

=====

КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР, АСПАП ЖАСАУ ЖӘНЕ АВТОМАТТАНДЫРУ  
КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
COMPUTER SCIENCE, INSTRUMENTATION AND AUTOMATION

=====

[https://doi.org 10.53364/24138614\\_2023\\_31\\_4\\_85](https://doi.org/10.53364/24138614_2023_31_4_85)  
МРНТИ 73.37.75.

<sup>1</sup>К. Алибеккызы\*

<sup>1</sup> Дәулет Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

\*E-mail: [Karlygash.Eleusizova@mail.ru](mailto:Karlygash.Eleusizova@mail.ru)

### ҚЫСҚА ПЕРИОДТЫ ҚОЗҒАЛЫС КЕЗІНДЕ ҰШАҚТЫҢ АЙНАЛУ БҰРЫШЫН АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ҮШІН АНЫҚТАЛМАҒАН ЖҮЙЕЛЕРДІ ӘЗІРЛЕУ

*Аңдатпа.* Қазіргі уақытта нақты жағдайларда әзірлеуші инженер параметрлік белгісіздік мәселесімен бетпе-бет келеді. Әуе кемелері белгісіздік жағдайында жұмыс істейді; ұшақта әрекет ететін әртүрлі сыртқы кедергілер әрқашан болған, болады және болады. Бұл жүйенің сенімділігі мен ұшу қауіпсіздігін арттыру үшін жылдам бүйірлік қысқа мерзімді қозғалыс кезінде әуе кемесінің айналу бұрышын автоматты басқарудың белгісіз жүйесін әзірлеуді анықтайды. Демек, диссертациялық жұмыстың алынған зерттеу нәтижелері ғылым үшін өте маңызды және болашақта белгісіздік жағдайында әуе кемелерін басқару теориясының мәселелерін шешу үшін пайдаланылуы мүмкін.

*Түйін сөздер:* айналдыру бұрышы, математикалық модель, белгісіз жүйе, ұшақ, автопилот, бүйірлік қозғалыс, матрицалық талдау, тұйық жүйе.

*Кіріспе.* Әуе көлігін пайдаланудағы қазіргі тәжірибе көрсеткендей, әртүрлі әуе кемелерінің апаттарында адам факторы маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар маневр қабілеттілігін кеңейтетін және динамикалық сипаттамаларды жақсартатын автоматты басқару жүйелерінің болуы. Дегенмен, сыни жағдайларда ұшу қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қолмен және автоматты басқаруды үйлестіруді жақсарту қажет. Бұл осы жағдайда қолмен басқаруға қалай ауысу және сыни режимдердің пайда болуын болдырмау туралы сұрақты тудырады (мысалы: ұшақтың тоқтап қалуы). Қысқа мерзімді қозғалыс кезінде ұшақтың айналу бұрышын автоматты басқарудың белгісіз жүйесін әзірлеудің өзектілігі күмән тудырмайды.

Автоматтандыру жүйелерінің дамуының негізгі тенденциясы адамның қатысуынсыз белгіленген функцияларды немесе процедураларды орындауға қабілетті автоматты жүйелерді құру бағытында. Адамның рөлі – бастапқы

мәліметтерді дайындау, алгоритмді таңдау (шешу әдісі) және алынған нәтижелерді талдау. Алайда шешілетін тапсырмаларда эвристикалық немесе күрделі бағдарламаланған процедуралардың болуы автоматтандырылған жүйелердің кеңінен қолданылуын түсіндіреді. Мұнда адам шешім қабылдау процесіне қатысады, мысалы, оны басқару және аралық мәліметтерді енгізу арқылы [1].

Қазіргі заманғы әуе кемесінің ұшуын басқару пилоттық және арнайы автоматты жүйелермен қамтамасыз етіледі, олар ұшқышты басқаруды жеңілдетуге, басқару сапасын жақсартуға және әуе кемелерін пайдалану тиімділігін арттыруға қызмет етеді. Заманауи әуе кемелерінің ұшу қауіпсіздігін қамтамасыз ету оларды автоматтандырусыз мүмкін емес шаралар кешенін талап етеді. Мысалы, автоматты қауіпті ұшу режимдері деп аталатындарды пайдалана отырып, әуе кемесі рұқсат етілген максималды ұшу режимдеріне (жылдамдық, тік шамадан тыс жүктемелер, шабуыл бұрыштары, домалау және сырғу бойынша) жеткенде ұшқышқа дабыл беру және басқару құралдарының қозғалысын автоматты түрде шектеу [2].

*Материалдар және зерттеу әдістері.* Жұмыстың мақсаты жылдам бүйірлік қысқа мерзімді қозғалыс кезінде ұшақтың айналу бұрышын автоматты басқарудың белгісіз жүйесін жасау болып табылады.

Жұмысты жазудың әдістемелік негізі ұшақтарды автоматты басқару теориясының, интервалдық арифметиканың, матрицалық талдаудың әдістері болды.

Қысқаша нәтижелер келесідей:

- белгісіздік жағдайында «ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйесінің математикалық моделі алынды;

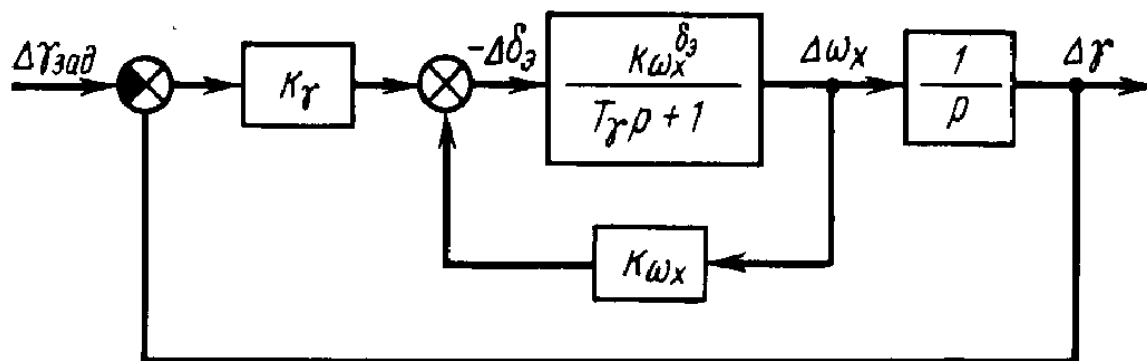
- белгісіздік жағдайында «әуе кемесінің айналу бұрышы автопилоты» жабық жүйесінің құрылымдық диаграммасы зерттелді;

- Гурвиц критерийі негізінде белгісіздік жағдайында жылдам бүйірлік қысқа мерзімді қозғалыс кезінде орамдық бұрышты автоматты басқару жүйесінің сенімді орнықтылығын зерттеу алгоритмі алынды;

- белгісіздік жағдайында жылдам бүйірлік қысқа периодты қозғалыс кезінде орамдық бұрышты автоматты басқару жүйесін модельдеу нәтижелері алынды.

*Нәтижелері және оларды талқылау.*

Қазіргі уақытта мамандардың ерекше назары қысқа мерзімді қозғалыс кезінде орам бұрышын автоматты басқарудың белгісіз жүйесін зерттеу әдістеріне аударылады.



1 - сурет. «Ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйесінің құрылымдық схемасы

Мұнда:

$\Delta\gamma_{зад}$  – айналдыру бұрышы сәйкес басқару әрекетінің ауытқуы немесе орам бұрышының көрсетілген мәнінен ауытқуы;

$K_\gamma$  - тоқтың мәндері мен көрсетілген орам бұрышы  $1^\circ$  арасында сәйкессіздік пайда болған кезде элерондардың қандай бұрышпен ауытқуы керектігін анықтайтын орам бұрышы үшін тасымалдау коэффициенті;

$\Delta\delta_\varepsilon$  – электронның ауытқуы;

$K_{\omega_x}$  – айналдыру бұрышы жылдамдығы 1град/с (1 рад/с); өзгерген кезде элерондардың қандай бұрышқа ауытқуы керек екенін көрсететін орамның бұрыштық жылдамдығы үшін тасымалдау коэффициенті

$\Delta\omega_x$  – отклонение значения угловой скорости;

$\Delta\gamma$  – айналдыру бұрышының ауытқуы;

$p$  – сырғанау бұрышы ( $p=6$ );

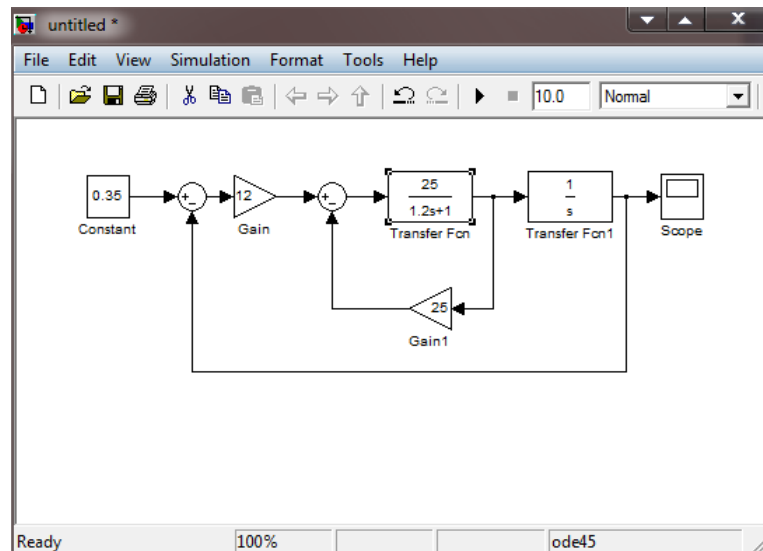
$T_\gamma$  – уақыт кідірісі (ішінде сақталады 1 – 1.2 сек.);

Жабық жүйенің өтпелі процесін модельдеу SIMULINK көрнекі модельдеу құралын қамтитын ұшақ.

Пакеттің басты артықшылықтарының бірі - жұмыс істеу үшін пайдаланушы ол туралы тапсырма талап ететіндей білуі керек. MATLAB пайдаланушыға құрылған бағдарламаларды жөндеуге арналған интерактивті құралдармен біріктірілген іс жүзінде әмбебап объектіге бағытталған бағдарламалау тілін ұсынады.

Бұл мақалада «ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйедегі өтпелі процесті модельдеу талқыланады.

Бұл мақалада «ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйедегі өтпелі процесті модельдеу қарастырылады (2-сурет)



2 - сурет. «Ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйедегі өтпелі үрдісі

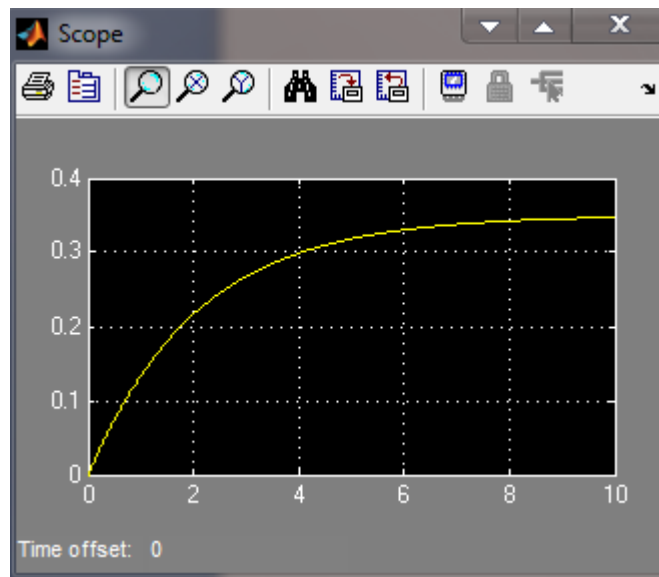
$$\Delta\gamma_{зад} = 20^\circ(0.35 \text{ рад})$$

$$k_\gamma = 12$$

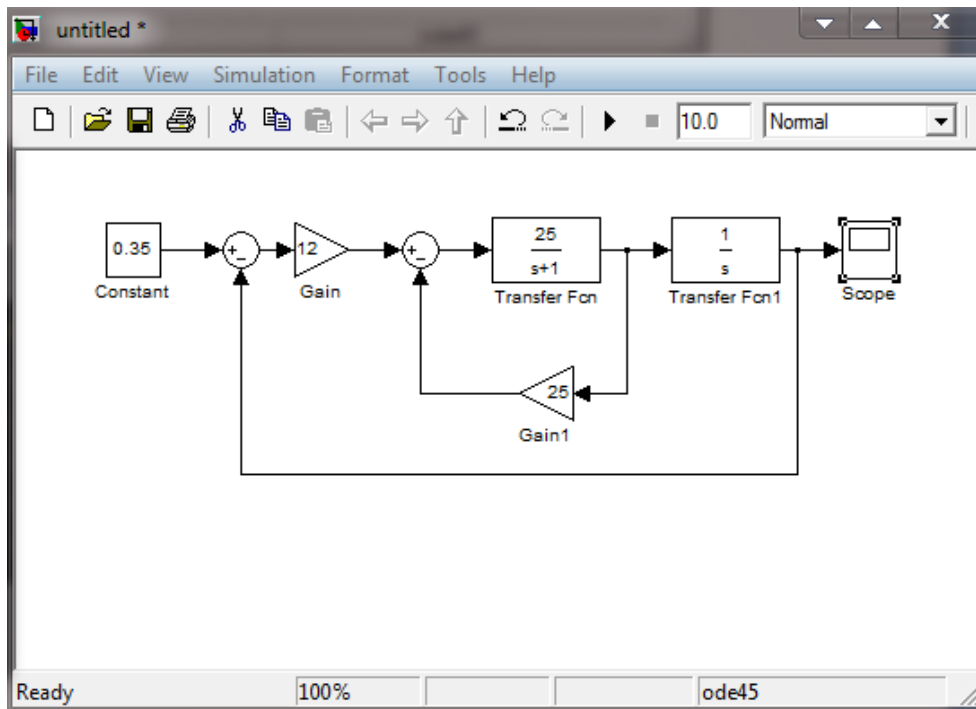
$$k_{\omega_x} = 25$$

$$k_{\omega_x}^{\delta_\alpha} = 25$$

бұдан  $T_\gamma = 1.2$



3 - сурет. «Ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйедегі өтпелі үрдісі графигі осыдан  $T_\gamma = 1.2$



4 - сурет. «Ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйедегі өтпелі үрдісі

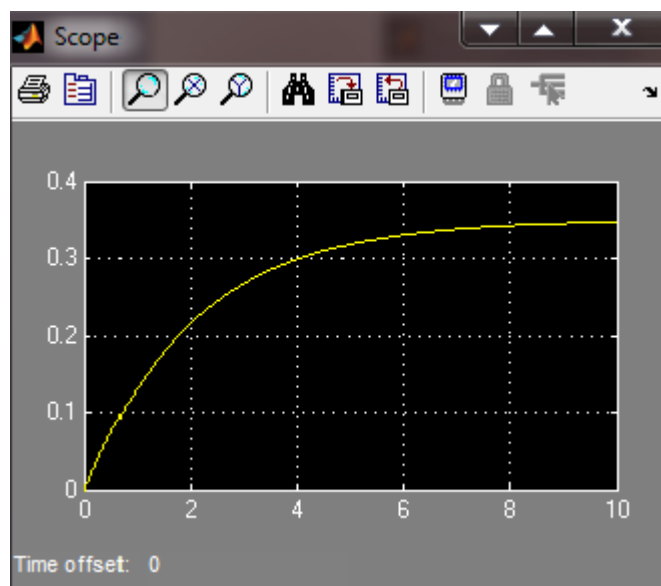
$$\Delta\gamma_{зад} = 20^\circ(0.35 \text{ рад})$$

$$k_\gamma = 12$$

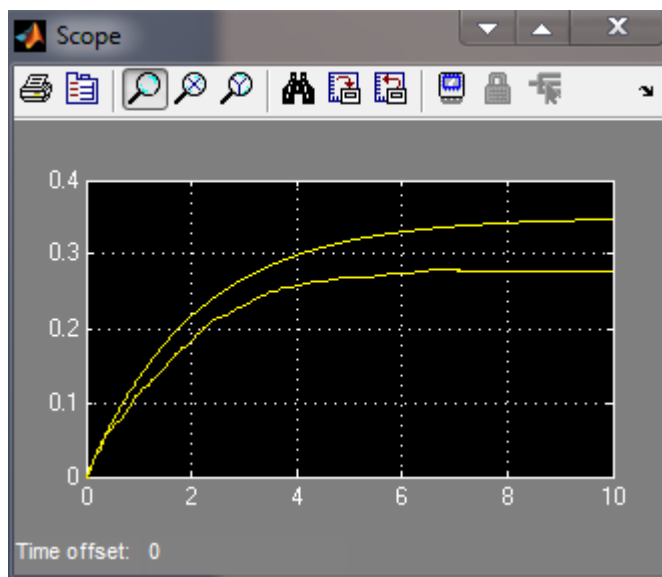
$$k_{\omega_x} = 25$$

$$k_{\omega_x}^{\delta_\alpha} = 25$$

бұдан  $T_\gamma = 1$



5 - сурет. «Ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйедегі өтпелі процестің графигі осыдан  $T_\gamma = 1$



**6 - сурет.** «Ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйедегі өтпелі процестердің графигі, осыдан  $= [1; 1.2]$  – сипаттамалар тобы

Әрі қарай, белгісіздік жағдайында жылдам бүйірлік қысқа мерзімді қозғалыс кезінде орамдық бұрышты автоматты басқару жүйесінің сенімді орнықтылығын зерттеу шарттарын тұжырымдауды қарастырамыз.

Жылдам бүйірлік қысқа мерзімді қозғалыс кезінде ұшақтың айналу бұрышын басқару жүйесінде параметрлік белгісіздіктің пайда болу себептері:

1. Техникалық параметрлерді (ағын, қысым және т.б.) өлшеуге арналған датчиктердің үлкен қателігінен туындайтын басқару объектілерінен алынған жедел ақпараттың төмен дәлдігі;

2. Басқару және басқару объектілерінің үлгілерінің дұрыс еместігі;

3. Көп деңгейлі иерархиялық жүйелерде шешім қабылдау процесіндегі анық еместік;

4. Басқару циклінде диспетчердің болуы және табиғи тілде нақты өндірістік жүйеде үйлестіру процесін жүргізу диспетчердің білімін алгоритмдер түрінде көрсету қиындықтарын және компьютердің жұмысының жүйелілігін есепке алу қажеттілігіне әкеледі. -бағалау арқылы жасалған шешім:

– шешім қабылдау режимінде диспетчерден алынған бастапқы ақпараттың сенімсіздігі, бағалаудың дұрыс еместігі, ұғымдар мен терминдердің анықталмағандығы, өз қорытындыларындағы диспетчерлердің белгісіздігі;

– табиғи тілдің бұлыңғырлығы (көмескілігі) (лингвистикалық белгісіздік) және эксперттік типтегі жүйелердегі ережелерді көрсету тілі [3];

Енгізу деректеріндегі үлкен қателер жағдайында шешім қабылдаудың барлық мәселелерін, соның ішінде өлшеу және деректерді беру

құрылғыларының істен шығуынан туындаған мәселелерді екі негізгі топқа бөлуге болады:

1. Кәдімгі детерминирленген алгоритмдерді одан әрі қолдану арқылы дәл емес ақпараттың әсерін басу.

2. Нақты емес ақпарат болған жағдайда арнайы алгоритмдерге көшу (стохастикалық, анық емес, интервал).

Бірінші бағыт бастапқы ақпаратты сүзгілеу және тегістеу, мәліметтерді орташалау және таразылаудың әртүрлі әдістерін қолданумен сипатталады. Сондай-ақ жетіспейтін деректерді қалпына келтіру әдістері, интерполяция және экстраполяция және сенімді алгоритмдер қолданылады [5].

Автоматты басқару теориясында робастты жүйелер класына жататын, интервалмен белгіленген объектілерді басқару жүйелерін зерттеумен айналысатын бағыт дамыды. Бұл жүйелерде белгісіз параметрлер, сыртқы бұзылулар және берілген шекаралары бар интервалдарға жататын бастапқы шарттар бар. Белгісіздік басқару объектілеріне әсер ететін бақыланбайтын бұзылулардың болуымен де, басқару объектілерінің параметрлерінің шынайы мәндерін білмеуден де, кейде олардың уақыт өте келе болжанбайтын өзгерістерінен де туындауы мүмкін.

Гурвиц критерийі негізінде белгісіздік жағдайында жылдам бүйірлік қысқа периодты қозғалыс кезінде ұшақтың айналу бұрышын автоматты басқару жүйесінің сенімді орнықтылығын зерттеу алгоритмін құру [4].

Математикалық модельді құру кезінде алынған нәтижелерге сәйкес, тасымалдау функциясынан алынған мемлекеттік кеңістіктегі ұшақ айналу бұрышын басқару жүйесінің математикалық моделін ұсынамыз:

$$G(S) = \frac{k_Y \cdot k\omega_x}{T_Y S^2 + (1 + k\omega_x)S + k_Y \cdot k\omega_x}, \quad (1)$$

$$G(S) = \frac{k_Y \cdot k\omega_x}{T_Y S^2 + (1 + k\omega_x)S + k_Y \cdot k\omega_x} = \frac{k_Y \cdot k\omega_x / T_Y}{S^2 + \frac{(1 + k\omega_x)}{T_Y} S + \frac{k_Y \cdot k\omega_x}{T_Y}}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{k_Y k\omega_x}{T_Y} x_1 - \frac{1 + k\omega_x}{T_Y} x_2 \end{cases}, \quad (3)$$

мұндағы  $k_Y = 12$ ,

$k\omega_x = 25$ ,

$T_Y = [1; 1,2]$ .

Параметрлік белгісіздікті және интервалдық арифметиканың формализмін ескере отырып, басқару объектісінің математикалық моделін матрицалық түрде ұсынамыз:

$$\dot{x}(t) = Ax(t), x(t_0) = x_0, t \in [t_0, \infty), \quad (4)$$

мұндағы  $t$  – үздіксіз уақыт;

$t_0$  – бастапқы мән;

$x(t) \in \mathbb{R}^n$  – басқару объектісінің күй векторы;

$A \in M_{n \times n}(I(\mathbb{R}))$  – интервалдық матрица,  $(n \times n)$  элементтері бар

$$A = \{a_{ij} | a_{ij} = [\underline{a}_{ij}, \overline{a}_{ij}], 1 \leq ij \leq n\};$$

$\underline{a}_{ij}, \overline{a}_{ij} \in \mathbb{R}$ ; –  $A$  матрицалық элемент мәндерінің төменгі және жоғарғы

шекаралары;

$M_{n \times n}(I(\mathbb{R}))$  – интервалдық матрицалар жиыны;

$I(\mathbb{R})$  – /2/классикалық интервал арифметикасымен қамтылған интервал элементтерінің жиыны.

Сонда интервалдық матрица келесідей болады:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k_Y k \omega_x}{T_Y} & -\frac{1+k \omega_x}{T_Y} \end{vmatrix} \quad (7)$$

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -[\underline{a}_{21}, \overline{a}_{22}] & -[\underline{a}_{21}, \overline{a}_{22}] \end{vmatrix}$$

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -[300; 250] & -[26; 21,67] \end{vmatrix} \quad (8)$$

Гурвиц критерийі (сызықтық нүктелік жүйелер үшін тұрақтылық шарттарын алуға мүмкіндік береді):

Сызықтық жүйенің сипаттамалық теңдеуінің түбірлерінің теріс нақты бөліктері болуы үшін және жүйе тұрақты болуы үшін, сипаттамалық теңдеудің барлық коэффициенттері оң болса, Гурвицтің барлық диагональ минорлары қажет және жеткілікті. анықтауыштары оң [6].

Харитоновтың критерийі (сызықтық интервалмен белгіленген жүйелер үшін қажетті тұрақтылық шарттарын алуға мүмкіндік береді):

Аралық берілген жүйе орнықты болуы үшін интервалмен берілген жүйенің  $2^k$  бұрыштық сипаттамалық көпмүшеліктері тұрақты болуы керек.

Әрі қарай, біз сенімді тұрақтылықты зерттеу алгоритміне көшеміз.

1-қадам.  $A$  матрицасы үшін сипаттамалық көпмүшені есептеу:

$$\det(SI - A) = S^2 + c_1 S + c_2, \quad (9)$$



2-қадам. Матрицалар үшін  $2^{k=4}$  (A матрицасының  $k=2$  интервалдық параметрлері) сипаттамалық көпмүшеліктерді есептеу  $A_1, A_2, A_3, A_4$ :

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\underline{a_{11}} & -\underline{a_{22}} \end{pmatrix}, \det (SI - A_1) = S^2 + c_{11}S + c_{21}; \quad (10)$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\underline{a_{11}} & -\underline{a_{22}} \end{pmatrix}, \det (SI - A_2) = S^2 + c_{12}S + c_{22}; \quad (11)$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\underline{a_{11}} & -\underline{a_{22}} \end{pmatrix}, \det (SI - A_3) = S^2 + c_{13}S + c_{33}; \quad (12)$$

$$A_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\underline{a_{11}} & -\underline{a_{22}} \end{pmatrix}, \det (SI - A_4) = S^2 + c_{14}S + c_{34}; \quad (13)$$

3-қадам. Алынған көпмүшелердің көмегімен тұрақтылықты зерттеу Гурвиц критерийі арқылы жүзеге асырылады.

$$A_1: \det \left[ S \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -300 & -26 \end{vmatrix} \right] == \det \begin{vmatrix} S & -1 \\ 300 & S + 26 \end{vmatrix} = S^2 + 26S + 300$$

*Қорытынды.* Бұл жұмыста келесі теориялық және практикалық нәтижелер алынды:

- белгісіздік жағдайында «ұшақ – айналу бұрышының автопилоты» жабық жүйесінің математикалық моделі алынды;

- белгісіздік жағдайында «әуе кемесінің айналу бұрышы автопилоты» жабық жүйесінің құрылымдық диаграммасы зерттелді;

- Гурвиц критерийі негізінде белгісіздік жағдайында жылдам бүйірлік қысқа мерзімді қозғалыс кезінде орамдық бұрышты автоматты басқару жүйесінің сенімді орнықтылығын зерттеу алгоритмі алынды;

- белгісіздік жағдайында жылдам бүйірлік қысқа периодты қозғалыс кезінде орамдық бұрышты автоматты басқару жүйесін модельдеу нәтижелері алынды.

Динамикалық қасиеттерді зерттеу және толық анықталмаған объектілерді синтездеу мәселелері қазіргі уақытта белгісіздік жағдайында жұмыс істейтін жүйелердің тиімділігін арттыру қажеттілігімен анықталатын автоматты басқару теориясының назарында.

Әуе кемелерін басқарудың автоматты жүйелерін кеңінен енгізу технологиялық прогрестің заңды нәтижесі және өз алдына, әрине, оң құбылыс.

Нәтижесінде жылдам бүйірлік қысқа мерзімді қозғалыс кезінде ұшақтың айналу бұрышын автоматты басқарудың белгісіз жүйелерін зерттеудің заманауи әдістерін әзірлеу тақырыбының өзектілігі туралы қорытынды жасауға болады.

К. Алибеккызы

## РАЗРАБОТКА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ КРЕНА САМОЛЕТА ПРИ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ

***Аннотация.** В настоящее время в реальных условиях инженер – разработчик сталкивается с проблемой параметрической неопределенности. Летательные аппараты функционируют в условиях неопределенности, всегда были, есть и будут различные внешние возмущения, которые действуют на самолет. Это и обуславливает разработку неопределенной системы автоматического управления углом крена самолета при быстром боковом короткопериодическом движении, для надежности системы и повышения безопасности полетов. Следовательно, полученные результаты исследований диссертационной работы очень важны для науки и могут быть использованы в дальнейшем для решения задач теории управления летательными аппаратами в условиях неопределенности.*

***Ключевые слова:** угол крена, математическая модель, неопределенная система, самолет, автопилот, боковое движение, матричный анализ, замкнутая система.*

К. Alibekkyzy

## DEVELOPMENT OF UNDEFINED SYSTEMS FOR AUTOMATIC CONTROL OF AN AIRCRAFT ROLL ANGLE DURING SHORT-PERIOD MOTION

***Annotation.** Currently, in real conditions, the development engineer is faced with the problem of parametric uncertainty. Aircraft operate under conditions of uncertainty; there have always been, are and will be various external disturbances that act on the aircraft. This determines the development of an indefinite system for automatic control of the aircraft's roll angle during fast lateral short-period movement, for system reliability and increased flight safety. Consequently, the obtained research results of the dissertation work are very important for science and can be used in the future to solve problems in the theory of aircraft control under conditions of uncertainty.*

***Key words:** bank angle, mathematical model, uncertain system, airplane, autopilot, lateral movement, matrix analysis, closed system.*

### Әдебиеттер тізімі

1. Теория автоматического управления. /Под ред. Воронова А.А.-М.; Высш.шк.
2. Перевод Г. Аралов. Как избежать катастрофы // Aerosafety World, Гражданская Авиация, 2009., №5 – С.38.

3. Тягунов О. А., // Мехатроника, Автоматизация, Управление, 2012., №11 – С. 2 – 8.
4. Автоматизация, <http://proektall.com/avtomatizatsiya>.
5. Рутман Р.С. Системы автоматического управления.
6. Алефельд Г. Введение в интервальные вычисления / М.: 1987.

### References

1. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. /Pod red. Voronova A.A.-M.; Vyssh.shk.
2. Perevod G. Aralov, Kak izbezhat' katastrofy // Aerosafety World, Grazhdanskaya Aviatsiya, 2009., №5 – S.38.
3. Tyagunov O. A., // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, 2012., №11 – S. 2 – 8.
4. Avtomatizatsiya, <http://proektall.com/avtomatizatsiya>.
5. Rutman R.S. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya.
6. Alefel'd G. Vvedenie v interval'nye vychisleniya / М.: 1987.

Алибекқызы К.	«АТЖЗЖМ» қауымдастырылған профессоры, PhD философия докторы Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан E-mail: <a href="mailto:Karlygash.eleusizova@mail.ru">Karlygash.eleusizova@mail.ru</a>
Алибекқызы К.	Ассоциированный профессор «ШИТиИС», доктор философии PhD У им.Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан E-mail: <a href="mailto:Karlygash.eleusizova@mail.ru">Karlygash.eleusizova@mail.ru</a>
Alibekkyzy K.	Associate Professor of "SOITaIS", Doctor of Philosophy PhD of D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: <a href="mailto:Karlygash.eleusizova@mail.ru">Karlygash.eleusizova@mail.ru</a>