DOI 10.52209/1609-1825_2021_3_286 ӘОЖ 681.5.013

m-кірісі және n-шығысы бар адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының реттелетін регуляторының синтезі

[1]**БЕЙСЕНБИ Мамырбек Аукебаевич,** *т.ғ.д., профессор, beisenbi@mail.ru,*
[1]***ТЕМИРБЕК Айжан,** *докторант, aiku08@mail.ru,*
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, 010008, Нұр-Сұлтан, Сәтпаев көшесі, 2,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Мақала адаптивті басқару жүйесі есебінің қойылымына және Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілімен m-кірісі және n-шығысы бар адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының реттелетін регуляторын синтездеу есебін шешуге арналған. Адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының жұмыс сапасы, орнықтылығы және робастылығын зерттеу үшін жаңа Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілі ұсынылады, мұнда эталондық модель және басқарудың негізгі контурын градиенттік жүйелер ретінде, ал Ляпунов функцияларын потенциалды функциялар ретінде қарастырады. Басқару объектісі параметрлерінің бекітілген мәндерінде адаптивті басқару жүйесінің эталондық моделі және негізгі контурдың апериодтық робасты орнықтылығының шарттарынан адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының тиісті кері байланыс коэффициенттері есептеледі.*

Кілт сөздер: *адаптивті басқару, эталондық модель, m-кірісі және n-шығысы бар жүйе, Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілі.*

Кіріспе

Қазіргі заманғы төртінші индустриялық революция автоматты және автоматтандырылған басқару жүйелерін кеңінен құруды және пайдалануды болжайды. Автоматты басқару жүйелері (АБЖ) өндіріс пен техниканың барлық салаларында қолданылады: машина жасау, энергетика, электрондық, химия, биологиялық, металлургия және тоқыма өнеркәсібі, көлік, робототехника, авиация, ғарыш жүйелері, жоғары дәлдіктегі әскери техника және технологиялар және т.б. Бұл ретте қолданбалы есептердің кең тобын шешу үшін объектінің барабар математикалық моделін білуді қажет ететін АБЖ жобалау мен зерттеудің дәстүрлі әдістері тиімсіз. Басқарудың дәстүрлі (адаптивті емес) әдістерінің сапасы неғұрлым жоғары болса, объектінің өзі және оның жұмыс істеу шарттары туралы априорлық ақпарат соғұрлым көп болады. Іс жүзінде басқару объектісінің нақты математикалық сипаттамасын қамтамасыз ету өте қиын. Сонымен қатар, жұмыс процесінде объектінің сипаттамалары және сыртқы әсерлер айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Мұндай жағдайларда дәстүрлі әдістер көбінесе тиімсіз болады немесе автоматты басқару жүйесінің қажетті сапасын қамтамасыз етпейді.

Бұл мәселені шешудің ең перспективалы әдістерінің бірі-адаптация әдістерін қолдану. Адаптивті басқару жүйелерінде сыртқы әсерлер өтеледі, яғни басқару жүйесі сыртқы әсерлерге қатысты инвариантты болады, ал объект туралы ақпарат жұмыс кезінде жиналады, дереу өңделеді және басқарушы әсерлерді өндіру үшін қолданылады. Бұл объектінің параметрлері мен жұмыс істеу ортасының белгісіздігі жағдайында басқару сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Адаптивті басқару процесін үш ішкі жүйенің өзара әрекеттесу процесі ретінде қарастыруға болады [1,2,3,5]: объект, негізгі контурдың реттелетін регуляторы (регулятордың өзі), адаптация блогы (адаптер). Соңғы екі блок екі деңгейлі иерархиялық құрылымы бар адаптивті регуляторға біріктірілген. Негізгі контурдың регуляторы басқару объектісінің реттеуші органына келіп түсетін $u(t)$ басқарушы әсерін тікелей қалыптастырады. Негізгі контурдағы басқару заңы (алгоритмі) K бапталатын параметрлердің біршама жиынынан тәуелді. Бұл параметрлерді реттеу қолжетімді ағымдағы ақпарат негізіндегі адаптация алгоритмі деп аталатын заңға сәйкес екінші деңгейде жасалады. Адаптация алгоритмінің міндеті – басқару объектісі мен эталондық модель арасындағы сәйкессіздікті нөлге дейін азайту үшін регуляторлардың коэффициенттерін реттеу. Оған қажетті динамикасы бар жүйенің апериодикалық робасты орнықтылығымен жетуге болады. Бұл ретте, зерттеудің негізгі мәселесі – адаптивті басқару жүйелерін зерттеу үшін Ляпунов функцияларын құрудың әмбебап тәсілдерінің болмауы [1,3,4]. Қазіргі уақытта бұл әдіс негізінен теориялық зерттеулердің құралы болып табылады және нақты жағдайларда адаптивті регуляторлардың жұмысының орнықтылығы мен сапасына қатысты барлық сұрақтарға жауап бере алмайды. Сондықтан адаптивті басқару жүйелерін зерттеу үшін, Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілі ұсынылады [6,7,8,9], мұнда басқару жүйесі градиенттік жүйелер ретінде және Ляпунов функциясы апаттар теориясынан потенциалды функциялар ретінде қарастырылады [10,11].

Градиенттілік шарттары Ляпунов функциясын сөзсіз құруға мүмкіндік береді және Ляпунов функциясының болу шарты қажетті динамикасы бар басқару жүйесінің апериодикалық робасты орнықтылық жағдайына сәйкес келеді [7,8,9]. Бұл басқарудың негізгі мақсатына жетуді де қамтамасыз етеді.

Мақала Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілімен m-кірісі және n-шығысы бар объект үшін адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының реттелетін регуляторын синтездеу есебін шешуге арналған.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Сызықтық стационарлы басқару жүйесін қарастырайық. Жүйені Ляпуновтың градиенті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілімен апериодтық робасты орнықтылыққа зерттейміз [6,7,8]:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \tag{1}$$

мұндағы $x(t) \in R^n$ – басқару объектісінің (БО) күй векторы; $u(t) \in R^m$ – басқару векторы; $A \in R^{n\times n}$ – БО матрицасы; $B \in R^{n\times m}$ – басқарудың тұрақты матрицасы. Басқару объектісінің барлық күй векторын өлшеуге қолжетімділік болжанады, сол себептен $y(t)=x(t)$.

Басқару объектісінің қажетті динамикасын қамтамасыз ету есебі де қарастырылады, оны эталондық модельдің көмегімен береміз

$$\dot{x}_M = A_M x_M + B_M r(t), \tag{2}$$

мұндағы $x_M(t) \in R^n$ – эталондық модельдің күй векторы; $r(t) \in R^m$ – беруші әсер.

Эталондық модельді таңдау жабық жүйеге қойылатын талаптарға байланысты (өтпелі процестің уақыты, қайта реттеу, статикалық қате және т.б.). Бұл жағдайда ол орнықты болуы керек, яғни эталондық модель апериодтық робасты орнықты болуы керек делік, яғни сыртқы әсерлерді $r(t)\equiv 0$ ескере отырып, эталондық модельді апериодтық робасты орнықтылыққа зерттейміз.

Басқару мақсатын

$$\lim_{t\to\infty} \varepsilon(t) = 0, \tag{3}$$

деп талап етіп көрсетейік. Мұнда $\varepsilon(t)=x(t)-x_M(t)$ – (1) және (2) жүйенің қателігі. Осылайша, айқын эталондық моделі бар адаптивті жүйені құру есебі қойылады. Есепті тікелей адаптивті тәсіл негізінде шешеміз. Өзін-өзі реттейтін жүйелердің екі деңгейлі құрылымына сәйкес есепті шешеміз.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Эталондық модельді таңдау. $r(t)=0$ кезінде (2) эталондық модель кеңейтілген түрде келесідей жазылады [6]

$$\begin{cases} \dot{x}_{M1} = -a_{11}^M x_{M1} - a_{12}^M x_{M2} - a_{13}^M x_{M3} -,...,-a_{1n}^M x_{Mn} \\ \dot{x}_{M2} = -a_{21}^M x_{M1} - a_{22}^M x_{M2} - a_{23}^M x_{M3} -,...,-a_{2n}^M x_{Mn} \\ \dot{x}_{M3} = -a_{31}^M x_{M1} - a_{32}^M x_{M2} - a_{33}^M x_{M3} -,...,-a_{3n}^M x_{Mn} \\ \quad ... \qquad ... \qquad ... \qquad ... \\ \dot{x}_{Mn} = -a_{n1}^M x_{M1} - a_{n2}^M x_{M2} - a_{n3}^M x_{M3} -,...,-a_{nn}^M x_{Mn} \end{cases} \tag{4}$$

Жүйенің апериодикалық робасты орнықтылығының шартын табайық. Ол үшін (4)-ден Ляпуновтың вектор-функциясының градиент векторының құрастырушыларын анықтайық $V(x_M)=(V_1(x_M), \ldots, V_n(x_M))$:

$$\frac{\partial V_i(x_M)}{\partial x_j} = a_{ij}^M x_{Mj},\ i=1,...,n;\ j=1,...,n. \tag{5}$$

(5) градиенті бойынша Ляпунов функциясын төмендегі түрде анықтаймыз

$$\begin{aligned} V(x_M) &= \frac{1}{2}(a_{11}^M + a_{21}^M + a_{31}^M +,...,+a_{n1}^M)x_{M1}^2 + \\ &+\frac{1}{2}(a_{12}^M + a_{22}^M + a_{32}^M +,...,+a_{n2}^M)x_{M2}^2 + \\ &+\frac{1}{2}(a_{13}^M + a_{23}^M + a_{33}^M +,...,+a_{n3}^M)x_{M3}^2 +,...,+ \\ &+\frac{1}{2}(a_{1n}^M + a_{2n}^M + a_{3n}^M +,...,+a_{nn}^M)x_{Mn}^2 . \end{aligned} \tag{6}$$

Ляпунов функциясының оң анықталғандығы, яғни Ляпунов функциясының бар болу шарты анықталады

$$\begin{cases} (a_{11}^M + a_{21}^M + a_{31}^M +,...,+a_{n1}^M) > 0 \\ (a_{12}^M + a_{22}^M + a_{32}^M +,...,+a_{n2}^M) > 0 \\ (a_{13}^M + a_{23}^M + a_{33}^M +,...,+a_{n3}^M) > 0 \\ \quad ... \quad ... \quad ... \qquad ... \\ (a_{1n}^M + a_{2n}^M + a_{3n}^M +,...,+a_{nn}^M) > 0 \end{cases} \tag{7}$$

Негізгі контурдың реттелетін регуляторының синтезі. (1) теңдеудегі басқару заңы келесі түрде берілсін

$$u(t) = -Kx, \tag{8}$$

мұндағы K – анықталатын, регулятордың коэффициенттерінің $n\times m$ – матрицасы. Объект-регулятор тұйық жүйесі төмендегі теңдеумен сипатталады

$$\dot{x} = (A - BK)x, \tag{9}$$

(9) теңдеуі жазық түрде келесідей жазылады

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \left(a_{11} - \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{i1}\right)x_1 + \left(a_{12} - \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{i2}\right)x_2 + \\ +, \dots, + \left(a_{1n} - \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{in}\right)x_n \\ \dot{x}_2 = \left(a_{21} - \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{i1}\right)x_1 + \left(a_{22} - \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{i2}\right)x_2 + \\ +, \dots, + \left(a_{2n} - \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{in}\right)x_n \\ \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \dot{x}_n = \left(a_{n1} - \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{i1}\right)x_1 + \left(a_{n2} - \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{i2}\right)x_2 + \\ +, \dots, + \left(a_{nn} - \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{in}\right)x_n \end{cases} \tag{10}$$

Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілімен (10) жүйенің апериодтық робасты орнықтылығының шартын табамыз. Ол үшін (10)-ден *Ляпуновтың* вектор-функциясының градиент векторының құрастырушыларын табамыз $V(x) = (V_1(x), V_2(x), \dots, V_n(x))$:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial V_1(x)}{\partial x_1} = -\left(a_{11} - \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{i1}\right)x_1, \dots, \dfrac{\partial V_1(x)}{\partial x_n} = -\left(a_{1n} - \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{in}\right)x_n \\ \dfrac{\partial V_2(x)}{\partial x_1} = \left(a_{21} - \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{i1}\right)x_1, \dots, \dfrac{\partial V_2(x)}{\partial x_n} = -\left(a_{2n} - \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{in}\right)x_n \\ \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \dfrac{\partial V_n(x)}{\partial x_1} = \left(a_{n1} - \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{i1}\right)x_1, \dots, \dfrac{\partial V_n(x)}{\partial x_n} = -\left(a_{nn} - \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{in}\right)x_n \end{cases} \tag{11}$$

(11)-ден *Ляпунов* функциясын келесі түрде көрсете аламыз:

$$\begin{aligned} V(x) = \frac{1}{2}\Bigg(&\sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{i1} - a_{11} + \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{i1} - a_{21} +, \dots, + \\ &+ \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{i1} - a_{n1}\Bigg)x_1^2 + \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{i2} - a_{12} + \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{i2} - \right. \\ &\left. - a_{22} +, \dots, + \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{i2} - a_{n2}\right)x_2^2 +, \dots, + \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{in} - \right. \\ &\left. - a_{1n} + \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{in} - a_{2n} +, \dots, + \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{in} - a_{nn}\right)x_n^2. \end{aligned} \tag{12}$$

Ляпунов функциясының оң анықталғандығы келесі шарттардан анықталады

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{i1} - a_{11} + \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{i1} - a_{21} +, \dots, + \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{i1} - a_{n1} > 0 \\ \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{i2} - a_{12} + \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{i2} - a_{22} +, \dots, + \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{i2} - a_{n2} > 0 \\ \sum_{i=1}^{m} b_{1i}k_{in} - a_{1n} + \sum_{i=1}^{m} b_{2i}k_{in} - a_{2n} +, \dots, + \sum_{i=1}^{m} b_{ni}k_{in} - a_{nn} > 0 \end{cases} \tag{13}$$

«*Идеал*» регуляторды алу үшін, яғни A^* және B^* матрицалық элементтердің берілген мәндерінде (1) немесе (10) жүйе берілген қасиеттерге ие болуы үшін (7) және (13) теңсіздіктің сол жағын теңестіріп және сол жерден B^* матрицаның элементтерінің белгілі мәндерімен K матрицаның коэффициенттерінің қажетті мәндерін таба аламыз:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} b_{1i}^* k_{i1} - a_{11}^* + a_{11}^M = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} b_{2i}^* k_{i1} - a_{21}^* + a_{21}^M = 0 \\ \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \sum_{i=1}^{n} b_{ni}^* k_{i1} - a_{n1}^* + a_{n1}^M = 0 \end{cases} \dots \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} b_{1i}^* k_{in} - a_{1n}^* + a_{1n}^M = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} b_{2i}^* k_{in} - a_{2n}^* + a_{2n}^M = 0 \\ \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \sum_{i=1}^{n} b_{ni}^* k_{in} - a_{nn}^* + a_{nn}^M = 0 \end{cases} \tag{14}$$

Алгебралық теңдеулердің осы n-жүйесінен идеалды регулятордың K матрицасының n^2 элементтерінің мәнін табуға болады (k_{ij}, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, n$). К матрицасының және B^* басқарудың күшейту коэффициенттері егер диагональды матрица түрінде берілген болса:

$$B^* = \begin{Vmatrix} b_{11}^* & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & b_{22}^* & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & b_{nn}^* \end{Vmatrix}, \quad K = \begin{Vmatrix} k_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k_{22} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k_{nn} \end{Vmatrix},$$

$$k_{11}^* = \frac{a_{11}^* - a_{11}^M}{b_{11}^*}, \; k_{22}^* = \frac{a_{22}^* - a_{22}^M}{b_{22}^*}, \; \dots, \; k_{nn}^* = \frac{a_{nn}^* - a_{nn}^M}{b_{nn}^*}.$$

Қорытынды

Адаптивті басқару жүйелерінің синтезі адаптация тізбегі бар тұйық объектінің орнықтылығын қамтамасыз етумен тығыз байланысты. *Ляпунов* функциясы тәсілі-сызықтық және бейсызықты жүйелердің орнықтылығы мен қозғалыс сапасын зерттеудің негізгі әдістерінің бірі. Дегенмен *Ляпунов* функцияларын құруда әмбебап тәсілдердің болмауына байланысты, тәсіл адаптивті басқару жүйелерін зерттеу үшін шектеулі қолданылады. Қазіргі уақытта бұл тәсіл негізінен теориялық зерттеулердің құралы болып табылады және нақты жағдайларда адаптивті регулятордың орнықтылығы мен сапасына қатысты барлық сұрақтарға жауап бере алмайды. Эталондық модель мен басқарудың негізгі контурын градиенттік жүйелер ретінде, ал *Ляпунов* функцияларын потенциалды функциялар ретінде көрсету адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының жұмыс сапасын, орнықтылығын және робастылығын зерттеу үшін *Ляпуновтың* градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілін қолдануға мүмкіндік береді. Мұнда басқару объектісі параметрлерінің бекітілген мәндерінде адаптивті басқару жүйесінің эталондық моделі және негізгі контурдың апериодтық робасты орнықтылығының шарттарынан адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының тиісті кері байланыс коэффициенттері есептелінеді. Бұл ретте адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының кері байланыс коэффициенттерін жүйедегі орнықтылық, робастылық, тербелгіш, тезәрекеттілік, қайта реттеудің болмауы, статикалық дәлдік, өтпелі процестердің қажетті түрі және т.б. сияқты сапа көрсеткіштерінің кешенімен анықтауға болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и т. Т5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.
2. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Крутова И.Н., Земляков С.Д. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления. – М.: Машиностроение, 1972. – 260 с.
3. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления. Гл.13. Управление нелинейными колебательными и хаотическими системами. СПб: Наука, 1999.
4. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. – М.: Наука, 1990. – 292 с.
5. Козлов Ю.М., Юсупов Р.М. Беспоисковые самонастраивающиеся системы. – М.: Наука, 1969. – 456 с.
6. Бейсенби М.А. Исследование робастной устойчивости систем автоматического управления методом функции А.М. Ляпунова. – Астана, 2015. – 204 с.
7. Beisenbi, M., Kaliyeva, S. The solution to the problem of synthesis of control of multidimensional objects. International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2019; Tashkent; Uzbekistan; 4 November 2019.
8. Beisenbi, M., Sagymbay, A., Satybaldina, D., Kissikova, N. Velocity gradient method of Lyapunov vector functions. ACM International Conference Proceeding Series 10 January 2019, Pages 88-925th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies, ICSLT 2019; Vienna; Austria.
9. Beisenbi, M., Kaliyeva, S. Synthesis of the control systems by the state of an object with input and single output by a gradientvelocity method of A.M. Lyapunov vector functions. International Journal of Civil Engineering and Technology Volume 9, Issue 10, October 2018, Pages 2080-2086.
10. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. В 2-х томах. Т.1. – М.: Мир, 1984.
11. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. – М.: Наука, 2001.

Синтез настраиваемого регулятора основного контура адаптивной системы управления с m-входами и n-выходами

[1]***БЕЙСЕНБИ Мамырбек Аукебаевич,*** *д.т.н., профессор, beisenbi@mail.ru,*
[1]****ТЕМИРБЕК Айжан,*** *докторант, aiku08@mail.ru,*
[1]*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010008, Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2,*
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Статья посвящена постановке задачи адаптивного управления и решению задачи синтеза настраиваемого регулятора основного контура адаптивной системы управления с m-входами и n-выходами, градиентно-скоростным методом вектор-функции Ляпунова. Для исследования устойчивости, робастности и качества работы основного контура адаптивной системы управления предлагается новый градиентно-скоростной метод вектор-функции Ляпунова, где эталонная модель и основной контур управления рассматриваются как градиентные системы, а функции Ляпунова как потенциальные функции. Из условий апериодической робастной устойчивости эталонной модели и основного контура адаптивной системы управления при фиксированных значениях параметров объекта управления вычисляются соответствующие коэффициенты обратной связи основного контура адаптивной системы управления.*

Ключевые слова: *адаптивное управление, эталонная модель, система с m-входами и n-выходами, градиентно-скоростной метод вектор-функции Ляпунова.*

Synthesis of a Tunable Controller of the Main Loop of an Adaptive Control System with m-inputs and n-outputs

[1]***BEISENBI Mamyrbek,*** *Dr. Tech. Sci., Professor, beisenbi@mail.ru,*
[1]****TEMIRBEK Aizhan,*** *doctoral student, aiku08@mail.ru,*
[1]*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, 010008, Nur-Sultan, Satpayev Street, 2,*
**corresponding author.*

Abstract. *The article is devoted to the formulation of the adaptive control problem and the solution of the problem of synthesis of a tunable controller of the main loop of an adaptive control system with m-inputs and n-outputs, using the gradient-velocity method of the Lyapunov vector function. To study the stability, robustness and quality of the main loop of the adaptive control system, a new gradient-velocity method of the Lyapunov vector function is proposed, where the reference model and the main control loop are considered as gradient systems, and the Lyapunov functions as potential functions. Where, from the conditions of the aperiodic robust stability of the reference model and the main loop of the adaptive control system at fixed values of the parameters of the control object, the corresponding feedback coefficients of the main loop of the adaptive control system are calculated.*

Keywords: *adaptive control, reference model, system with m-inputs and n-outputs, gradient-velocity method of the Lyapunov vector function.*

REFERENCES

1. Metody klassicheskoj i sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravlenija: Uchebnik v 5-i t. T5: Metody sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravlenija/ Pod red. K.A. Pupkova, N.D. Egupova [Methods of classical and modern theory of automatic control: Textbook in 5 vols. vol.5: Methods of modern theory of automatic control]. – Moscow: Publ. MGTU im. N.`E. Baumana, 2004. – 784 p.
2. Petrov B.N., Rutkovskij V.Ju., Krutova I.N., Zemljakov S.D. Printsipy postroenija i proektirovanija samonastraivajuschihsja sistem upravlenija [Principles of construction and design of self-adjusting control systems]. – Moscow: Mashinostroenie, 1972. – 260 p.
3. Andrievskij B.R., Fradkov A.L. Izbrannye glavy teorii avtomaticheskogo upravlenija. Gl.13. Upravlenie nelinejnymi kolebatel'nymi i haoticheskimi sistemami [Selected chapters of automatic control theory. Chapter.13, Control with nonlinear oscillatory and chaotic systems]. Saint Petersburg: Nauka, 1999.
4. A.L. Fradkov Adaptive control in complex systems [Adaptive control in complex system]. – Moscow: Science, 1990. – 292 p.
5. Kozlov Ju.M., Jusupov R.M. Bespoiskovye samonastraivajuschiesja sistemy [Searchless self-tuning systems]. – Moscow: Nauka, 1969. – 456 p.
6. Bejsenbi M.A. Issledovanie robastnoj ustojchivosti sistem avtomaticheskogo upravlenija metodom funktsii A.M. Ljapunova [Investigation of the robust stability of automatic control system by the function method A.M. Lyapunov]. – Astana, 2015. – 204 p.
7. Beisenbi, M., Kaliyeva, S. The solution to the problem of synthesis of control of multidimensional objects. International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2019; Tashkent; Uzbekistan; 4 November 2019.
8. Beisenbi, M., Sagymbay, A., Satybaldina, D., Kissikova, N. Velocity gradient method of Lyapunov vector functions. ACM International Conference Proceeding Series 10 January 2019, Pages 88-925th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies, ICSLT 2019; Vienna; Austria.
9. Beisenbi, M., Kaliyeva, S. Synthesis of the control systems by the state of an object with input and single output by a gradientvelocity method of A.M. Lyapunov vector functions. International Journal of Civil Engineering and Technology Volume 9, Issue 10, October 2018, Pages 2080-2086.
10. Gilmor R. Prikladnaja teorija katastrof. V 2-tomah. T.1 [Applied Catastrophe Theory, in 2 vol. vol. 1]. – Moscow: Mir, 1984.
11. Poston T., Stjuart I. Teorija katastrof i ee prilozhenija [The theory of catastrophes and its applications]. – Moscow: Nauka, 2001.