}^*(\hat{c}_{j6})^T S_{q+l,j}^{-(3)} + (\tau_l^* q_{l3}k_{l3}^*(\hat{c}_{j6})^T S_{q+l,j}^{-(3)})^T p_{q+j,q+l}^T +$$

$$(\tau_j^* q_{j3}k_{j3}^*(\hat{c}_{l6})^T S_{q+j,l}^{-(3)})^T p_{q+j,q+l} + p_{q+j,q+l}^T\tau_j^* q_{j3}k_{j3}^*(\hat{c}_{l6})^T S_{q+j,l}^{-(3)}\},\quad j = 1,2,...,r;$$

$$c_{ip}^* = \lambda_M^{1\backslash 2}(C_{ip}^T C_{ip}),\quad C_{ip} = p_{ii}q_{i1}k_{i1}^*(\hat{c}_{i1}^{\,p})^T + (q_{p1}k_{p1}^*(\hat{c}_{p1}^{\,i})^T)^T p_{pp} + A_i^T p_{ip} + p_{ip}A_p +$$

$$+\sum_{\beta=1}^{i} p_{\beta p}^T q_{\beta 1}k_{\beta}^*(c_{\beta 1}^p)^T + \sum_{\substack{\beta=i+1\\ \beta\neq p}}^{q}(q_{\beta 1}k_{\beta 1}^*(c_{\beta 1}^p)^T)^T p_{\beta p} + \sum_{\beta=p+1}^{q}(q_{\beta 1}k_{1\beta}^*(c_{\beta 1}^i)^T)^T p_{i\beta}^T,\quad i,p = 1,2,...,q,\ p > i;$$

$$c_{q+j,q+l}^* = \lambda_M^{1\backslash 2}(c_{q+j,q+l}^T(\tau_j^*\bar{s}),\ c_{q+q+l}(\tau_j^*,\bar{s}))$$

$$c_{q+j,q+l}(\tau_j^*\bar{s}) = p_{q+j,q+j}\tau_j^* q_{j3}k_{j3}^*(\hat{c}_{l6})^T S_{q+j,l}^{-(3)} + (\tau_l^* q_{l3}k_{l3}^*(\hat{c}_{j6})^T S_{q+l,j}^{-(3)})^T p_{q+j,q+l} + p_{q+j,q+l}\tau_l^* B_l +$$

$$+\tau_j^* B_j^T p_{q+j,q+l} + p_{q+j,q+l}\tau_l^* q_{l2}k_{l2}^*(\hat{c}_{l4})^T + (\tau_j^* q_{j2}k_{j2}^*(\hat{c}_{j4})^T)^T p_{q+j,q+l} + \sum_{\alpha=1}^{j} p_{q+\alpha,q+l}^T\tau_\alpha^* q_{\alpha 3}k_{\alpha 3}^*(\hat{c}_{j6})^T S_{q+\alpha,j}^{-(3)} +$$

$$\sum_{\substack{\alpha=j+1\\ \alpha\neq l}}^{r}(\tau_\alpha^* q_{\alpha 3}k_{\alpha 3}^*(\hat{c}_{j6})^T S_{q+\alpha,j}^{-(3)})^T p_{q+\alpha,q+l} + \sum_{\substack{\alpha=1\\ \alpha\neq j}}^{l} p_{q+j,q+\alpha}\tau_\alpha^* q_{\alpha 3}k_{\alpha 3}^*(\hat{c}_{l6})^T S_{q+\alpha,j}^{-(3)} +$$

$$\sum_{\alpha=l+1}^{r}(\tau_\alpha^* q_{\alpha 3}k_{\alpha 3}^*(\hat{c}_{j6})^T \bar{S}_{q+\alpha,j}^{-(3)})^T p_{q+j,q+\alpha},\ j,l = 1,2,...,r,\ l > j$$

$$c_{i,q+j}^* = \lambda_M^{1\backslash 2}(c_{i,q+j}^T(\tau_j^*\bar{s})),\ c_{i,q+j}(\tau_j^*\bar{s})),\quad c_{i,q+j}(\tau_j^*\bar{s}) = p_{ii}S_{ij}^{-(1)}A_{ij} + p_{ii}q_{i1}k_{i1}^*(\hat{c}_{i2}^{\,j})^T + \sum_{\substack{p=2\\ p>i}}^{q}\{p_{ip}S_{pj}^{-(1)}A_{jp} + p_{ip}q_{p1}k_{p1}^*(\hat{c}_{p2}^{\,j})^T +$$

$$p_{ip}S_{pj}^{-(1)}A_{pj} + p_{ip}^T q_{p1}k_{p1}^*(\hat{c}_{p2}^{\,j})^T\} + p_{i,q+j}\tau_j^* B_j + p_{i,q+j}\tau_j^* q_{j2}k_{j2}^*(\hat{c}_{j4})^T + \sum_{\alpha=1}^{r} p_{i,q+\alpha}^T\tau_\alpha^* q_{\alpha 3}k_{\alpha 3}^*(\hat{c}_{j6})^T S_{q+\alpha,j}^{-(3)},$$

$$i = 1,2,...,r,\quad q + r = s;$$

$$\sigma_{ii}^* = \lambda_M(\sigma_{ii}(\bar{s})),\ \sigma_{ii}(\bar{s}) = p_{i,q+i}q_{i2}k_{i2}^*(\hat{c}_{i3})^T + q_{i2}k_{i2}^*(\hat{c}_{i3})^T)\ p_{i,q+i} + \sum_{l=1}^{r}\{p_{i,q+j}q_{j3}k_{j3}^*(\hat{c}_{i5})^T S_{q+j}^{-(2)} +$$

$(q_{j3}k^*_{j3}(\hat{c}_{j5})^T S^{-(2)}_{q+j,i})^T p_{i,q+j}\},\quad i=1,2,...,q;$

$\sigma^*_{q+j,q+j}=\lambda_M(\sigma_{q+j,q+j}(\bar{s})),\ \sigma^*_{q+j,q+jii}(\bar{s})=\sum_{i=1}^{q}\{(S^{-(1)}_{ij}A_{ij})^T p_{i,q+j}+p_i S^{-(1)}_{ij}A_{ij}+(q_{i1}k^*_{i1}(\hat{c}_{i2})^T)^T p_{i,q+j}+$

$+p^T_{i,q+j}q_{i1}k^*_{i1}(\hat{c}^{j}_{i2})^T\},\quad j=1,2,...,r;$

$\sigma^*_{ip}=\lambda^*_M(\sigma^T_{ip}(\bar{s}),\ \sigma_{ip}(\bar{s})),\ \sigma_{ip}(\bar{s})=p_{i,q+p}q_{p2}k^*_{p2}(\hat{c}_{p3})^T+(q_{i2}k^*_{i2}(\hat{c}_{i3})^T)p_{p,q+i}++\sum_{j=1}^{r}\{p_{i,q+j}q_{j3}k^*_{j3}(\hat{c}_{p5})^T S^{-(2)}_{q+j,p}+$

$(q_{j3}k^*_{j3}(\hat{c}_{i5})^T S^{-(2)}_{q+j,i})^T p_{p,q+j}\},\quad i,p=1,2,...,q,\ p>i;$

$\sigma^*_{q+j,q+l}=\lambda^{1\backslash 2}_M(\sigma^T_{q+j,q+l}(\bar{s}),\ \sigma_{q+j,q+l}(\bar{s})),\ \sigma_{q+j,q+l}(\bar{s})=\sum_{i=1}^{q}\{(S^{-(1)}_{ij}A_{ij})^T p_{i,q+l}+p^T_{i,q+j}(S^{-(1)}_{ij}A_{il})^T+$

$+(q_{i1}k^*_{i1}(\hat{c}_{i2})^T p_{i,q+l}+p^T_{i,q+j}q_{i1}k^*_{i1}(\hat{c}^{l}_{i2})^T\},\ \ j,l=1,2,...,r,\ \ l>j;$

$\sigma^*_{i,q+j}=\lambda^{1\backslash 2}_M(\sigma^T_{i,q+j}(\bar{s}),\ \sigma_{i,q+j}(\bar{s})),$

$\sigma_{i,q+j}(\bar{s})=\ (S^{-(1)}_{q+l,i}B_{l,i})^T p_{q+j,q+l}+(q_{j3}k^*_{j3}(\hat{c}_{i5})^T S^{-(2)}_{q+j,i})^T p_{q+j,q+j}+\sum_{i=1}^{q}\{(S^{-(1)}_{q+l,i}B_{l,i})^T p^T_{q+i,q+l}+(S^{-(1)}_{q+l,i}B_{li})^T p_{q+j,q+l}+$

$(q_{l3}k^*_{l3}(\hat{c}_{i5})^T S^{-(2)}_{q+l,i})^T p_{q+j,q+l}+(q_{l3}k^*_{l3}(\hat{c}_{i5})^T S^{-(2)}_{q+l,i})^T p_{q+j,q+l}+\sigma^*(q_{l2}k^*_{l2}(\hat{c}_{l3})^T)^T p^T_{q+j,q+l}+\sigma^*(q_{l2}k^*_{l2}(\hat{c}_{l3})^T)^T p_{q+j,q+l}\}+$

$+A^T_i p_{i,q+j}+\sum_{\beta=1}^{q}(q_{\beta1}k^*_{\beta1}(\hat{c}^{i}_{\beta1})^T)^T p_{\beta,q+j},\ \ i=1,2,...,q,\ \ j=1,2,...,r,\ \ q+r=s;$

$$\sigma^*=\begin{cases}1 & при\quad l=i\\ 0 & при\quad l\neq i\end{cases};$$

Здесь:

$$k^*_{ij}=\begin{cases}k_{ij} & при\quad \sigma_o(S^{(r)}_{ij}q_{ij})^T p_{ij}x_j>0,\ i,j=1,2,...,s;\ \ r=1,2;\\ 0 & в\,остальных\ \ случаях;\end{cases}$$

$$k^{**}_{ii}=\begin{cases}k_{ii} & при\quad \sigma_o(S^{(2)}_{ii}q_{ii})^T p_{ii}x_i>0,\ i=1,2,...,s;\\ -k_{ii} & при\quad \sigma_{ii}(S^{(2)}_{ii}q_{ii})^T p_{ii}x_i<0,\ i=1,2,...,s,\end{cases}$$

$$c^k_{ij}\in R^{nk}-k-я\ \ компонента\ \ вектора\ \ c_{ij},$$

$\bar{S}\in\Phi_s$ - постоянная матрица такая, что

$$c_{q+j,q+l}(\tau^*_j,s)\le c_{q+j,q+l}(\tau^*_j\bar{s}),\ \forall s\in\phi_s,\quad j,l=1,2,...,r;$$
$$c_{i,q+j}(\tau^*_j,s)\le c_{i,q+j}(\tau^*_j\bar{s}),\ \forall s\in\phi_s,\quad j\in[1,q],\ j\in[1,r];$$

$$\sigma_{ij}(s)\le\sigma_{ij}(\bar{s}),\quad\forall s\in\phi_s,\ \ i,j=1,2,...,s=q+r.$$

Следствие 1. Если в лемме 1 матрица C* отрицательно-определённая, т.е. $\lambda_M(C^*)<0$ и

а) $\lambda_M(G)<0$,

или

б) $\lambda_M(G)\ge 0$, тогда функция $DV(x,y,\mu_1)$ отрицательно-определённая:

1) при любом $\mu_1\in]0,\mu_1[$ и при $\mu\to 0$, где $\mu_1=\min\{1,-\lambda_M(c^*)/\lambda_M(G)\}$,

или

2) при любом $\mu_1\in]0,1]$ и при $\mu_1\to 0$ соответственно.

Теорема 1. Пусть уравнения сингулярно-возмушенной КМС типа систем Лурье (1) таковы, что для них построена МФ (2) с элементами (3), удовлетворяющими оценкам (4) и для полной производной от функции (5) в силу системы (1) выполняется (7), а также:

а) матрица A_{11}^{*} и A_{22}^{*} - положительно-определённые;

б) матрица C^{*} - отрицательно-определённая;

в) $\mu_1 \in]0, \tilde{\mu}_1[$, $\mu = \tau_i^{-1}\mu_1$, $i = 1,2,...,r$, $\tau \in [\underline{\tau}_i, \overline{\tau}_i]$, $\mu_1 = \min\{1, \mu_1^{*}, \hat{\mu}_1\}$.

Тогда состояние равновесия $(x^T, y^T)^T = 0$ системы (1) структурно равномерно асимптотически устойчиво на $\tilde{\mu} \times \Phi_s$, где

$$\tilde{\mu} = \{M : 0 < \mu_1 < \tilde{\mu}_1\},\ \mu_i = \tau_i^{-1}\mu_1,\ \ i = 1,2,...,r$$

Если все условия теоремы выполняются при $N_{ix} \times N_{jy} = R^{n_i \times n_j}$, то состояние равновесия $(x^T, y^T)^T = 0$ системы (1) структурно равномерно и асимптотически устойчиво в целом на $\tilde{\mu} \times \Phi_s$.

Замечание. Утверждение теоремы 1. останется верным при $\tilde{\mu}_1 = \min\{1, \mu_1^{*}, \mu_1\}$, 5A; 8 $\lambda_M(G) \le 0$

Литература:

1 . Груйич Л.Т., Мартынюк А.А., Риббенс-Павелла М. Устойчивость крупномасштабных систем при структурных и сингулярных возмущениях. – Киев: Наукова думка, 1884

2. Мартынюк А.А., Миладжанов В.Г. Об устойчивости крупномасштабных систем при структурных возмущениях. Проблема А. // Электронное моделирование. – 1992. – 14, №1. – С. 3 – 10.

3.Мартынюк А.А., Миладжанов В.Г. Об устойчивости крупномасштабных систем при структурных возмущениях. Проблема Б. // Электронное моделирование. – 1992. – 14, № 4. – С. 35 – 42.

Андижон давлат университети,
2013 йил 20 майда қабул қилинган
(Тақризчи: ф.-м.ф.д. Ғ.Мўминов)