



**Коммерциялық емес  
акционерлік қоғам**

**ҒҰМАРБЕК ДАУКЕЕВ  
АТЫНДАҒЫ АЛМАТЫ  
ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ  
БАЙЛАНЫС  
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электр машиналары және  
электр жетегі кафедрасы

## **АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ**

6B08501 – Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету мамандығының студенттері үшін зертханалық жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2021

ҚҰРАСТЫРҒАНДАР: Ж.Ж. Тойгожинова, Ж.К. Оржанова. Ауыл шаруашылығындағы процестерді автоматтандыру. 6B08501 – Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету мамандығының студенттеріне зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар. - Алматы: Ғұмарбек Даукеев атындағы АЭЖБУ, 2021. – 24 б.

Әдістемелік нұсқау MATLAB Simulink бағдарламасында жұмыстарды орындау ретінен, жұмысты теориялық қысқаша кіріспесінен және дайындау әдістерінен алынған нәтижелерді талдаудан тұрады.

Әдістемелік нұсқау 6B08501 – Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету мамандығының студенттеріне зертханалық жұмыстарды орындауға арналған.

Суреттер 14, кесте 4, әдеб. – 6 атау.

Пікір беруші: аға оқытушысы, т.ғ.к. Утешкалиева Л.

«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінің» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2021 ж. баспа жоспары бойынша басылады.

© «Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2021 ж.

## Мазмұны

Кіріспе.....	4
1 Зертханалық жұмыс №1. MATLAB Simulink бағдарлама жүйесімен танысу және жұмыс жасап үйрену.....	4
2 Зертханалық жұмыс №2. Автоматты басқару жүйесіндегі өтпелі процестердің сапасын зерттеу .....	8
3 Зертханалық жұмыс №3. Автоматты реттеу жүйесінің дәлдігін зерттеу	11
4 Зертханалық жұмыс №4. Ажыратылған және тұйықталған жүйелердің орнықтылығын зерттеу .....	18
Әдебиеттер тізімі.....	24

## Кіріспе

Ұсынылып отырған әдістемелік нұсқаулықтар «Ауыл шаруашылығындағы процестерді автоматтандыру» (АШПА) курсы бойынша зертханалық жұмыстарды орындауға арналған.

Жұмыстың мақсаты: студенттерге автоматтандырудың орнықтылық процестерін, басқару жүйесін құру әдістерін, оның математикалық жазылу әдістерін үйрету және тәжірибе жүзінде талдауға үйрету.

Зертханалық жұмыстарды орындау барысында студенттер қарастыратын тақырыптар:

- математикалық әдістермен автоматтандыру жүйесін талдау, автоматты жүйелердегі әртүрлі буындардың динамикалық қасиеттерімен танысу және сипаттамаларын тұрғызу;

- автоматтандырудың сызықты жүйесінің орнықтылық әдістерін қарастырып, басқару процесінің сапасын бағалау;

- автоматты басқару кезінде талап етілетін дәлдік пен тез әсерден тұратын технологиялық процесті басқару сапасы мен орнықтылығын зерттеу;

- автоматты басқару жүйелерінің тұрақтылығын зерттеу және тұрақтылық қорларын бағалау.

Зертханалық жұмыстарды орындау MATLAB бағдарламасының Control System Toolbox және Simulink қосымшаларын қолдану арқылы жүзеге асады.

### **1 Зертханалық жұмыс №1. MATLAB Simulink бағдарлама жүйесімен танысу және жұмыс жасап үйрену**

*Жұмыстың мақсаты:* MATLAB бағдарламасымен жұмыс жасауды толық игеру.

#### **1.1 Қысқаша теориялық кіріспе**

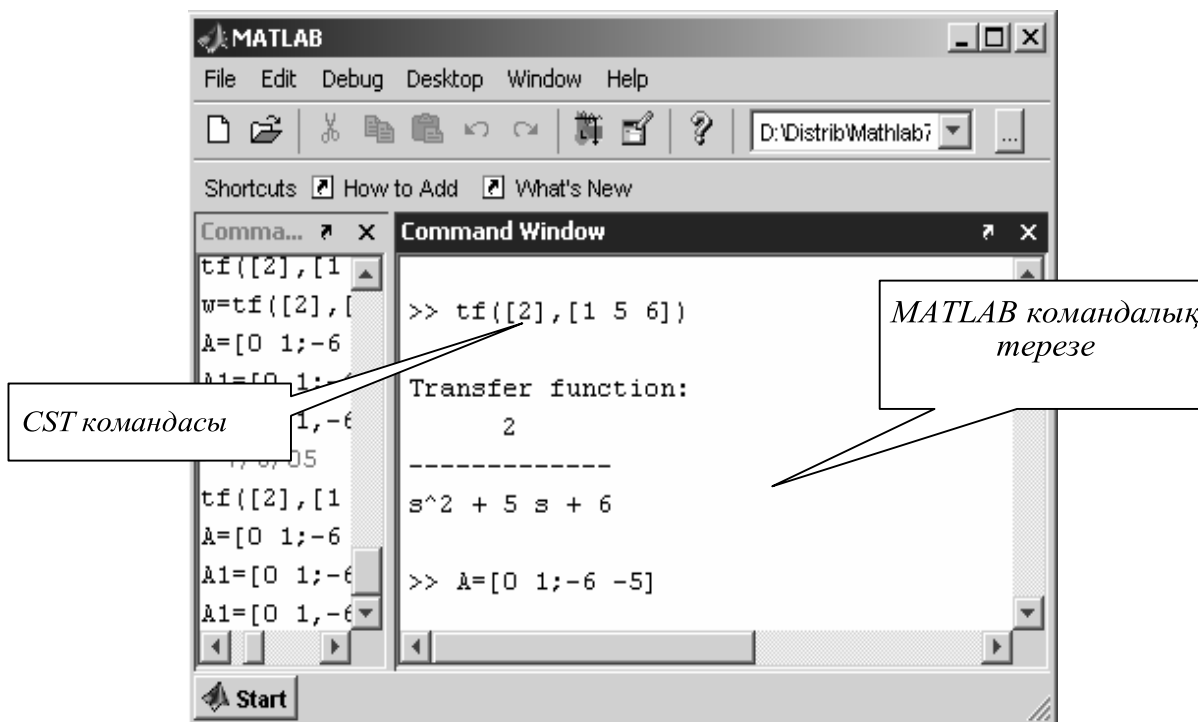
MATLAB бағдарламасы әртүрлі есептеулерді орындау үшін кең көлемді командалар жиынтығынан тұратын, деректерді беруге және ақпаратты кескін түрінде бейнелеуге арналған жоғарғы деңгейдегі бағдарламалау жүйесі. Мұнда басқару жүйесінің LTI-моделімен (Linear Time Invariant Models) жұмыс жасауға қажетті Control System Toolbox қолданбалы бағдарламалар пакетінің командалары қолданылады.

MATLAB Simulink дегеніміз кітапхана блоктарымен динамикалық жүйелерді модельдеу, талдау және синтездеуге арналған интерактивті құрал болып келеді. Simulink MATLAB бағдарламасының дербес жеткілікті құралы, MATLAB функцияларына және оның басқа да құралдарына енуі оңай жүзеге асады. Құрамы әртүрлі аймақта қолданылатын қосымша кітапхана блоктарынан, яғни электр техникалық құрылғыларды моделдеу, сандық құрылғыларды және т.б. өңдеу үшін блоктар жиынтығынан тұрады.

## 1.2 Жұмысты жасаудың негізгі принциптері және моделдеу

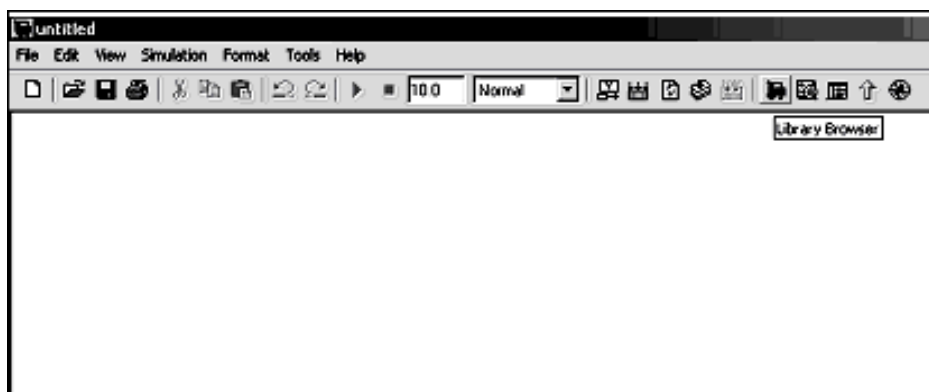
Зертханалық жұмыс CST командасы немесе MATLAB Simulink блоктарымен орындалады.

CST командасымен жұмыс жасау үшін алдымен MATLAB бағдарламасын қосып, 1.1 суретте көрсетілген MATLAB бағдарламасындағы командалық терезедегі командаларды теру арқылы орындалады.



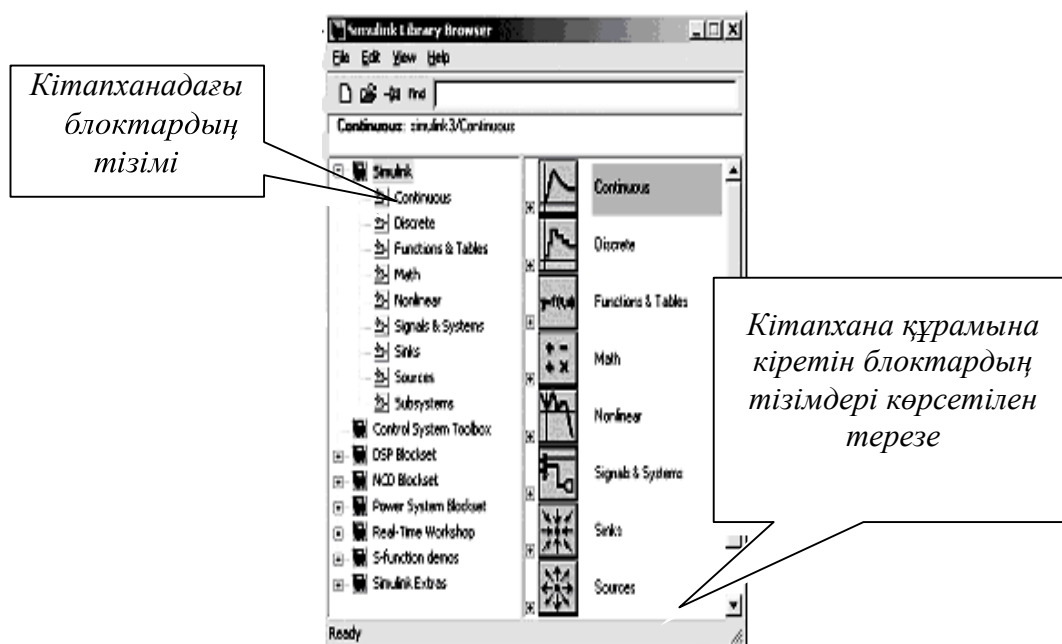
1.1 сурет – MATLAB бағдарламасындағы командалық терезе

MATLAB бағдарламасын қосқаннан кейін MATLAB Simulink арқылы жұмыс жасау үшін File→New→Model мәзірін ашу қажет. Ашылған терезеде (1.2 сурет) Simulink кітапханасындағы операциялық блоктардың көмегімен жүйенің моделі құрылады.



1.2 сурет - MATLAB Simulink терезесінің бейнесі

Кітапханадағы блоктардың терезесі Simulink мәзіріндегі Library Browser батырмасын басқаннан кейін ашылады. Ол әртүрлі қолданбалы бөліктерден тұрады (1.3 сурет).



1.3 сурет – MATLAB Simulink кітапханасының құрамы

### 1.3 Әдістемелік мысал

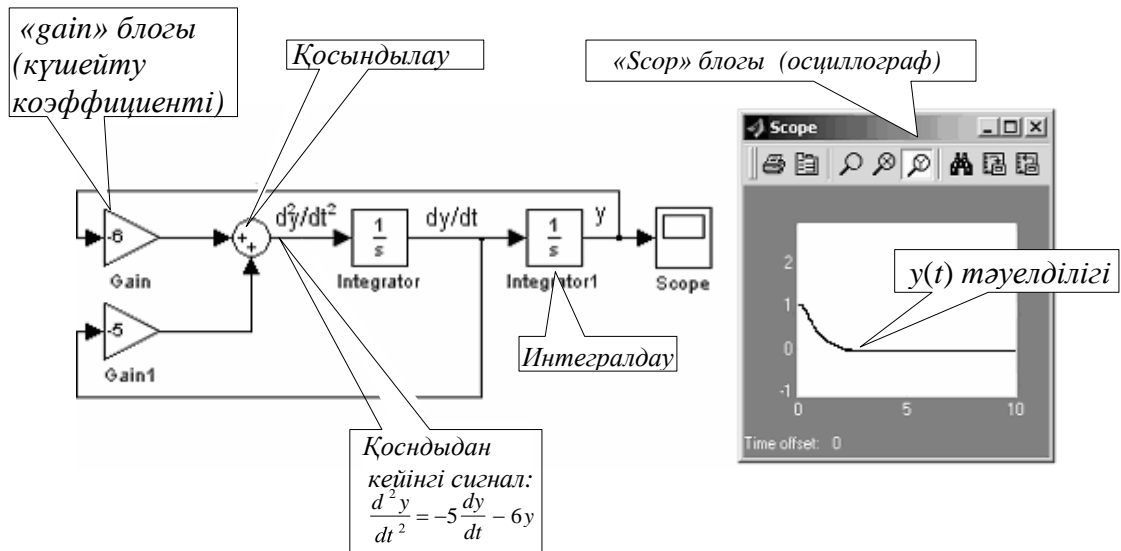
MATLAB бағдарламасының құрамына кіретін құралдарды қолданып бастапқы шартпен  $n$  ретті теңдеулерді моделдеу.

Қандайда бір  $y(t_0) = 1$ ,  $y'(t_0) = 1$ ,  $t \in [t_0, +\infty]$ ,  $t_0 = 0$  бастапқы шарттардан тұратын төмендегі дифференциалды теңдеу берілген деп қарастырсақ:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 5 \frac{dy(t)}{dt} + 6y(t) = 0, \quad (1.1)$$

MATLAB Simulink бағдарламасының көмегімен 1.1 теңдеуін моделдеу 1.4-суретте көрсетілген. Сұлбаны құру үшін 1.1 теңдеуін жоғарғы туындыға қатысты шешіп, MATLAB Simulink бағдарламасындағы стандартты блоктарды қолданады: қосындылау (*Sum*), интегратор (*Integrator*), күшейту (*gain*), өтпелі сипаттаманы шығару блогы - осциллограф (*Scope*). Осыған сәйкес дифференциалдық теңдеу түрі төмендегідей жазылады:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -5 \frac{dy}{dt} - 6y, \quad (1.2)$$



1.4 сурет – MATLAB Simulink бағдарламасында теңдеуді моделдеу сұлбасы

## 1.4 Зертханалық жұмысты орындау тәртібі

1.4.1 MATLAB бағдарламасын қосып, мәзірдің құрамына кіретін блоктармен танысу.

1.4.2 Бастапқы шарттарды және моделденетін элементтердің параметрлерін өзгерте отырып, 1.4-суреттегі сұлбаны жинап, моделдің теңдеуін жазу керек.

1.4.3 Бірінші және үшінші қатарлы дифференциалды теңдеулерді моделдеу төмендегі жазылған теңдеулерге қатысты орындалады.

Бастапқы шарт  $y(t) = \lambda$  болғанда дифференциалдық теңдеудің түрі  $a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_2 y(t) = 0$ .

Бастапқы шарт  $y(t_0) = \lambda, \dot{y}(t_0) = \mu, \ddot{y}(t_0) = \nu$  болғанда дифференциалдық теңдеудің түрі  $\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_2 \frac{dy(t)}{dt} + a_3 y(t) = 0$ .

1.4.4 Командалық тереземен танысу.

## 1.5 Бақылау сұрақтары

1.5.1 MATLAB бағдарламасының анықтамасы.

1.5.2 MATLAB бағдарламасындағы блоктардың түрлері.

1.5.3 Control System Toolbox (CST) және MATLAB Simulink қолданбалы бағдарламадағы пакеттердің моделдеу мүмкіндіктері.

1.5.4 Басқарылатын құрылғы, басқарылатын объект дегеніміз не?

1.5.5 Автоматты басқару жүйелері дегеніміз не?

1.5.6 Басқарылатын объектінің математикалық моделі.

1.5.7 Динамикалық және статикалық теңдеулер.

### 1.5.8 Динамикалық және статикалық сипаттамалар.

## 2 Зертханалық жұмыс №2. Автоматты басқару жүйесіндегі өтпелі процестердің сапасын зерттеу

*Жұмыстың мақсаты:* тәжірибе жүзінде өтпелі процестердің сапасын зерттеп үйрену.

### 2.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Автоматты басқару жүйелерінде (АБЖ) реттеу процестерінің орнықтылығына ғана талаптар қойылмайды. Сонымен қатар жүйенің жұмысқа қабілеттілігі үшін басқару процесінің сапа көрсеткіштері анықталады және осыған сәйкес автоматты реттеу процесі орындалуы қажет. Зерттелетін автоматты реттеу жүйесі орнықты болса, онда бұл жүйедегі реттеу қаншалықты сапалы екендігін және басқару аймағының техникалық талаптарын қаншалықты қанағаттандыра алатындығын анықтау қажет. Тәжірибе жүзінде өтпелі процестердің сызбасы арқылы реттеу сапасы анықталады.

Сапа көрсеткіштерінің түрлері:

- тікелей - процестің өтпелі сипаттамаларын қолданбай ақ анықталады;
- түбірлі - сипаттамалық полином түбірлерімен анықталады;
- жиіліктік - жиілікті сипаттамаларды қолданып анықталады;
- интегралды - функцияларды интегралдаумен анықталады.

Автоматтандырылған жүйелердің жұмыс режимінің өзгерісі сыртқы әсерлердің салдарынан пайда болады. Жүйеде сыртқы қарсы әсерлер арқылы пайда болатын өзгеріс заңдарына байланысты әртүрлі жүйенің жұмыс режимдері болады.

Қажетті деңгейге дейін басқарылатын айнымалыны тұрақтандыру үшін жүйеге айнымалы жүктеме түріндегі сыртқы қарсы әсер ету жеткілікті.

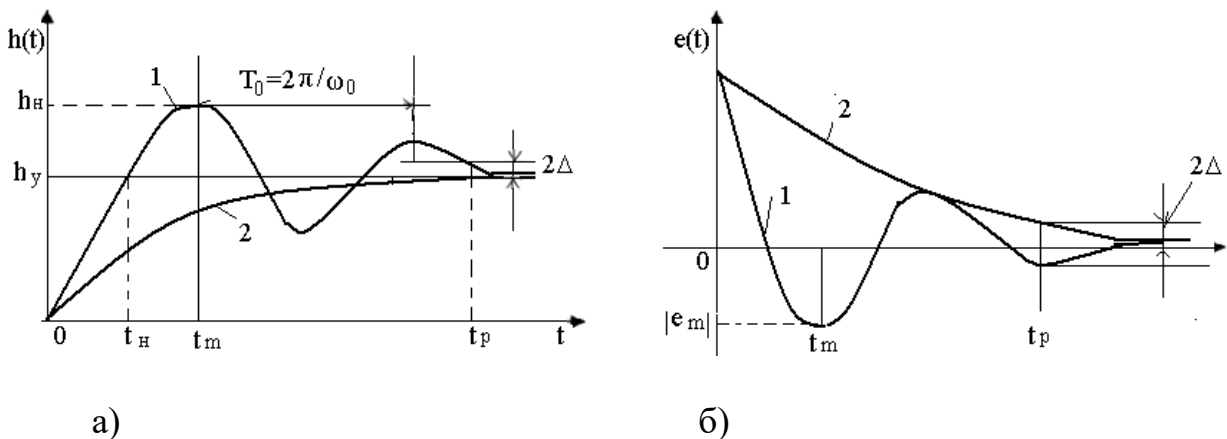
Жүйенің кірісіндегі сыртқы әсерлер бағдарлама арқылы тізбекті жүйелер үшін сипатталады. Бұл әсерлер минималды қателікпен орындалуы үшін жүйенің құрылымы мен параметрлері ыңғайлы етіліп таңдап алынады. Әсерлер жүйеде уақыттың күрделі функциялары болып табылады.

Басқару процесінің сапасын зерттеу кезінде бірнеше типтік әсерлер қарастырылады: бірлік сатылы, импульсті, гармоникалық және тұрақты жылдамдықты сигналдың өзгерісіне сәйкес келетін әсерлер. Әсерлердің ең көп тарағаны бірлік сатылы функциямен анықталатын бірлік сатылы әсер болып табылады.

Жүйедегі өтпелі процестер автоматты басқару жүйесінің қасиеттеріне ғана тәуелді емес, сонымен қатар, уақыттың күрделі функциялары болып келетін сыртқы әсер сипатына да тәуелді болады. Нөлдік бастапқы шарттарда бірлік сатылы  $I(t)$ , импульсті  $\delta(t)$  және гармоникалық функциялармен анықталатын типтік әсерлер кезіндегі жүйенің жұмысы  $h(t)$



өтпелі процестің қисығымен, сапаның тура әдісін қолдану арқылы бағаланады.



а – шығыс координаттардағы  $h(t)$  өтпелі сипаттама;

б – қателіктер үшін  $e(t)$  қисығы.

2.1 сурет – Өтпелі процестердің қисығы

Жүйенің немесе буынның кірісіне бірлік сатылы әсер берілгенде өтпелі процесс монотонды, бірлік сатылы, апериодты және тербелмелі болуы мүмкін (2.1 сурет). Егер  $t \rightarrow \infty$  ұмтылғанда пайда болған орнықты мәннен басқарылатын айнымалының ауытқуы азаятын болса, онда процесс монотонды түрде өзгереді (2 қисық). Егер басқарылатын айнымалының бастапқы және соңғы мәніне қатысты бір қайта реттеу орын алған жағдайда апериодты процесс орындалады.

Өтпелі сипаттамасыз анықталатын басқару процесінің сапасының тура көрсеткіштері:

1) Реттеу уақыты  $t_p$  – өтпелі процесі талап етілген, орнықталған мәнге жақын болатын минималды уақыт, онда  $|e(t)| \leq \Delta$  немесе  $|h(t) - h_y| \leq \Delta$  теңсіздігі орындалады, мұндағы  $\Delta$  - тұрақты,  $h(y)$  (статикалық жүйелерде  $h(y) = K/(1+K)$ ), ал астатикалық жүйелерде  $h_y = 1$ ) пайызбен берілетін шама. Әдетте  $\Delta = 5\%$  етіп алынады.

2) Аса реттеу  $H_m$  – орнықты мәннен өтпелі сипаттаманың максималды ауытқуы, салыстырмалы бірлікте немесе пайызбен беріледі:

$$H_m = \frac{(h_m - h_y)}{h_y} 100\% \quad \text{немесе} \quad H_m = \frac{|e_m|}{h_y} 100\% .$$

3)  $t_m$  - бірінші максимумға жету уақыты.

4) Өтпелі процестің өсу уақыты  $t_n$  – абсцисса осінің  $e(y)$  қисығымен немесе орнықты мәнінің деңгейімен  $h(y)$  қисықтың  $h(t)$  бірінші нүктесімен қиылысу абсциссасы.

5) Тербеліс жиілігі:  $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$ , мұндағы  $T_0$  – тербелмелі процестердің тербеліс периоды.

6)  $N$  - тербеліс саны,  $t_p$  уақыт аралығында  $h(t)$  орын алады.

7) Өшу декременті дегеніміз өтпелі процесс тербелісінің өшуін сандық бағалауы:  $\xi = \frac{h_{m1} - h_Y}{h_{m2} - h_Y}$ .

Монотонды өтпелі процестердің негізгі көрсеткіші реттеу уақыты болып табылады.

## 2.2 Жұмыстың бағдарламасы

2.2.1  $W(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$  беріліс функциясымен жазылатын

автоматты басқару жүйесінің 2.1 кестеде көрсетілген нұсқаларын қолданып MATLAB-Simulink пакетін қолдана отырып, өтпелі процесті алу қажет.

2.2.2 Алынған сызбалармен сапаның барлық тура көрсеткіштерін анықтау керек.

2.2.3 Нәтижелер бойынша қорытынды жасау.

2.1 кесте – Автоматты басқару жүйесінің параметрлері

№	$T1$	$T2$	$K$	№	$T1$	$T2$	$k$
1	0.51	0.11	0.2	11	0.45	1.0	4
2	0.35	1.0	8.56	12	0.56	0.93	5
3	0.13	0.013	13	13	0.89	0.57	89
4	0.46	0.19	3.79	14	0.65	0.3	4.2
5	0.7	0.67	6.67	15	0.2	0.01	8
6	0.98	0.23	9	16	0.54	0.91	3.4
7	0.96	0.99	8.67	17	1.0	0.63	6.7
8	0.5	1.0	3.4	18	0.3	0.44	3
9	0.39	0.83	6.12	19	1.0	0.86	3.8
10	0.99	0.92	90	20	0.34	0.28	5.54

## 2.3 Есеп беруге арналған талаптар

Есеп берудің құрамы:

- 1) Есеп берудің бірінші беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты және орындалу тәртібі.
- 3) Зерттелетін АБЖ-ң құрылымдық сұлбасы.
- 4) Өтпелі процестің сызбалары.
- 5) Сапа көрсеткіштердің есебі.
- 6) Қорытынды.

## 2.4 Бақылау сұрақтары

2.4.1 АБЖ-ң типтік әсерлері.

2.4.2 АБЖ сапа көрсеткіштері.

2.4.3 Тура зерттеу сапа көрсеткіштері.

2.4.4 Төмендегі ұғымдарға анықтама беріңіз:

- реттеу уақыты;

- аса реттеу;

- тербеліс жиілігі;

- тербеліс саны;

- бірінші максимумға жету.

2.4.5 Қайта реттеу деген не?

2.4.6 Басқару жүйелеріндегі тербеліс саны?

2.4.7 Өшу декременті дегеніміз не?

2.4.8 Өтпелі процестің өсу уақыты қалай анықталады?

2.4.9 ЛАЖС және ЛФЖС көмегімен жүйенің сапасын қалай анықтауға болады?

## 3 Зертханалық жұмыс №3. Автоматты реттеу жүйесінің дәлдігін зерттеу

*Жұмыстың мақсаты:* әртүрлі режимдерде автоматты реттеу жүйелерінің дәлдігін зерттеу.

### 3.1 Қысқаша теориялық кіріспе

АБЖ-ң негізгі талаптардың бірі басқарудың ( $y(t)$ ) орнықты процесінің түрімен анықталатын беруші әсерді іске қосу болып табылады. Жүйенің орнықтыланған қателігі:

$$\varepsilon(t) = y(t) - g(t). \quad (3.1)$$

АБЖ қателіктің орнықтыланған мәнін операциялық есептеулермен шектік мәні туралы теореманы қолданып анықтауға болады.

Егер  $\varepsilon(t)$  және  $\dot{\varepsilon}(t)$  функциялар түп нұсқасы, ал  $E(P)$  –  $\varepsilon(t)$  функцияның бейнесі болса, онда:

$$\lim_{P \rightarrow 0} \cdot E(P) = \lim_{P \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \varepsilon(t) = \varepsilon_{КАЛ}. \quad (3.2)$$

АБЖ-ң дәлдігін жұмыстың типтік режимдері үшін анықтайды. Олардың ішіндегі қарапайым режимдері:

- сыртқы әсердің тұрақты шамалары;
- тұрақты жылдамдықпен сыртқы әсерді өзгерту;
- сыртқы әсердің дәрежелі өсу кезіндегі өзгерісі;

- гармоникалық әсер.

Тұйықталған АБЖ-де сыртқы беруші әсердің тұрақты шамасы кезінде  $g(t) = const = g_0$  орнықты қателіктің мәнін табамыз.

Тұйықталған жүйенің қателік үшін беріліс функциясы:

$$\Phi_{\text{эг}}(p) = \frac{1}{1+W(p)}. \quad (3.3)$$

(3.2) теңдеу бойынша шектік мән туралы теоремаға сәйкес орнықты қателік:

$$\varepsilon_{\text{КАЛ}} = \lim_{p \rightarrow 0} P \cdot G(P) \cdot \Phi_{\text{эг}}(P). \quad (3.4)$$

$G(p) = \frac{g_0}{P}$  және  $W(p) = \frac{M(P) \cdot K}{Q(P)}$  болғанда, мұндағы  $M(P)$  және  $Q(P)$   $P$  көбейткіш болмайды, (3.2) ескерсек:

$$\varepsilon_{\text{КАЛ}} = \frac{g_0}{1+K}. \quad (3.5)$$

Бұл қателіктің мәні статикалық қателік деп аталады.

Беруші әсер тұрақты жылдамдықпен өзгерсе:

$$g(t) = V \cdot t. \quad (3.6)$$

(3.2) және (3.3) теңдеулерді ескерсек, онда  $G(P) = \frac{V}{P^2}$  болғанда:

$$\varepsilon_{\text{КАЛ}} = \lim_{p \rightarrow 0} P \cdot \frac{V}{P^2} \cdot \frac{1}{1+W(p)} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{V}{P} \cdot \frac{1}{1+W(p)}. \quad (3.7)$$

Бұл жағдайда қателіктің өсуі тоқтату үшін АБЖ-ң тұйықталмаған тізбегінің беріліс функциясы  $W(p)$  нөлдік полюске ие болуы қажет. Онда (3.7) теңдеу бойынша  $\varepsilon_{\text{КАЛ}} = V/K$  тең. Бұл мән жылдамдық қателігі деп аталады.

Мысалы: Жүйенің беріліс функциясы  $W(p) = \frac{K}{p(Tp+1)}$ .

Онда (3.7) теңдеуден төмендегі теңдікті аламыз:

$$\varepsilon_{\text{КАЛ}} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{V}{P^2} \cdot \frac{p(Tp+1)}{p(Tp+1)+K} = \frac{V}{K}.$$

Егер осы мысалда беруші әсер тұрақты болса, онда АБЖ-гі орнықты қателік нөлге тең болады:

$$\varepsilon_{КАЛ} = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{g_0}{P} \cdot \frac{p(Tp+1)}{p(Tp+1)+K} = 0.$$

Сонымен тұйықталмаған тізбектің  $W(p)$  беріліс функциясы нөлдік полюске ие болса, жүйеде статикалық қателік бола алмайды және жылдамдық қателігі тұрақты мәнде болады.

Мұндай жүйелер астатикалық жүйелер деп аталады. Тұйықталмаған тізбектің  $W(p)$  беріліс функциясында интегралдаушы буынның болуы қажет.

Тізбектей жалғанған жүйелер және бағдарламалық басқару жүйелері астатикалы тәрізді жобалануы керек. Реттелетін шаманың тұрақты мәнін бір қалыпта ұстап тұруға келтірілетін жүйелер статикалық қателікке ие болуы мүмкін.

Тізбекті жүйелерде интегралдаушы буын ретінде астатизмді құратын қозғалтқыш болып табылады.

Біліктің бұрылу бұрышы басқарушы сингалдың (кернеу) кірісінің интегралына пропорционалды болады.

(3.5) және (3.7) теңдеулерден байқағанымыздай, қателіктің шамасын азайту үшін жүйенің тұйықталмаған тізбегінің күшейту  $K$  коэффициенттерін ұлғайту керек.

АБЖ-ін астатизммен, екінші және одан жоғары ретті беруші әсермен және қарсы әсермен тұрғызуға болады. Онда:

$$\varepsilon_{уст} = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot F(p) \cdot \Phi_{эг}(p). \quad (3.8)$$

*Гармоникалық әсер кезіндегі дәлдік.* Бұл жағдайда орнықты қателік жоғарыда қарастырылған жиіліктік сипаттамамен анықталады.

Егер кіріс әсері қандайда бір заңдылықпен өзгереді десек:

$$g(t) = g_m \sin \omega_p t. \quad (3.9)$$

Орнықты режимде сызықталған жүйеде қателік гармоникалық заңдылық бойынша өзгереді:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m \sin(\omega_p t + \varphi). \quad (3.10)$$

АБЖ дәлдігі тұйықталған АБЖ-ң амплитуда жиілікті сипаттамасын анықтап, қателіктің амплитудасы бойынша анықтауға болады:

$$\varepsilon_m = \frac{g_m}{|1 + W(j\omega_p)|}. \quad (3.11)$$

Әдетте басқару жүйесін жобалағанда кіріс сигналдың  $g_m$  амплитудасын аз етіп,  $\varepsilon_m$  шамасын көп болатындай етіп жобалайды.  $\omega_p$  жұмыс істейтін жиілікте  $|1 + W(j\omega_p)| \gg 1$  шарт орындалуы қажет. Онда (3.11) өрнегін жуықтау түрімен алмастыруға болады:

$$\varepsilon_m = \frac{g_m}{|W(j\omega_p)|}. \quad (3.12)$$

Бұл формула орнықты режимде қателіктің амплитудасын есептеуге мүмкіндік береді, сонымен бірге орнықты режимде берілген дәлдікті қамтамасыз ететін АБЖ синтезін шешеді. Мысалы,  $\varepsilon_m$  қателіктің жеткілікті амплитудасы және  $g_m$  кіріс әсер берілген кезінде басқарушы әсер жиілігінде қалаулы ЛАЖС тұрғызу кезінде координаттарымен  $\omega_p$  бақылау нүктесі арқылы  $20 \lg |W(j\omega_p)| = 20 \lg \frac{g_m}{\varepsilon_m} [\text{Дб}]$  анықталады.

Басқару жүйесін сынау мен жобалау кезінде синусоидалы сигнал жиі қолданылады. Сонымен қатар жүйеге кіріс әсердің максималды үдеуі мен максималды жылдамдығы бойынша талаптар қойылған жағдайда да қолданылады. Онда эквивалентті синусоидалы сигналды анықтауға болады.

Егер  $g(t) = g_m \sin \omega_p t$  болса, онда жылдамдық және үдеу төмендегідей:

$$\dot{g}(t) = g_m \omega_p \cos \omega_p t, \quad \ddot{g}(t) = -g_m \omega_p^2 \sin \omega_p t.$$

$$\text{Сәйкесінше, } \dot{g}(t) = g_m \omega_p, \quad \ddot{g}(t) = g_m \omega_p^2.$$

Осыдан максималды жылдамдық пен үдеудің талаптарына сәйкес келетін синусоидалы беруші әсердің  $\omega_p$  жиілігін және  $g_m$  амплитудасын есептейміз:

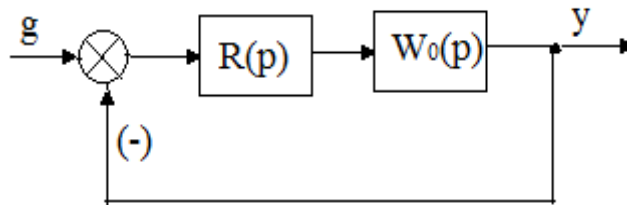
$$\omega_p = \frac{\ddot{g}_{\max}}{g_{\max}}; \quad \omega_m = \frac{\dot{g}_{\max}^2}{g_{\max}}.$$

Бұл мәндер басқару жүйесінің тұйықталмаған контурының қалаулы ЛАЖС тұрғызғанда қолданылады.

## 3.2 Жұмыстың орындалу тәртібі

3.2.1 3.1 суретте көрсетілген жүйенің сұлбасын берілген нұсқадағы мәндерді ескере отырып құру қажет. Астатизмді жүйені зерттеу кезінде  $R(p) = K$  деп аламыз, сыртқы беруші әсер ретінде  $g = A$ ,  $\dot{g} = vt$  (3.1 кестедегі

параметрлер) және  $g = \frac{at^2}{2}$  параметрлерін (3.2 кестедегі параметрлер) қолданады.



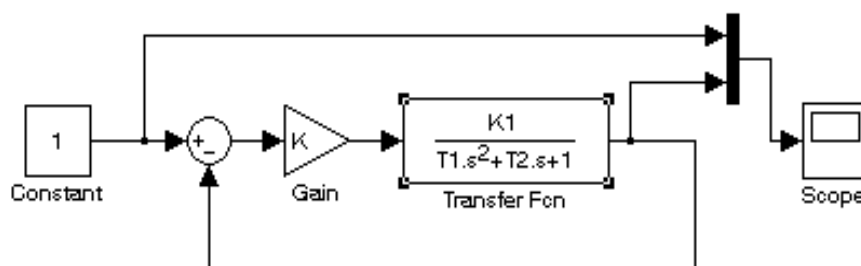
3.1 сурет – АБЖ-нің құрылымдық сұлбасы

мұндағы  $W_0(p) = \frac{K_1}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}$ ,  $R(p) = K$  параметрлер астатикалық жүйелерге қолданылады.

3.2.2 Тұрақты сигнал жүйеге берілгенде астатизммен жүйені зерттеуді орындау қажет. Ол үшін 3.2 -суретте көрсетілген моделдің сұлбасын MATLAB-Simulink пакеті көмегімен жиналады. Тұрақты сигналдың генераторы *Sources* кітапханасындағы *Constant* блогы, ал  $g = A$  параметрі тұрақты сигнал болып табылады.  $R(p) = K$  орнына *Math* кітапханасындағы *Gain* күшейткіш блогы

алынады.  $W_0(p) = \frac{K_1}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}$  - беріліс функциясы *Continuous*

кітапханасындағы *Transfer Fcn* блок көмегімен енгізіледі. Шығысында *Sinks* кітапханасындағы *Scope* осциллографы жалғанады. Бір мезгілде екі сигналды көруге және сигналдарды салыстыруға оның кірісіне бір мезгілде  $g = A$  (*Constant* генератор шығысындағы сигналды) және  $y(t)$  (жүйе шығысындағы сигналды) екі сигналды береміз. Оны *Signals & Systems* кітапханасындағы *Mux* (суреттегі төртбұрышты қара блогы) блогымен жүзеге сасырамыз.

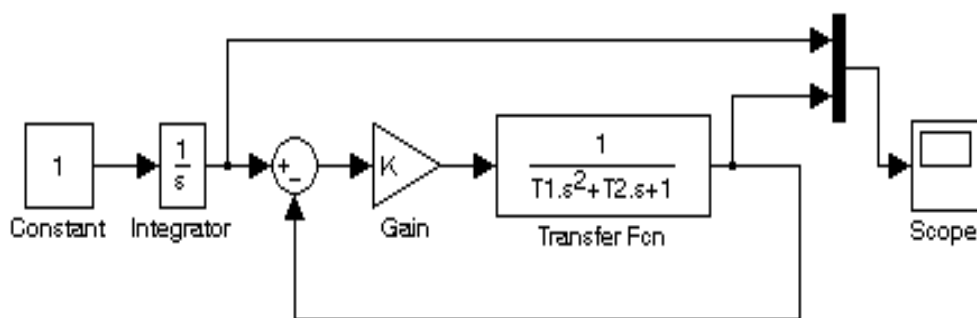


3.2 сурет – Кірісіне  $g = A$  сигналы берілген кездегі астатизмді жүйенің моделі

3.2.3 Жүйедегі беріліс коэффициенттерін  $K = 1, 5, 10$  өзгерте отырып, өтпелі процесті алып және әр бір  $K$  беріліс коэффициенттері үшін орнықтыланған қателіктің шекті мәнін анықтау.

3.2.4 3.3-сурет бойынша кірісіне сызықты өсетін сигналды  $g = v \cdot t$  бере отыра астатизмді жүйе үшін 3.2 тармақтағыдай сұлбаны жинау қажет. Кіріс

әсерді  $g = v \cdot t$  алу үшін тұрақты сигналдың генераторына тізбектей *Continuous* кітапханасындағы *Integrator* блогы жалғанады.

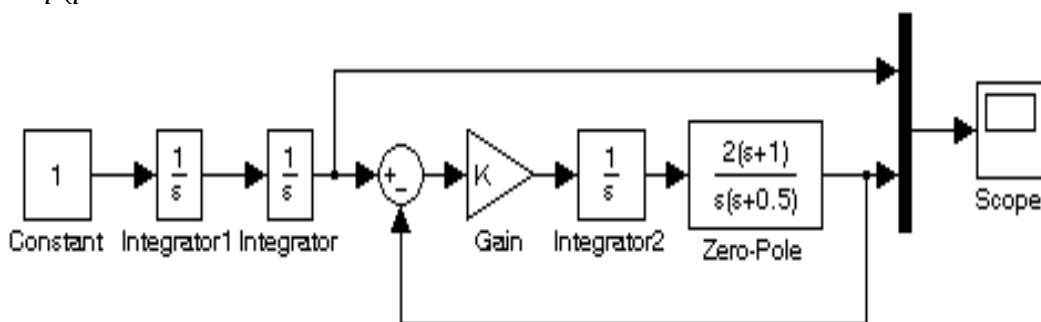


3.3 сурет -  $g = v \cdot t$  сигналын кіріске бергендегі астатизмді жүйенің моделі

3.2.5 Жүйедегі беріліс коэффициенттерін  $K = 1, 5, 10$  өзгерте отырып, өтпелі процесті алып және әрбір  $K$  беріліс коэффициенттері үшін орнықтыланған қателіктің шекті мәнін анықтау.

3.2.6 Бірінші ретті астатизмді жүйені зерттеу үшін  $R(p) = K/p$ , *Gain* күшейткішіне тізбектей *Continuous* кітапханасындағы *Integrator* блогы жалғанады. 3.4 суретте жүйе моделдің сұлбасы көрсетілген. Дәрежелі өсетін кіріс әсерді  $g = \frac{at}{2}$  алу үшін генератормен тізбектей берілетін сигналдардың бағытымен екі интеграторды жалғайды. Жұмысты орындауға қажетті нұсқаулықтарға сәйкес 3.2-кестеде беріліс функциясының параметрлері, ал әсер етуші сигналдардың параметрі 3.1 және 3.2 кестеде берілген.

3.4 суретте мысал ретінде сұлбада беріліс функциясы көрсетілген  $W_0(p) = \frac{2(p+1)}{p(p+0.5)}$ .



3.4 сурет -  $g = \frac{at^2}{2}$  сигналын кіріске берген кездегі астатизмді жүйелер үшін моделі

3.2.7 Алынған нәтижелер бойынша жүйенің дәлдік параметрлерінің әсеріне талдау жасау.



3.1 кесте – Астатизмді жүйенің параметрлерінің нұсқалары

Нұсқалар	K1	T1	T2	K	Кіріс әсерлері		
					$g=A$	$g=vt$	$g=at^2/2$
1	1	0	3	1, 5, 10	1	t	$0.2t^2$
2	1.5	0	2.5	1, 5, 10	4	2t	$0.25t^2$
3	1.5	0	0.5	1, 5, 10	2	t	$0.3t^2$
4	2	0	1	1, 5, 10	2	2t	$0.45t^2$
5	3	0	1	1, 5, 10	1	2t	$0.4t^2$
6	2.5	0.5	5	1, 5, 10	1	0.5t	$0.35t^2$
7	2.5	2.5	3	1, 5, 10	2	4t	$0.3t^2$
8	8	0.5	3	1, 5, 10	2	t	$0.2t^2$
9	5	0.1	2	1, 5, 10	1	2t	$0.2t^2$
10	3	1	2	1, 5, 10	1	t	$0.25t^2$
11	1.5	1	0.7	1, 5, 10	2	3t	$0.25t^2$
12	2	1	0.6	1, 5, 10	2	2t	$0.5t^2$
13	3	2	2	1, 5, 10	2	2t	$0.45t^2$
14	4	2	3	1, 5, 10	1	0.5t	$0.2t^2$
15	5	1	0.5	1, 5, 10	2	2t	$0.3t^2$

3.2 кесте – Астатикалық жүйелерді зерттеуге нұсқалар

Нұсқалар	$W0(p)$	$g=at^2/2$	Нұсқалар	$W0(p)$	$g=at^2/2$
1	$\frac{2}{3p+1}$	$0,2t^2$	8	$\frac{p+1}{2p^2+3p+1}$	$0,25t^2$
2	$\frac{3}{2,5p+1}$	$0,5t^2$	9	$\frac{p+2}{0,5p^2+2p+1}$	$0,2t^2$
3	$\frac{1,5}{0,5p}$	$0,2t^2$	10	$\frac{p+2}{0,5p^2+p+2}$	$0,5t^2$
4	$\frac{p+1,5}{p^2+2p+1}$	$0,4t^2$	11	$\frac{1,5p+8}{0,5p^2+2p+8}$	$0,3t^2$
5	$\frac{p+1}{p^2+p+2}$	$0,3t^2$	12	$\frac{p+1}{0,5p^2+p+1}$	$0,45t^2$
6	$\frac{p+5}{p^2+5p+6}$	$0,45t^2$	13	$\frac{p+1}{0,1p^2+0,7p+1}$	$0,4t^2$
7	$\frac{1,5p+8}{0,5p^2+2p+8}$	$0,25t^2$	14	$\frac{p+1,5}{p^2+2p+1}$	$0,5t^2$

### 3.3 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұрады:

- 1) Есеп берудің бірінші беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты және орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімнен қысқаша мазмұн.
- 4) Зерттелген жүйенің математикалық моделдері және өтпелі үрдістердің қисықтары.
- 5) Қорытынды.

### 3.3 Бақылау сұрақтары

3.4.1 Дәлдікті зерттеу үшін қандай типтік әсерлер беріледі?

3.4.2 Simulink пакетінің қандай блогымен жүйе моделінде астатизм ретін жоғарылатуға болады?

3.4.2 Автоматты басқару жүйесінің астатизм реті қалай анықталады?

3.4.3 Моделдеудің түрлері мен анықтамасы.

3.4.4 Математикалық моделдеудің қандай түрлері болады?

3.4.5 Кіріс және шығыс моделдерін құру реті қандай?

3.4.6 Құрылымдық сұлбаның анықтамасы.

3.4.7 Автоматты басқару жүйесінің анықтамасы.

3.4.8 Жүйенің қателігі мен орнықтылығына реттеудің әсері қандай?

## 4 Зертханалық жұмыс №4. Ажыратылған және тұйықталған жүйелердің орнықтылығын зерттеу

*Жұмыстың мақсаты:* әртүрлі құрылымнан тұратын автоматтық жүйелерінің орнықтылығын зерттеу және тұрақтылық қорларын бағалау.

### 4.1 Теориялық кіріспе

Жүйенің орнықтылығын бағалау оның реттелу қабілетін бағалау болып табылады, сондықтан реттелетін жүйені зерттеу орнықтылықты бағалаудан басталады.

*Жүйенің орнықтылығы* дегеніміз оның тепе-теңдік күйінен ауытқуына себеп болған әсерді алып тастағаннан кейін, бастапқы орнықтылық қалпына оралу қабілетін айтады. Сызықты жүйе келесі дифференциалдық теңдеу арқылы сипаттады:

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 u^{(m)}(t) \dots + b_m u(t), \quad (4.1)$$

бастапқы шартқа сәйкес:

$$y(t_0) = y_0(t), \dots, y^{(n-1)}(t_0) = y_0^{(n-1)}(t_0) = y_0^{n-1}(t).$$

$y(t)$  - бақыланатын шама;

$u(t)$  - бақылау шамасы;

$a_0, a_1, \dots, a_n; b_0, \dots, b_m$  - тұрақты коэффициенттер;

$n$  - жүйенің дифференциалдық теңдеуінің тәртібі  $m \leq n$ .

$$y(t) = y_{\text{еркін}}(t) + y_{\text{еріксіз}}(t). \quad (4.2)$$

$$y(t_0) = y_0(t), \dots, y^{(n-1)}(t_0) = y_0^{(n-1)}(t_0).$$

$Y_{\text{еркін}}(t)$  - еркін қозғалыс, нөлдік шартта бастапқы жағдайларға байланысты сыртқы әсердің болмауы кезінде пайда болады.

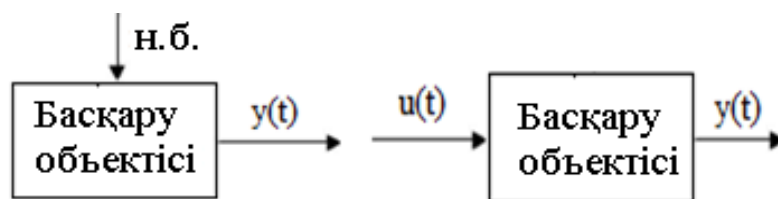
$Y_{\text{еріксіз}}(t)$  - еріксіз қозғалыс, сыртқы әсердің нөлдік бастапқы жағдайларының әсер етуі кезінде пайда болады.

Еркін қозғалыс нөлден тыс бастапқы жағдайлардың біртекті дифференциалдық теңдеуінің шешімі болып табылады:

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = 0. \quad (4.3)$$

Еріксіз қозғалыс нөлдік бастапқы шарттарда біртекті емес теңдеудің (4.1) шешімі болып табылады.

*Орнықтылық шарты.* Егер еркін қозғалыс нөлдік емес бастапқы шартта шектеулі болса:  $t \in [t_0, \infty)$  және  $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) \rightarrow 0$ , басқару жүйесі (4.1, а сурет) бастапқы шартқа қатысты орнықты сипатта болады. Егер кез келген шектеулі әрекет  $u(t)$  үшін жүйе әсері  $y_{\text{еріксіз}}(t)$  кез келген уақытта  $t \in [t_0, \infty)$  шектелген болса, басқару жүйесі (4.1, б сурет) кіріске қатысты тұрақты болады. Егер жүйе кірісте де, бастапқы шартта да орнықты болса және өшу процестерімен сипатталса, онда орнықты басқару жүйесі болады.



а) бастапқы шартқа сәйкес басқару объектісі;

б) нөлдік шартқа сәйкес басқарушы объект.

4.1 сурет - Басқару объектілерінің сұлбасы

Жүйе қозғалысының еркін құраушысы:

$$y_e(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{s_i t}, \quad (4.4)$$

мұндағы  $y_i(t)$  - (4.4) теңдеу шешімінің  $i$ -ші кезеңі;  
 $C_i$  - бастапқы шарттармен анықталған интегралдық тұрақтылар;  
 $s_i$  – көп мүше түбірлері.

$$a_0 s^{(n)}(t) + a_1 s^{n-1}(t) + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0. \quad (4.5)$$

Сипаттама теңдеудің нақты түбірі  $s_i = \alpha_i$  үшін (4.4) теңдеу  $y_i = C_i e^{\alpha_i t}$  өрнегі сәйкес келеді. Кемімелі экспоненттер  $\alpha_i < 0$  (4.2, а сурет) теріс түбірлерге сәйкес келеді, оң түбірлер  $\alpha_i > 0$  өспелі экспоненттер болып табылады (4.2 б, сурет), нөлдік түбірлер  $\alpha_i = 0$  үшін  $C_i$  түзу сызықтарын көрсетеді (4.2 в, сурет).

$$y_i(t) = C_i e^{(\alpha_i + j\beta_i)t} + C_{i+1} e^{(\alpha_i - j\beta_i)t} = A e^{\alpha_i t} \sin(\beta t + \psi). \quad (4.6)$$

$A$  және  $\psi$  - интегралдық тұрақтылар.

Өшпелі тербелістер  $\alpha_i < 0$  (4.3 а, сурет), шашырайтын тербелістер  $\alpha_i > 0$  (4.3 б, сурет), өшпейтін тербеліс  $\alpha_i = 0$  (4.2 в, сурет).

*Ляпунов теоремасы.* Жүйе орнықты болуы үшін барлық түбірлері теріс және нақты болғаны жеткілікті.

Егер сипаттамалық теңдеудің ең болмағанда бір түбірі нақты оң бөлік болса, онда жүйе тұрақсыз болады.

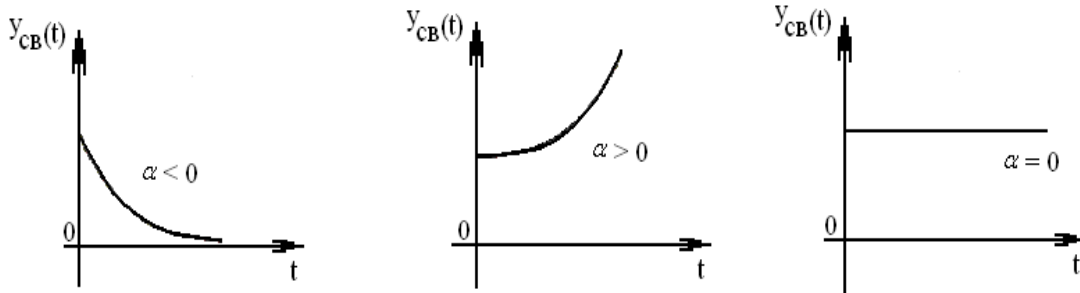
Жүйе тұрақтылық шекарасында сипаттамалық теңдеуге сәйкес үш жағдайда ғана болады:

- 1 жағдай – нөлдік түбір;
- 2 жағдай – таза жорамал түбірлер;
- 3 жағдай – шексіз түбір.

Нөлдік түбір жағдайында жүйені бейтарап тұрақты деп атайды, себебі (4.5) сипаттамалық теңдеуде бос мүше  $a_n = 0$  болмайды. Мұнда жүйенің тұрақтылығы реттелетін шаманың  $y(t)$  өзгеру жылдамдығына қатысты салыстырмалы түрде бағаланады.

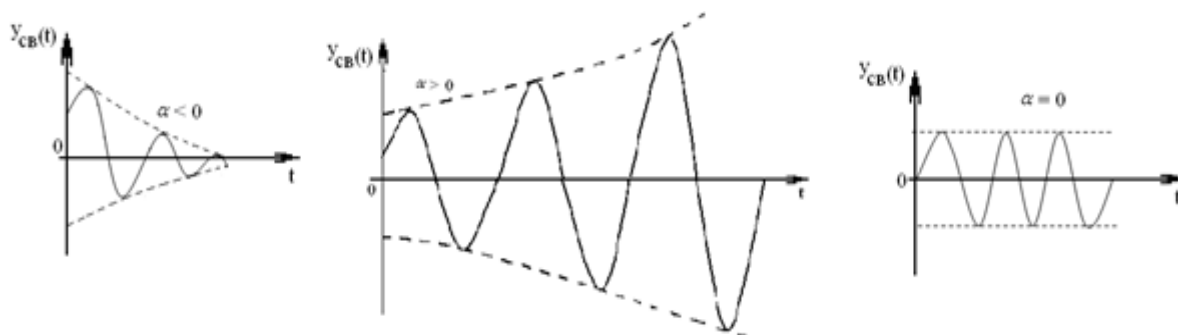
Таза жорамал түбірлер жағдайында орнықтылықтың аймағын тербелмелі тұрақты тербеліс аймағы деп атайды (4.3 в, сурет).

Шексіз түбір жағдайында нақты түбір сол жақ жартылай жазықтықтан минус шексіздікпен оң жаққа дейін өтеді.  $C_k e^{\alpha_k t}$  өрнегі (4.4) теңдеудегі  $a_k$  сәйкес келеді, сондықтан (4.3) дифференциалдық теңдеудің ретін төмендетуге әкеледі.



а) жүйе тұрақты;                      б) жүйе тұрақсыз;                      в) бейтарап жүйе.

4.2 сурет - Нақты түбірлері бар жүйе түрлері

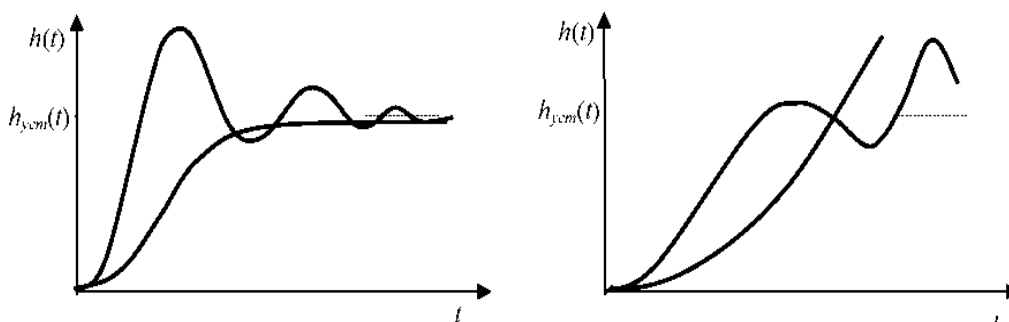


а) жүйе тұрақты;                      б) жүйе тұрақсыз;                      в) бейтарап жүйе.

4.3 сурет – Комплексті түбірлері бар жүйе түрлері

Егер жүйенің күйі өтпелі процестің түрі бойынша анықталса, онда орнықтылық жағдайы орнатылған мәнге қатысты қателігі бар процестер орын алады (4.3, а сурет):

$$h_{ycm}(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \frac{b_m}{a_n}.$$



а) тұрақты жүйе;                      б) тұрақсыз жүйе.

4.4 сурет – Тербеліс және тұрақты өтпелі процестер

## 4.1 Жұмыстың орындалу реті

1. Жүйенің ажыратылған тізбектерін 4.1-кестеде келтірілген нұсқаулықтарға сәйкес құрастырады. Ажыратылған жүйенің орнықтылығын бағалау реті:

- өтпелі функцияның полюстерін анықтау;
- кез келген бастапқы жағдайда сыртқы әсерлерсіз уақытша сипаттамаларын алу.

2. Жүйені теріс кері байланыспен тұйықтап, өтпелі сипаттаманы алу. Тұйық жүйенің орнықтылығын бағалап, оны бірінші тармақтағы алынған нәтижелермен салыстыру қажет.

Ажыратылған және тұйық жүйелердің орнықтылығын  $k$  коэффициентіне және  $T$  тұрақты уақытқа әсерін зерттеу.

4.1 кесте – Берілген деректер

Нұсқаулар	Беріліс функциялары	Параметрлер	Орындайтын тармақтары		
			1	2	3
0	$W(s) = \frac{K}{Ts+1}$	k	0.5	1	10
1	$W(s) = \frac{K}{Ts-1}$				
2	$W(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$				
3	$W(s) = \frac{K}{T^2s^2+1}$				
4	$W(p) = \frac{K}{T^2s^2+2Ts+1}, \xi = 0.5$				
5	$W(p) = \frac{K}{T^2s^2+2Ts-1}, \xi = 0.5$				
6	$W(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$	T	0.5	0.01	0.01
7	$W(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$				
8	$W(s) = \frac{s+k}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$				
9	$W(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$				
		k	1	1	100
		T <sub>1</sub>	0.5	0.1	0.1
		T <sub>2</sub>	0.07	0.02	0.02
		T <sub>3</sub>	0.003	0.001	0.002

## Әдістемелік мысал

CST MATLAB бағдарлама командасы арқылы ажыратылған жүйенің орнықтылығын зерттеу. Берілген беріліс функциясының теңдеуі:

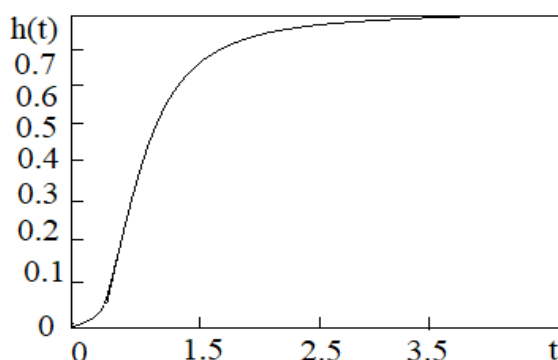
$$W(s) = \frac{20}{0.00025s^3 + 0.0286s^2 + 0.36s + 1}. \quad (4.12)$$

Шығыстың беріліс функциясы LTI-model ретінде анықталады, оны w әріпімен белгілейді, pole(w) беріліс функциясының полюстерін тауып, өтпелі step(w) сипаттамасын алу қажет.

```
>> = tf([20],[0.00025 0.0286 0.36 1])
>> pole(w)
ans =
-100.4626
-9.9262
-4.0112
```

Қорытынды: сипаттамалық түбірлер полиномы немесе беріліс функциясының полюстері теріс мәнге ие болғандықтан Ляпунов теоремасына сәйкес жүйе тұрақты.

```
>> step(w)
```



4.4 сурет - step(w) командасын қолдану нәтижесінде алынған өтпелі процесс

Шешім: өтпелі процесс  $h_{қал.}(t) = 20$ , демек жүйе тұрақты.

### 4.4 Бақылау сұрақтары

- 4.4.1 Жүйе орнықтылығының қасиеттері.
- 4.4.2 Бастапқы деректер мен кіріс әсері бойынша орнықтылық шарттары.
- 4.4.3 Ляпунов теоремасы бойынша орнықтылық шарттары.
- 4.4.4 Беріліс функциясы.
- 4.6.5 Сипаттамалық теңдеудің түрі.

4.6.6 Беріліс функцияның нолі мен полюсі деген не?

4.6.7 АБЖ математикалық моделі.

4.6.8 Басқару жүйелерінің математикалық өрнегі.

#### **Әдебиеттер тізімі**

1 Малафеев С.И. Основы автоматики и системы автоматического управления. - М.: «Академия», 2010.

2 Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. - СПб.: «Лань», 2010.

3 Яковлева В.Б. Теория автоматического управления. - М.: «Академия», 2009.

4 Советов Б.Я. Теоретические основы автоматизированного управления. - М.: «Академия», 2006.

5 Цыба Ю.А., Тойгожинова Ж.Ж., Чныбаева Д.М. Автоматты басқару теориясы. Дәрістер жинағы. - Алматы: АЭЖБУ, 2019, 75 с.

6 Сагитов П.И., Цыба Ю.А. Элементы теории автоматического управления. Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2006.



Тойгожинова Жанар Жумакановна  
Оржанова Жанар Керимбекована

**АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ**

6B08501 - Электр энергетикасы мамандығының студенттеріне  
зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Редактор: Изтелеуова Ж.Н.

Стандартизация бойынша маман: Данько Е.Т.

Басуға 19.07.2021 қол қойылды  
Таралымы 40 дана  
Көлемі 1,6 есептік-баспа табак

Пішімі 60x84 1/16  
Баспаханалық қағаз №1  
Тапсырыс Бағасы 780 теңге

«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс  
университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамының  
көшірмелі – көбейткіш бюросы  
050013, Алматы, А. Байтұрсынұлы көшесі, 126