С. А. АЙСАГАЛИЕВ, Д. Г. ШАНАЗАРОВ

К АБСОЛЮТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕГУЛИРУЕМЫХ СИСТЕМ В ОСНОВНОМ СЛУЧАЕ

Постановка задачи. Рассмотрим уравнения движения регулируемой системы вида

$$\dot{x} = Ax + B\varphi(\sigma), \quad \sigma = Sx, \quad x(0) = x_0, \quad t \in I = [0, \infty), \tag{1}$$

где A, B, S – постоянные матрицы порядков $n\times n$, $n\times m$, $m\times n$ соответственно, матрица A – гурвицева.

Функция $\varphi(\sigma)$ является элементом следующего множества

$$\varphi(\sigma) \in \Phi_0 = \{\varphi(\sigma) = (\varphi_1(\sigma_1), \ldots, \varphi_m(\sigma_m)) \in C(R^m, R^m) \mid$$
$$0 \le \varphi_i(\sigma_i)\sigma_i \le \mu_{0i}\sigma_i^2, \ \forall \sigma_i \in R^1, \ i = \overline{1,m}; \ \varphi(0) = 0\} \tag{2}$$

Положение равновесия системы (1) определяется из решения алгебраических уравнений $Ax_* + B\varphi(\sigma_*) = 0$, $\sigma_* = Sx_*$. Так как матрица A гурвицева, $x_* = -A^{-1}B\varphi(\sigma_*)$, $\sigma_* = -SA^{-1}B\varphi(\sigma_*)$. Отсюда следует, что если матрица $-SA^{-1}B$ не особая, то система (1) имеет единственное положение равновесия ($x_* = 0, \ \sigma_* = 0$), для любых $\varphi(\sigma) \in \Phi_0$.

Определение 1. Говорят, что тривиальное решение $x_* = 0$ системы (1), (2) абсолютно устойчиво, если матрицы A, $A + B\mu S$, $0 \le \mu \le \overline{\mu}_0$ гурвицевы, где $\mu = diag(\mu_1, \ldots, \mu_m)$, $\overline{\mu}_0 = diag(\overline{\mu}_{01}, \ldots, \overline{\mu}_{0m})$, $0 \le \mu_i \le \overline{\mu}_{0i}$, $i = \overline{1,m}$, и для всех $\varphi(\sigma) \in \Phi_0$ предел $\lim_{t\to\infty} x(t; 0, x_0, \varphi) = 0$, $\forall x_0$, $|x_0| < \infty$.

Определение 2. Критерием абсолютной устойчивости для системы (1), (2) называются алгебраические или другие соотношения, связывающие матрицы (A, B, S, μ_0), $\mu_0 = diag(\mu_{01}, \ldots, \mu_{0m})$, $\mu_{0i} \le \overline{\mu}_{01}$, $i = \overline{1,m}$, при выполнении которых тривиальное решение $x_* = 0$ абсолютно устойчиво.

Ставится задача: Найти критерий абсолютной устойчивости положения равновесия системы (1), (2).

Основные леммы

Лемма 1. *Пусть матрица SB порядка $m\times m$ не особая, $T_1 = diag(T_{11}, T_{12}, \ldots, T_{1m})$, $T_2 = diag(T_{21}, T_{22}, \ldots, T_{2m})$, $H_1 = H_1^*$ – матрица порядка $n\times n$. Тогда вдоль решения системы (1), (2) справедлива следующая оценка несобственного интеграла*

$$I_1 = \lim_{T\to\infty}\int_0^T \{\omega^*(t)P_0\omega(t) + \omega^*(t)P_1x(t) + x^*(t)P_2x(t)\}dt \le \ell_0 + \lim_{T\to\infty}\int_0^{\sigma(T)} \overline{\varphi}^*(\sigma)T_2 d\sigma -$$
$$-\lim_{T\to\infty} x^*(T)\left[H_1 - \frac{1}{2}S^*T_2^+S\right]x(T) + x_0^*\left[H_1 - \frac{1}{2}S^*T_2^+S\right]x_0, \quad \omega(t) = \dot{\sigma}(t), \ t \in I, \tag{3}$$

где матрицы P_0, P_1, P_2, T_2^+, постоянная ℓ_0, функция $\overline{\varphi}(\sigma)$ определяются следующим образом:

$$P_0 = (SB)^{*-1}T_1\mu_0^{-1}(SB)^{-1} + \frac{1}{2}(SB)^{*-1}T_2 + \frac{1}{2}T_2(SB)^{-1}, \tag{4}$$

$$P_1 = -2(SB)^{*-1}T_1\mu_0^{-1}(SB)^{-1}SA - (SB)^{*-1}T_1S - T_2(SB)^{-1}SA - 2(SB)^{*-1}B^*H_1, \tag{5}$$

$$P_2 = A^*S^*(SB)^{*-1}T_1\mu_0^{-1}(SB)^{-1}SA + A^*S^*(SB)^{*-1}T_1S - 2[A - B(SB)^{*-1}SA]^*H_1. \tag{6}$$

$$T_2^+ = \begin{cases} 0, \text{ если } T_2 \le 0, \\ \mu_0 T_2, \text{ если } T_2 > 0, \end{cases} \qquad \overline{\varphi}(\sigma) = \begin{cases} \varphi(\sigma), \text{ если } T_2 \le 0, \\ \varphi(\sigma) - \mu_0\sigma, \text{ если } T_2 > 0, \end{cases}$$

$$\ell_0 = \begin{cases} \overline{\ell}_0 = -\int\limits_0^{\sigma(0)} \varphi^*(\sigma)T_2 d\sigma, \text{ если } T_2 \le 0, \\ \overline{\overline{\ell}}_0 = -\int\limits_0^{\sigma(0)} \overline{\varphi}^*(\sigma)T_2 d\sigma, \text{ если } T_2 > 0. \end{cases}$$

Доказательство. Так как $\dot\sigma = S\dot x(t) = SAx(t) + SB\varphi(\sigma(t))$, $\dot\sigma = \omega(t)$, $t \in I$, матрица SB порядка $m\times m$ не особая, то

$$\varphi(\sigma(t)) = (SB)^{-1}\omega(t) - (SB)^{-1}SAx(t), \ t \in I. \tag{7}$$

Из включения $\varphi(\sigma) \in \Phi_0$ следует, что для любой диагональной матрицы $T_1 \ge 0$ справедливо, что $\varphi^*(\sigma(t))T_1\mu_0^{-1}\varphi(\sigma(t)) - \varphi^*(\sigma(t))T_1\sigma(t) \le 0, \ \forall t, \ t \in I$.

Пусть $T_2 = diag(T_{21}, T_{22}, ..., T_{2m})$. Тогда справедливы следующие соотношения:

$$\lim_{T\to\infty}\int\limits_0^T \varphi^*(\sigma(t))T_2\dot\sigma(t)dt = \overline{\ell}_0 + \lim_{T\to\infty}\int\limits_0^{\sigma(T)} \varphi^*(\sigma)T_2 d\sigma, \text{ если } T_2 \le 0; \tag{8}$$

$$\lim_{T\to\infty}\int\limits_0^T \varphi^*(\sigma(t))T_2\dot\sigma(t)dt = \overline{\overline{\ell}}_0 + \lim_{T\to\infty}\int\limits_0^{\sigma(T)} \left[\varphi(\sigma) - \mu_0\sigma\right]^* T_2 d\sigma +$$

$$+ \frac{1}{2}\lim_{T\to\infty}\sigma^*(T)\mu_0 T_2\sigma(T) - \frac{1}{2}\sigma^*(0)\mu_0 T_2\sigma(0), \text{ если } T_2 > 0. \tag{9}$$

Для любой симметричной матрицы $H_1 = H_1^*$ порядка $n\times n$ верно равенство

$$-2\lim_{T\to\infty}\int\limits_0^T \dot x^*(t)H_1x(t)dt = -\lim_{T\to\infty} x^*(T)H_1x(T) + x_0^*H_1x_0, \tag{10}$$

Из соотношений (7)–(10) получим оценку (3). Лемма доказана.

Лемма 2. *Пусть выполнены условия леммы 1 и пусть, кроме того:*

1) Матрица θ порядка $m\times n$ такая, что $\theta B = 0$;

2) Матрица $H_2 = H_2^*$ порядка $m\times m$.

Тогда вдоль решения системы (1), (2) справедлива следующая оценка несобственного интеграла

$$I_2 = \lim_{T\to\infty}\int\limits_0^T \left\{\omega^*(t)P_0\omega(t) + \omega^*(t)P_3x(t) + x^*(t)P_4x(t)\right\}dt \le \ell_0 + \lim_{T\to\infty}\int\limits_0^{\sigma(T)} \overline{\varphi}^*(\sigma)T_2 d\sigma -$$

$$- \lim_{T\to\infty} x^*(T)\left[H_1 - \frac{1}{2}S^*T_2^+S - A^*\theta^*H_2S\right]x(T) + x_0^*\left[H_1 - \frac{1}{2}S^*T_2^+S - A^*\theta^*H_2S\right]x_0, \tag{11}$$

где матрицы

$$P_3 = P_1 + H_2^*\theta A + (SB)^{*-1}B^*A^*\theta^*H_2S, \tag{12}$$

$$P_4 = P_2 + A^{*2}\theta^*H_2S - A^*S^*(SB)^{*-1}B^*A^*\theta^*H_2S. \tag{13}$$

Доказательство. Так как выполнены условия леммы 1, то верна оценка (3). По условию леммы $\theta B = 0$. Тогда $\theta\dot x(t) = \theta Ax(t)$, $t \in I$. Следовательно,

$$\theta\ddot x(t) = \theta A^2x(t) + \theta AB\varphi(\sigma(t)), \ t \in I. \ (14)$$

Поскольку,

$$\frac{d}{dt}\left[(\theta\dot{x}(t))^* H_2\sigma(t)\right] = \left[\theta\ddot{x}(t)\right]^* H_2\sigma(t) + \left[\theta\dot{x}(t)\right]^* H_2\omega(t) =$$

$$= x^*(t)A^{*2}\theta^* H_2Sx(t) + \varphi^*(\sigma(t))B^*A^*\theta^*H_2\sigma(t) + \omega^*(t)H_2\theta Ax(t),\ t\in I,$$

где функция $\varphi(\sigma(t))$, $t\in I$ удовлетворяет тождеству (8), то

$$\frac{d}{dt}\left[(\theta\dot{x}(t))^* H_2\sigma(t)\right] = x^*(t)\left[A^{*2}\theta^*H_2S - A^*S^*(SB)^{*-1}B^*A^*\theta^*H_2S\right]x(t) +$$

$$+\omega^*(t)\left[H_2^*\theta A + (SB)^{*-1}B^*A^*\theta^*H_2S\right]x(t),\ t\in I,$$

Тогда

$$\lim_{T\to\infty}\int_0^T\left\{x^*(t)\left[A^{*2}\theta^*H_2S - A^*S^*(SB)^{*-1}B^*A^*\theta^*H_2S\right]x(t) + \omega^*(t)\left[H_2^*\theta A +\right.\right.$$

$$\left.\left.+(SB)^{*-1}B^*A^*\theta^*H_2S\right]x(t)\right\}dt = \lim_{T\to\infty} x^*(T)A^*\theta^*H_2Sx(T) - x_0^*A^*\theta^*H_2Sx_0. \qquad (15)$$

Суммируя интегралы (3), (15) получим оценку (11). Лемма доказана.

Лемма 3. *Пусть матрица SB не особая,* $H_2 = H_2^*$ T_3, *P, W – матрицы порядков m×m, m×m, m×m, m×n соответственно. Тогда вдоль решения системы (1), (2) верно равенство*

$$I_3 = \lim_{T\to\infty}\int_0^T\left\{\varphi^*(\sigma(t))P\left[\sigma(t) - \mu_0^{-1}\varphi(\sigma(t))\right] + \left[\omega(t)+Wx(t)\right]^*T_3\left[\omega(t)+Wx(t)\right] +\right.$$

$$\left.+x^*(t)\left[\frac{1}{2}\left(\theta A^2+S\right)^*H_2\left(\theta A^2+S\right) + \frac{1}{2}\left(SA+\theta A\right)^*H_2\left(SA+\theta A\right)\right]x(t)\ \right\}dt = \qquad (16)$$

$$= \lim_{T\to\infty}\int_0^T\left[\omega^*(t)L_0\omega(t) + \omega^*(t)L_1x(t) + x^*(t)L_2x(t)\right]dt,$$

где матрицы

$$L_0 = T_3 - (SB)^{*-1}P\mu_0^{-1}(SB)^{-1}, \qquad (17)$$

$$L_1 = 2T_3W + (SB)^{-1}PS + 2(SB)^{*-1}P\mu_0^{-1}(SB)^{-1}SA, \qquad (18)$$

$$L_2 = W^*T_3W - A^*S^*(SB)^{*-1}PS + A^*S^*(SB)^{*-1}P\mu_0^{-1}(SB)^{-1}SA + H, \qquad (19)$$

$$H = \frac{1}{2}\left(\theta A^2+S\right)^*H_2\left(\theta A^2+S\right) + \frac{1}{2}\left(SA+\theta A\right)^*H_2\left(SA+\theta A\right). \qquad (20)$$

Доказательство. На основе тождества (8), имеем

$$\varphi^*(\sigma(t))P\left[\sigma(t) - \mu_0^{-1}\varphi(\sigma(t))\right] = \omega^*(t)\left[-(SB)^{*-1}P\mu_0^{-1}(SB)^{-1}\right]\omega(t) +$$

$$+\omega^*(t)\left[2(SB)^{*-1}P\mu_0^{-1}(SB)^{-1}SA + (SB)^{*-1}PS\right]x(t) + x^*(t)\left[-A^*S^*(SB)^{*-1}PS -\right.$$

$$\left.-A^*S^*(SB)^{*-1}P\mu_0^{-1}(SB)^{-1}SA\right]x(t),\quad t\in I. \qquad (21)$$

$$\left[\omega(t)+Wx(t)\right]^*T_3\left[\omega(t)+Wx(t)\right] = \omega^*(t)T_3\omega(t) + 2\omega^*(t)T_3Wx(t) + x^*(t)W^*T_4Wx(t),\quad t\in I. \qquad (22)$$

Суммируя (21), (22) и x^*Hx получим равенство (16). Лемма доказана.

Лемма 4. *Пусть выполнены условия лемм 1–3, и пусть, кроме того*

$$\mu_0 = \left[(SB)^*T_3(SB) - \frac{1}{2}T_2(SB) - \frac{1}{2}(SB)^*T_2\right]^{-1}(T_1+P), \qquad (23)$$

$$2(SB)^{*-1}B^*H_1 + \left[(SB)^{*-1}(T_1+P) - (SB)^{*-1}B^*A^*\theta^*H_2\right]S - H_2^*\theta A +$$

$$2T_3(W+SA) - (SB)^{*-1}T_2SA = 0, \qquad (24)$$

$$A^{*}H_{1}+H_{1}A=-(W+SA)^{*}T_{3}(W+SA)-H_{3}, \tag{25}$$

$$H_{3}=\frac{1}{2}\left[A^{*2}\theta^{*}H_{2}\theta A+S^{*}H_{2}S+A^{*}S^{*}H_{2}SA+A^{*}\theta^{*}H_{2}\theta A\right]. \tag{26}$$

Тогда, вдоль решения системы (1), (2) справедлива следующая оценка несобственного интеграла

$$\begin{aligned} I_{3}=\lim_{T\to\infty}\int_{0}^{T}\Big\{&\varphi^{*}(\sigma(t))P\left[\sigma(t)-\mu_{0}^{-1}\varphi(\sigma(t))\right]+\left[\omega(t)+Wx(t)\right]^{*}T_{3}\left[\omega(t)+Wx(t)\right]+\\ &+x^{*}(t)Hx(t)\Big\}dt\le \ell_{0}+\lim_{T\to\infty}\int_{0}^{\sigma(T)}\overline{\varphi}^{*}(\sigma)T_{2}d\sigma-\\ &-x^{*}(T)\left[H_{1}-\frac{1}{2}S^{*}T_{2}^{+}S-A^{*}\theta^{*}H_{2}S\right]x(T)+x_{0}^{*}\left[H_{1}-\frac{1}{2}S^{*}T_{2}^{+}S-A^{*}\theta^{*}H_{2}S\right]x_{0}, \end{aligned} \tag{27}$$

Доказательство леммы строится на равенстве интегралов I_2 и I_3.

Лемма 5. *Если матрица A – гурвицева, функция* $\varphi(\sigma)\in\Phi_0$, *и выполнены условия* $|\varphi(\sigma)|\le\varphi_*$, $\varphi_*=const>0$, $\forall t,\ t\in I$, *то верны оценки*

$$|x(t)|\le c_0,\quad |\dot{x}(t)|\le c_1,\quad |\sigma(t)|\le c_2,\quad |\dot{\sigma}(t)|\le c_3\ \ \forall t,\ \ t\in I, \tag{28}$$

где $c_i=const>0$, $i=\overline{0,3}$. *Кроме того, функции* $x(t),\sigma(t),t\in I$ *– равномерно непрерывны.*

Доказательство. Так как матрица A – гурвицева, т.е. $Re\lambda_j(A)<0$, $j=\overline{1,n}$, то $\|e^{At}\|\le ce^{(a+\varepsilon)t}$, $\forall t,\ t\in I$, где $a=\max\limits_{1\le j\le n}Re\lambda_j(A)$, $c=c(\varepsilon)=const>0$, $\varepsilon>0$ – сколь угодно малое число. Решение дифференциального уравнения (1) имеет вид $x(t)=e^{At}x_0+\int_0^t e^{A(t-\tau)}B\varphi(\sigma(\tau))d\tau$, $t\in I$. Тогда

$$\begin{aligned} |x(t)|&\le\|e^{At}\||x_0|+\int_0^t\|e^{A(t-\tau)}\|\|B\||\varphi(\sigma(\tau))|d\tau\le c|x_0|e^{(a+\varepsilon)t}+ce^{(a+\varepsilon)t}\|B\|\varphi_*\int_0^t e^{-(a+\varepsilon)\tau}d\tau=\\ &=c|x_0|e^{(a+\varepsilon)t}+ce^{(a+\varepsilon)t}\|B\|\varphi_*\left[-\frac{1}{a+\varepsilon}e^{-(a+\varepsilon)t}+\frac{1}{a+\varepsilon}\right]=c|x_0|e^{(a+\varepsilon)t}+\\ &+\frac{1}{a+\varepsilon}c\|B\|\varphi_*\left[-1+e^{(a+\varepsilon)t}\right]\le c_0,\ \ e^{(a+\varepsilon)t}\le 1,\ \forall t,\ t\in I\ \ a+\varepsilon<0 \end{aligned}$$

Из (1) следует, что $|\dot{x}(t)|\le\|A\||x(t)|+\|B\|\varphi_*\le c_1$, $\forall t,\ t\in I$. Поскольку $\sigma(t)=Sx(t)$, $\dot{\sigma}(t)=S\dot{x}(t)$, $t\in I$, то $|\sigma(t)|=\|S\||x(t)|\le c_2$, $|\dot{\sigma}(t)|=\|S\||\dot{x}(t)|\le c_3$, $\forall t,\ t\in I$. Из ограниченности $\dot{x}(t)$, $\dot{\sigma}(t)$, $t\in I$ следуют равномерная непрерывность функций $x(t)$, $\sigma(t)$, $t\in I$. Лемма доказана.

Абсолютная устойчивость

Теорема 1. Пусть выполнены следующие условия:

1) Условия лемм 1–4;

2) Матрицы $P=P^*>0$, $T_3>0$, $H\ge0$;

3) Матрицы A, $A+B\mu S$, $0\le\mu\le\overline{\mu}_0$, $\mu_0\le\overline{\mu}_0$ *- гурвицевы;*

4) Функция $\varphi(\sigma)\in\Phi_0$ *непрерывна по* σ, $\sigma\in R^m$;

5) Матрица $\Sigma=H_1-\frac{1}{2}S^*T_2^+S-\frac{1}{2}A^*\theta^*H_2S-\frac{1}{2}S^*H_2\theta A>0$.

Тогда положение равновесия системы (1), (2) абсолютно устойчиво.

Доказательство. Поскольку выполнены условия лемм 1–4, матрицы $P = P^* \geq 0$, $T_3 > 0$, $H \geq 0$, то оценка (27) запишется в виде

$$0 \leq \lim_{T\to\infty}\int_0^T \Big\{\varphi^*(\sigma(t))P\big[\sigma(t) - \mu_0^{-1}\varphi(\sigma(t))\big] + \big[\omega(t) + Wx(t)\big]^* T_3\big[\omega(t) + Wx(t)\big] +$$

$$+ x^*(t)Hx(t)\Big\}dt \leq \ell_0 + \lim_{T\to\infty}\int_0^{\sigma(T)} \overline{\varphi}^*(\sigma)T_2 d\sigma - \lim_{T\to\infty} x^*(T)\Sigma x(T) + x_0^*\Sigma x_0, \quad (29)$$

где матрица (см. (27)) $\Sigma = H_1 - \frac{1}{2}S^*T_2^+S - \frac{1}{2}A^*\theta^*H_2S - \frac{1}{2}S^*H_2\theta A > 0$. Покажем, что если матрица $\Sigma > 0$, то решение системы (1), (2) ограниченно. Предположим противное. Тогда $\lim_{T\to\infty}\int_0^{\sigma(T)} \overline{\varphi}^*(\sigma)T_2 d\sigma \leq 0$ (возможно $\lim_{T\to\infty}\int_0^{\sigma(T)} \overline{\varphi}^*(\sigma)T_2 d\sigma = -\infty$), $-\lim_{T\to\infty} x^*(T)\Sigma x(T) = -\infty$, где $\ell_0 = const$, $x_0^*\Sigma x_0$ – конечные числа. Теперь неравенство (29) запишется так

$$0 \leq \lim_{T\to\infty}\int_0^T \Big\{\varphi^*(\sigma(t))P\big[\sigma(t) - \mu_0^{-1}\varphi(\sigma(t))\big] + \big[\omega(t) + Wx(t)\big]^* T_3\big[\omega(t) + Wx(t)\big] +$$

$$+ x^*(t)Hx(t)\Big\}dt < -\infty.$$

Этого не может быть. Следовательно, в случае, когда матрица $\Sigma > 0$, решение системы (1), (2) ограниченно, т.е.

$$0 \leq \lim_{T\to\infty}\int_0^T \Big\{\varphi^*(\sigma(t))P\big[\sigma(t) - \mu_0^{-1}\varphi(\sigma(t))\big] + \big[\omega(t) + Wx(t)\big]^* T_3\big[\omega(t) + Wx(t)\big] +$$

$$+ x^*(t)Hx(t)\Big\}dt < \infty. \quad (30)$$

Поскольку матрица A – гурвицева, $\varphi(\sigma) \in \Phi_0$ и $|\varphi(\sigma)| \leq \varphi_*$, $\varphi_* = const > 0$, $\forall t$, $t \in I$, то функции $x(t)$, $\sigma(t)$, $\dot{x}(t)$, $\dot{\sigma}(t)$, $t \in I$ ограничены, $x(t)$, $\sigma(t)$, $t \in I$ – равномерно непрерывны (см. лемму 5). Из ограниченности $x(t)$, $\sigma(t)$, $t \in I$ следует, что $\ell_0 + \lim_{T\to\infty}\int_0^{\sigma(T)} \overline{\varphi}^*(\sigma)T_2 d\sigma - \lim_{T\to\infty} x^*(T)\Sigma x(T) + x_0^*\Sigma x_0 < \infty$. Теперь неравенство (40) запишется так

$$0 \leq \lim_{T\to\infty}\int_0^T V(\sigma(t))dt < \infty, \quad (31)$$

$V(\sigma(t)) = \varphi^*(\sigma(t))P\big[\sigma(t) - \mu_0^{-1}\varphi(\sigma(t))\big] = \sigma^*(t)k(\sigma(t))P\big[I_m - \mu_0^{-1}K(\sigma(t))\big]\sigma(t) > 0,\ V(0) = 0$, $V(\sigma)$ – равномерно непрерывная функция по σ, $\sigma \in R^m$. В силу равномерной непрерывности функции σ, $t \in I$, из (31) имеем $\lim_{T\to\infty}\sigma(t) = 0$. Так как $\varphi(0) = 0$, то $\lim_{T\to\infty}\varphi(\sigma(t)) = 0$. Тогда в силу гурвицевости матрицы А и автономности системы $\lim_{T\to\infty} x(t) = 0$. Так как матрицы А, $A + B\mu S$ – гурвицевы, $\lim_{t\to\infty} x(t;0,x_0,\varphi) = 0$, $\forall\varphi$, $\varphi(\sigma) \in \Phi_0$, $\forall x_0$, $|x_0| < \infty$, то положение равновесия системы (1), (2) абсолютно устойчиво. Теорема доказана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Айсагалиев С.А.* Теория регулируемых систем. Алматы: Қазақ университеті, 2000. 234 с.
2. *Айсагалиев С.А.* К теории регулируемых и фазовых систем. АН СССР // Автоматика и телемеханика. 1987. №5. С. 10-18.
3. *Айсагалиев С.А.* К теории абсолютной устойчивости регулируемых систем / Дифференциальные уравнения. Минск–Москва, 1994. Т. 30, №5. С. 748-757.

Резюме

Негізгі жағдайдағы реттелген жүйелердің абсолютті орнықтылық аймағын анықтау критерийі құрастырылған. Белгілі критерийлермен салыстырғанда ұсынылып отырған критерий абсолютты орнықтылықтың кеңейтілген аймағын бөліп алуға мүмкіндік береді.

Summary

The criterion of defining the domain of absolute stability of regular systems in basic case is been developed. In compare with known criterions proposed criterion allows to obtain a wider domain of absolute stability.

УДК 517.938

КазНУ им. Аль-Фараби,
г. Алматы

Поступила 22.06.07г.