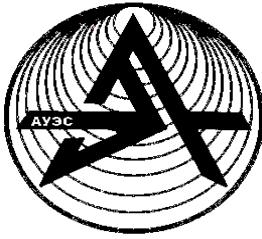


**Коммерциялық емес  
акционерлік қоғам**



**АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА  
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС  
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электр машиналары және  
электр жетегі кафедрасы

## **АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ТЕОРИЯСЫ**

5B071800 - Электр энергетикасы мамандығының студенттеріне  
зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2018

ҚҰРАСТЫРҒАНДАР: Ю.А. Цыба, Ж.Ж. Тойгожинова, Чныбаева Д.М. Автоматты басқару теориясы. 5B071800 - Электр энергетикасы мамандығының студенттеріне зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар. - Алматы: АЭЖБУ, 2018. – 45б.

Әдістемелік нұсқау MATLAB Simulink бағдарламасында жұмыстарды орындаудан, жұмысты жүргізу және дайындау әдістерінен алынған нәтижелерді талдаудан тұрады.

Әдістемелік нұсқау 5B071800 – Электр энергетикасы мамандығының студенттеріне зертханалық жұмыстарды орындауға арналған.

Суреттер 27, кесте 10, әдеб. – 6 атау.

Пікір беруші: ЭСТжЖ кафедрасының доценті Курпенев Б. К.

«Алматы энергетика және байланыс университетінің» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2018 ж. баспа жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2018 ж.

## Мазмұны

Кіріспе.....	4
1 Зертханалық жұмыс №1. MATLAB Simulink бағдарлама жүйсінде жұмыс жасауды игеру .....	4
2 Зертханалық жұмыс №2. Типтік динамикалық буындар және олардың сипаттамаларын MATLAB Simulink бағдарламасында зерттеу.....	8
3 Зертханалық жұмыс №3. Құрылымдық сұлбалардың баламалы өзгерістерін зерттеу.....	12
4 Зертханалық жұмыс №4. Басқару жүйесіндегі өтпелі процестердің сапасын зерттеу .....	17
5 Зертханалық жұмыс №5. Автоматты басқарудың дәлдігін зерттеу .....	21
6 Зертханалық жұмыс №6. Ажыратылған және тұйықталған жүйелердің орнықтылығын зерттеу.....	28
7 Зертханалық жұмыс №7. Синтез және тізбектей коррекциялаумен басқару жүйесін зерттеу.....	34
8 Зертханалық жұмыс №8. Басқару жүйесінің қарапайым сызықты емес сипаттамаларын зерттеу.....	36
А қосымшасы.....	43
Әдебиеттер тізімі.....	45

## **Кіріспе**

Бұл әдістемелік нұсқау «Автоматты басқару теориясы» (АБТ) курсы бойынша зертханалық жұмыстарды орындауға арналған.

Жұмыстың мақсаты: студенттерді басқару жүйесін жобалауға және тәжірибе жүзінде жасап талдауға үйрету.

Зертханалық жұмыстарды орындау барысында студенттер келесі сұрақтарды қарастырады:

- уақыттық және жиіліктік аймақтар бойынша автоматты жүйелерде әртүрлі буындардың динамикалық қасиеттерін білу және сипаттамаларын тұрғызу;

- автоматты басқару жүйелерінің дәлдігін зерттеу;

- динамикалық қасиеттерін жақсарту және сапа көрсеткіштерін жоғарылату мақсатында коррекциялаушы құрылғылардың жиіліктік, түбірлі және басқа да синтездеу әдістерін үйрену;

- автоматты басқарудың сызықты емес жүйелерінде автотербелісті зерттеу.

Зертханалық жұмыстарды орындауда кең тараған MATLAB моделдеу пакетін Control System Toolbox и Simulink қосымшасымен пайдаланамыз. Әр жұмыс тапсырмаларын орындау кезінде қолданылатын MATLAB командаларының түсініктемесінен тұрады.

### **1 Зертханалық жұмыс №1. MATLAB Simulink бағдарлама жүйесінде жұмыс жасауды игеру**

**Жұмыстың мақсаты:** моделдейтін MATLAB бағдарламалық пакетпен жұмыс жасауды толық игеру.

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

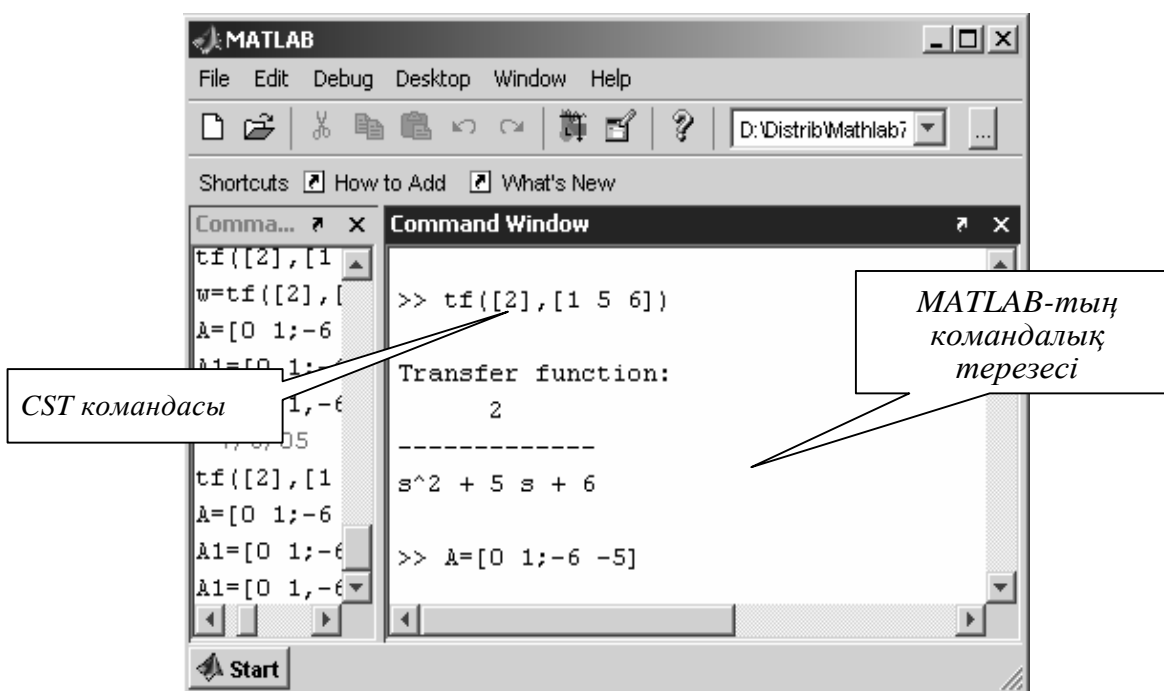
MATLAB – әртүрлі есептеулерді орындау үшін кең көлемді командалар жиынтығынан тұратын, деректердің құрылымын беруге және ақпаратты графикалық бейнелеуге арналған жоғарғы деңгейдегі бағдарламалау жүйесі. Атап айтқанда, басқару жүйесінің LTI-моделімен (Linear Time Invariant Models) жұмыс жасауға арналған Control System Toolbox қолданбалы бағдарламалар пакетінің командалары пайдаланылады.

MATLAB Simulink - кітапхана блоктарымен динамикалық жүйелерді модельдеу, талдау және синтездеу үшін интерактивті құрал. Simulink MATLAB-тың дербес жеткілікті құралы, бірақ MATLAB функцияларына және оның басқа да құралдарына қатынау ашық болып қалады. Сонымен қатар әртүрлі аймақта қолданылатын қосымша кітапхана блоктарынан (электр техникалық құрылғыларды моделдеу, сандық құрылғыларды және т.б. өңдеу үшін блоктардың жиынтығынан) тұрады.

## 1.2 Жұмысты жасаудың негізгі принциптері және моделдеу

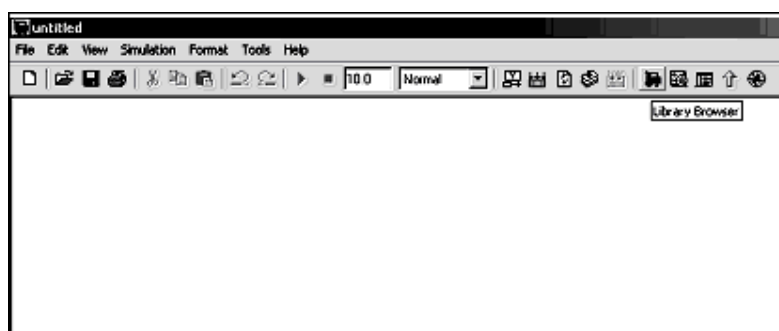
Берілген нұсқаулықтағы зертханалық жұмыстар CST командасы немесе MATLAB Simulink операциялық блоктарымен орындалады.

CST командасымен жұмыс жасау үшін алдымен MATLAB бағдарламасын қосу қажет, одан кейін зертханалық жұмыстарда көретілген MATLAB бағдарламасындағы командалық терезедегі (1.1 сурет) командаларды теруді қолданып жұмыс жасалынады.



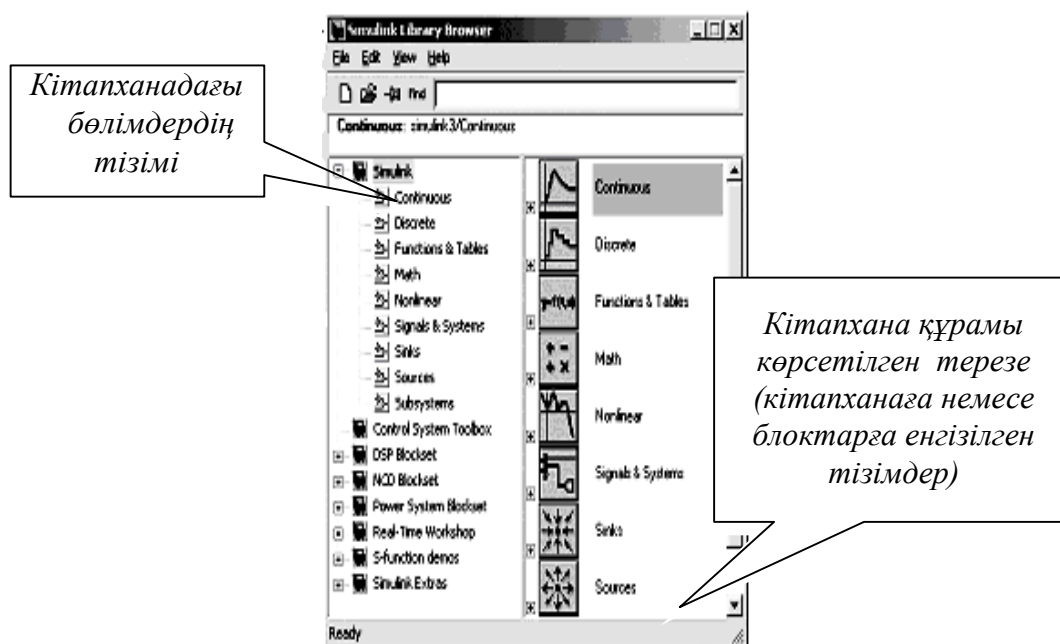
1.1 сурет – MATLAB-тың команда терезесі

MATLAB бағдарламасын қосқаннан кейін MATLAB Simulink-пен 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 терезесі

Кітапханадағы блоктардың терезесі Simulink мәзіріндегі Library Browser батырмасын басқаннан кейін іске қосылады. Ол әртүрлі қолданбалы бөлімдерден тұрады (1.3 сурет).



1.3 сурет – MATLAB Simulink кітапханасы

### 1.3 Әдістемелік мысал

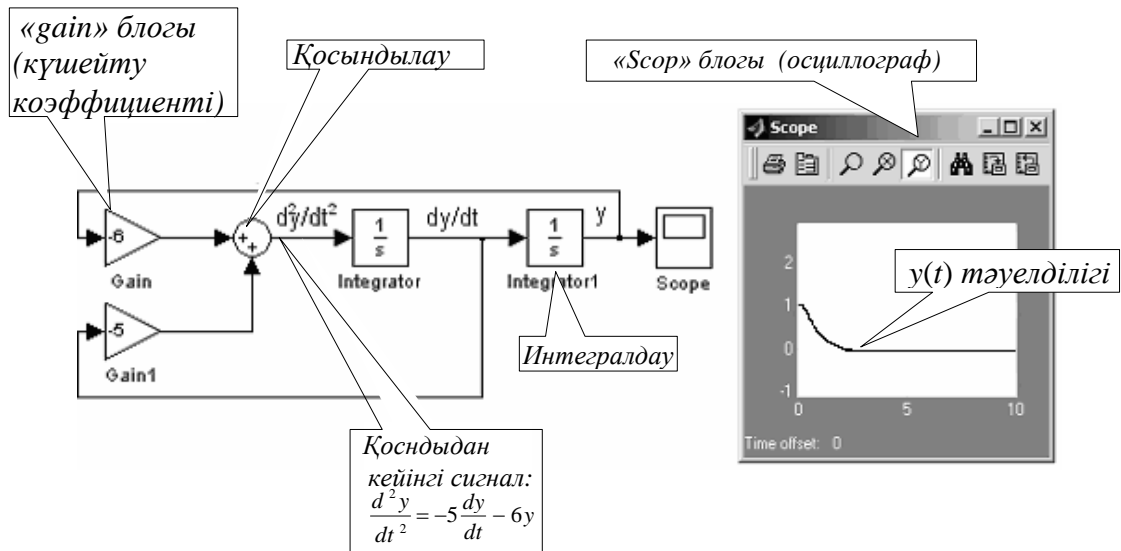
MATLAB құралдарын қолданып бастапқы шартпен  $n$  ретті теңдеулерді моделдеу.

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

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

MATLAB Simulink бағдарламасымен (1.1) теңдеуін моделдеу 1.4 суретте көрсетілген. Сұлбаны құру үшін (1.1) теңдеуін жоғарғы туындыға қатысты шешу қажет және MATLAB Simulink бағдарламасындағы стандартты блоктар қолданылады: қосындылау (*Sum*), интегратор (*Integrator*), күшейту коэффициенті (*gain*), сипаттаманы шығару блогы - осциллограф (*Scope*). Осыған сәйкес теңдеу түрі төмендегідей жазылады:

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



1.4 сурет – MATLAB Simulink бағдарламасында (1.2) теңдеуін моделдеу сұлбасы

## 1.4 № 1 зертханалық жұмысты орындау тәртібі

1.4.1 MATLAB бағдарламасын қосып, мәзірдің құрамына кіретін мәліметтермен танысу.

1.4.2 Бастапқы шарттардың және моделденетін элементтердің параметрлерін өзгерте отырып, 1.4 суреттегі сұлбаны жинап және моделдің теңдеуін жазу қажет.

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

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

Бастапқы шарт  $y(t_0) = \lambda, \dot{y}(t_0) = \mu, \ddot{y}(t_0) = \nu$  болғанда

$$\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_2 \frac{dy(t)}{dt} + a_3 y(t) = 0.$$

Бастапқы шартын және параметрлерін оқушы өзі немесе оқытушының таңдауымен орындалады.

1.4.4 Командалық тереземен танысу.

## 1.5 Бақылау сұрақтары

1.5.1 MATLAB бағдарламасының тағайындалуы.

1.5.2 MATLAB бағдарламасындағы пакеттердің құрылу принципі.

1.5.3 Control System Toolbox (CST) және MATLAB Simulink қолданбалы бағдарламалардағы пакеттердің моделдеу мүмкіншіліктері.

1.5.4 Бағдарламамен жұмыс жасаудың негізгі кезеңдері.

1.5.5 АБЖ, басқарылатын құрылғы, басқарылатын объект дегеніміз не?

1.5.6 Басқарылатын объектінің математикалық моделі қандай?

1.5.7 Динамикалық және статикалық теңдеулерін жазып көрсетіңіз?

1.5.8 Басқарылатын объектінің шығыс координаты мен кірісінің әсер етуі.

## 2 Зертханалық жұмыс №2. Типтік динамикалық буындар және олардың сипаттамаларын MATLAB Simulink бағдарламасында зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** автоматты реттеу жүйесінің (АРЖ) элементтеріне моделдеу әдісін қолдана отыра MATLAB Simulink бағдарламасы арқылы АРЖ типтік динамикалық буындардың жұмысын оқып білу.

### 2.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Автоматты реттеу жүйесі (АРЖ) физикалық табиғатына (электрлік, жылулық, гидравликалық және т.б.), құрастыру түріне және қозғалыс принципі бойынша ажырататын, белгілі бір функцияларды (өлшейтін, күшейтетін, орындайтын және т.б.) орындайтын элементтер жиынтығы. Бұл элементтер бірдей математикалық сипатқа ие болуы мүмкін.

Жалпы жағдайда, динамика теңдеуі сызықты емес болып табылады. Алайда, АРЖ элементтерінің көп бөлігінің динамикалық қасиеттері жеткілікті түрдегі жуықтаумен сызықты (не сызықталған) дифференциалды теңдеумен жазылады. Бірдей математикалық сипаттамаға ие болатын (беріліс функциялары) элементтер белгілі бір типтегі динамикалық буын ретінде қарастырылады.

Типтік динамикалық буындар төмендегідей бөлінеді:

1) Тербелмелі буын. Оның беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{K}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_2 \cdot p + 1} = \frac{K}{T \cdot p^2 + 2 \cdot \zeta \cdot T \cdot p + 1}, \quad (2.1)$$

мұндағы

$$T = \sqrt{T_1 \cdot T_2}, \quad \zeta = \frac{T_2}{2 \cdot \sqrt{T_1 \cdot T_2}}.$$

2) Бірінші ретті апериодты буын (инерциялық буын). Оның беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{U_{\text{ШЫ}}(p)}{U_{\text{КІР}}(p)} = \frac{K}{T \cdot p + 1}. \quad (2.2)$$



3) Пропорционалды буын (күшейткіш немесе инерциясыз буын). Оның беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{U_{шы}(p)}{U_{кп}(p)} = K. \quad (2.3)$$

4) Интегралдайтын буын (астатикалық):

$$W(p) = \frac{U_{шы}(p)}{U_{кп}(p)} = \frac{K}{T \cdot p}. \quad (2.4)$$

5) Дифференциалдайтын буын:

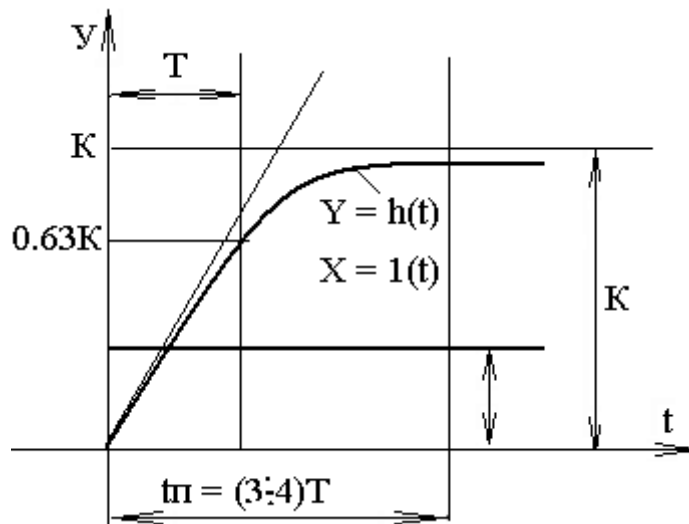
а) идеалды -  $W(p) = \frac{U_{шы}(p)}{U_{кп}(p)} = T \cdot p = K \cdot p; \quad (2.5)$

б) нақты -  $W(p) = \frac{U_{шы}(p)}{U_{кп}(p)} = \frac{K \cdot p}{T \cdot p + 1}. \quad (2.6)$

Буынның өтпелі сипаттамасы  $h(t)$  буынның кірісіне бірлік сатылы әсер ету  $I(t)$  берілген кездегі шығысының реакциясын көрсетеді.

$h(t)$  сипаттамасы тәжірибеде буынның моделінде нақты орнату немесе Лапласстың кері түрлендіру көмегімен анықталуы мүмкін.

2.1 суретте инерциялы буынның өтпелі  $h(t)$  сипаттамасы және оның негізгі параметрлері көрсетілген.



2.1 сурет – Өтпелі сипаттамалар

## 2.2 Жұмыстың бағдарламасы

2.2.1 2.1 - кестеде берілген АРЖ-нің әр типтік буындары үшін Matlab Simulink бағдарламасының элементтерімен моделді жинаймыз. Буының моделінің шығысына виртуалды осциллограмманы қосамыз, ал кірісіне бірлік сигналды  $1(t)$  береміз. Моделге қажетті коэффициенттерді 2.2 - кестеден аламыз. Моделді басу арқылы осциллографтан шыққан нәтижені сақтаймыз. *Жұмыстың нұсқасын оқытушы көрсетеді.*

2.2.2 2.2 кесте бойынша  $K$ ,  $T$ ,  $\xi$  берілген параметрлер арқылы тербелмелі буынды зерттеу. Өтпелі сипаттаманы алу.  $K$  және  $\xi$  әсер етуін өтпелі процесс көрсеткішінде (қайта реттеу, тербелмелілік саны және уақыт) бағалау.

2.2.3  $K$  және  $T$  берілген мәндерінде апериодикалық буынның өтпелі сипаттамасын анықтау.  $K$  және  $T$  мәндерінен алынған өтпелі процесс бойынша бағалау.

2.2.4 Сол сияқты 3, 4, 5а, 5б буындарды қарастырамыз. Нәтижелерін сақтаймыз.

2.2.5 Нәтижелер бойынша қорытынды жасау.

## 2.3 Жұмыстың орындалу тәртібі

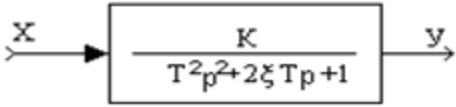
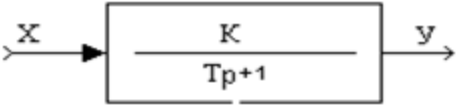

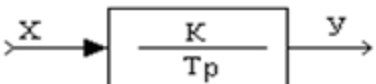
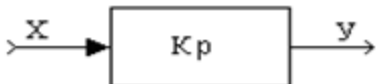
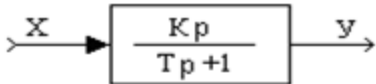
Matlab бағдарламасында жұмыс жасау үшін MATLAB бағдарламасын ашамыз және пайда болған терезеден «Simulink» панелін басу керек. АБЖ моделін іске асыруға керекті «Simulink» элементтер кітапханасы ашылады. Жаңа модел құрамыз және элементтерді сол жерге жинаймыз. Құрылымдық сұлба бойынша элементтерді бір-бірімен қосамыз. Бұл буындарға коэффициенттерді және уақыт тұрақтысын тінтуірдің сол жағын екі рет басу арқылы енгіземіз.

Өтпелі процестің қисығын алу үшін «старт» (▶) түймесін басу керек. Осциллограммада алынған нәтижені сақтаймыз.

Осы буындардың кірісіне бірлік кіріс сигнал  $1(t)$  және шығысына аспапты орнатамыз. Сипаттаманы алу үшін «старт» (▶) түймесін басу керек, аспапты ашу керек және сызбаны түсіреміз.

Буынның параметрлерін өзгерту үшін блокка екі рет тінтуірдің сол жағын басу керек, осы блоктың өзгертуге болатын параметрлерінің терезесі пайда болады. Берілген сандарды енгізген соң «Apply» басу керек, содан соң «Close» панеліндегі жабу белгісін басамыз. Ескерте кететін жайт, блокка жаңа мәндерді енгізген соң «Apply» баспай жаба салса, онда блоктың жаңа параметрлерін сақтай алмайсыз.

2.1 кесте - АБЖ типтік буындарын зерттеу түрлері

	Буынның аты және теңдеуі	ЭЕМ-да жинайтын блок сұлбасы
№	1	2
1	Тербелмелі $y = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \cdot x$	
2	Апериодты $y = \frac{K}{T p + 1} \cdot x$	
3	Күшейту $y = K \cdot x$	
4	Интегралдаушы $y = \frac{K}{T p} \cdot x$	
5 а)	Идеалды дифференциалдаушы $y = K p \cdot x$	
5 б)	Нақты дифференциалдаушы $y = \frac{K p}{T p + 1} \cdot x$	

2.2 кесте – АБЖ буындары параметрлерінің нұсқалары

№	Пара-метрлер	Нұсқалар								
		I			II			III		
		а	б	в	а	б	в	а	б	в
1	K	1	1	2	2	2	1	1.5	1.5	3
	T	2	2	2	4	4	4	3	3	3
	ξ	0.25	0.5	1	0.4	0.8	1	0.2	0.3	0.75
2	K	1	1	2	1	2	2	0.5	0.5	1
	T	4	2	2	3	3	2	2	1	1
3	K	1	2	3	3	2	1	1	3	2
4	K T=1	0.25	0.5	1	0.5	0.7	1	0.3	0.8	1.5

## 2.2 кестенің соңы

5а	К	1	1	2	2	2	1	1	2	1
5б	К	1	1	2	2	2	1	1	2	1
	Т	2	4	4	2	4	4	3	3	1

## 2.4 Есеп беруге арналған талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұруы керек:

- 1) Сыртқы (титульный) беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты және орындалу тәртібі.
- 3) Типтік буындардың сұлбалары және олардың моделдері.
- 4) Тәжірибе нәтижелері.
- 5) Қорытынды.

## 2.5 Бақылау сұрақтары

2.5.1 АРЖ жұмыс істеу принципі.

2.5.2 Құрылымдық сұлба дегеніміз не?

2.5.3 Типтік динамикалық буын деген не?

2.5.4 Жиіліктік сипаттама деген не?

2.5.5 Өптелі сипаттама деген не?

2.5.6 Буынның АФС көрсетіңіз және өрнегін жазыңыз.

2.5.7 Буынның АЖС және ФЖС сызбаны көрсетіңіз және өрнегін жазыңыз.

2.5.8 Типтік буындардың түрлерін көрсетіңіз.

## 3 Зертханалық жұмыс №3. Құрылымдық сұлбалардың баламалы өзгерістерін зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** автоматты басқару жүйесінің түрлендіргіштік құрылымдық сұлбасын меңгеру.

### 3.1 Құрылымдық сұлбаның негізгі жалғануы

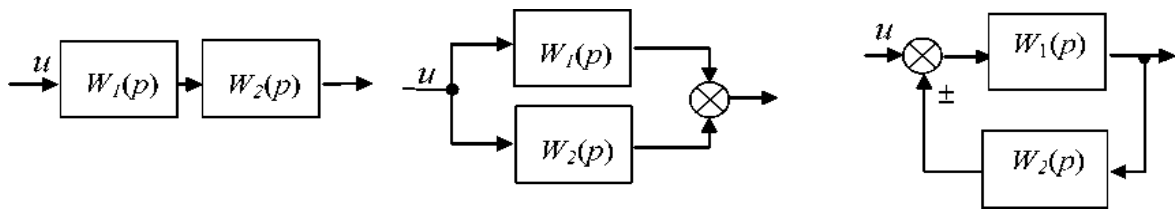
Құрылымдық сұлбаның негізгі жалғануына жататындар:

1) Тізбектей жалғау - бір буынның шығыс шамасы екінші буынның кіріс шамасы болып табылады. 3.1, а сурет - Буындардың жалғануы.

2) Параллель жалғау – егер кірісінде барлық буындардың бір ғана шамасы берілсе, онда шығысындағы шамалар қосылады. 3.1, б сурет - Буындардың жалғануы.

3) Параллель- қарсы жалғау – Сумматор кері байланыспен контурды не түйінді тұйықтайды және де егер сигнал сумматорға кері таңбамен берілсе,

онда теріс КБ, не оң КБ-ға ие болады. Яғни бұл жүйені енді тұйық жүйе деп атаймыз. 3.1, б сурет - Буындардың жалғануы.



а) тізбектей;                      б) параллельді;                      в) кері байланыс.

3.1 сурет - Құрылымдық сұлбаның негізгі жалғануы

### 3.2 Құрылымдық сұлбаның негізгі түрленуі

Басқару жүйесінің құрылымдық сұлбасы бірнеше буындарды қамтуы мүмкін және олардың жалғануы өз бетінше болуы да мүмкін. Буындарды күрделі жалғау үшін жүйенің динамикалық сипаттамаларының аса қарапайым негізгі суперпозиция принципі бойынша түрлендіруге болады.

Жүйенің динамикалық сипаттамаларын сақтаумен қатар, буындардың күрделі қосылысы суперпозиция принципі негізінде оңай қосылысқа түрлене алады: жеке әсерлерге бағытталған буын реакцияларының қосындысы сол әсерлердің буын реакциясының қосындысына тең. Бұл эквивалентті беріліс функциясы үшін математикалық өрнекті негіздейді.

$$W_{эқв}(p) = W_1(p) * W_2(p) \quad \text{- 3.1 а, сурет,} \quad (3.1)$$

$$W_{эқв}(p) = W_1(p) + W_2(p) \quad \text{- 3.1 б, сурет,} \quad (3.2)$$

$$W_{эқв}(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p) * W_2(p)} \quad \text{- 3.1 в. сурет,} \quad (3.3)$$

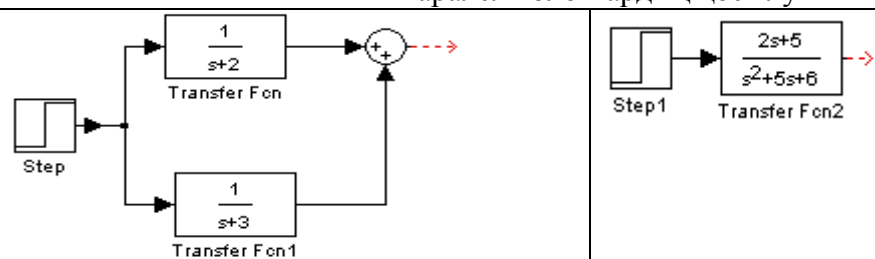
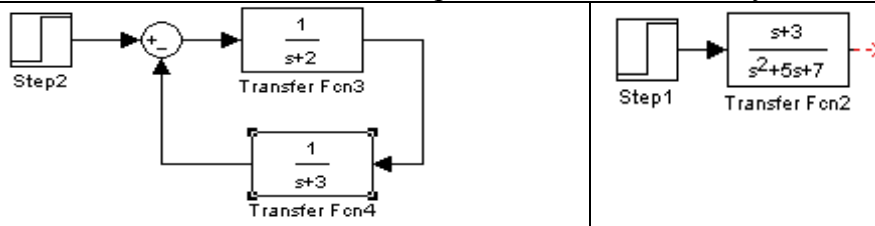
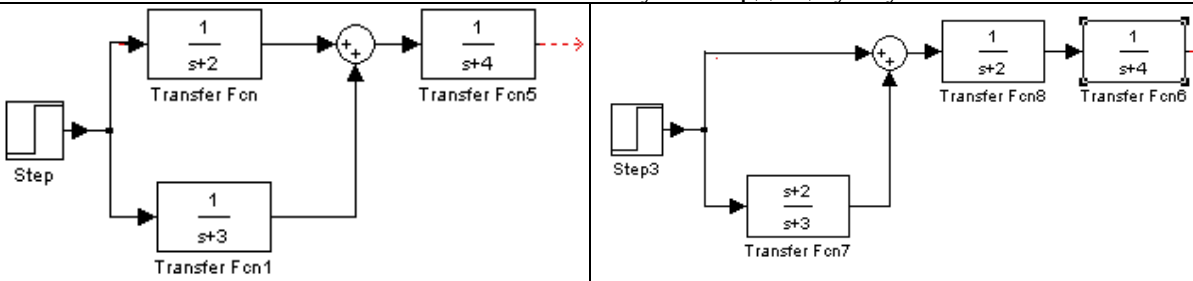
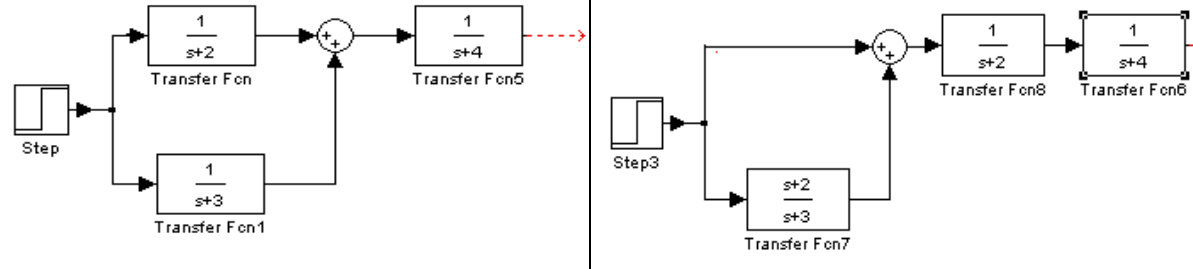
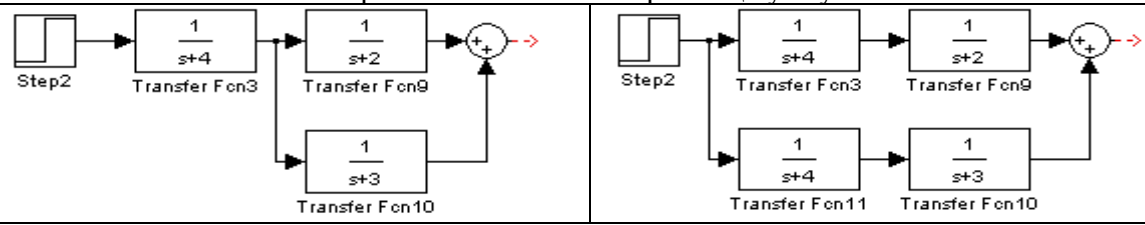
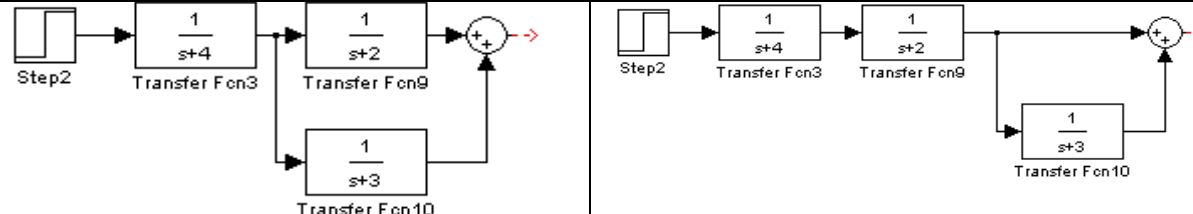
Егер жүйедегі кері байланыс кері болса, онда бөліміндегі таңба оң болады немесе теріс болады.

(3.1-3.3) өрнектеріміз құрылымдық сұлбаның түрленуінің негізгі ережесіне жатады (3.1 кесте).

3.1 кесте - Құрылымдық сұлбаның түрленуінің ережелері

№	Берілген сұлба	Эквивалентті сұлба
Екі тізбектей блогтардың қосылуы		
1		

3.1 кестенің соңы

Екі паралель блогтардың қосылуы	
2	
Кері байланыспен жалғану	
3	
Бағыттас сигнал бойынша сумматордың ауысуы	
4	
Кері сигнал бойынша сумматордың ауысуы	
5	
Кері сигнал бойынша түйіннің ауысуы	
6	
Бағыттас сигнал бойынша түйіннің ауысуы	
7	

### 3.3 №3 зертханалық жұмыстың орындалуы

3.2 және 3.3 кестеде берілген жүйенің сұлбасы келтірілген. MATLAB Simulink және CST пакет командасын пайдалана отырып, өтпелі сипаттамаларын алу керек.

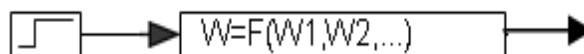
3.2 кесте – Берілген жүйенің құрылымдық сұлбасы

Нұсқа	Құрылымдық сұлба	Нұсқа	Құрылымдық сұлба
0		5	
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	

3.3 кесте – Берілген мәндер

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
$\frac{4}{s+2}$	$\frac{6}{(s+2)(s+3)}$	$\frac{6}{s+3}$	$\frac{4}{s+2}$	$\frac{2}{(s+1)(s+2)}$	$\frac{16}{(s+2)(s+4)}$	$\frac{(s+6)}{(s+2)(s+3)}$

3.2 суреттегі сұлбаны салып және эквивалентті беріліс функциясы бойынша өрнекті есептеу керек.

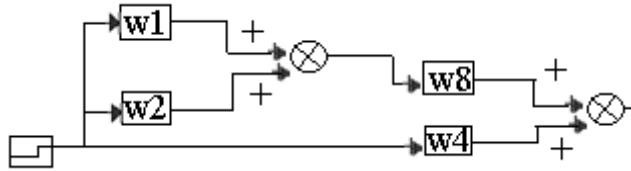


3.2 сурет - Эквивалентті сұлба

Эквивалентті сұлбалардың өтпелі сипаттамаларын түсіру керек, олар 1 пунктте алынған өтпелі процестермен сәйкес болу керек.

### 3.4 Методикалық мысал

3.2 кестеден өткізгіш функцияларымен алынған құрылымдық сұлба берілсін делік (3.3 сурет).

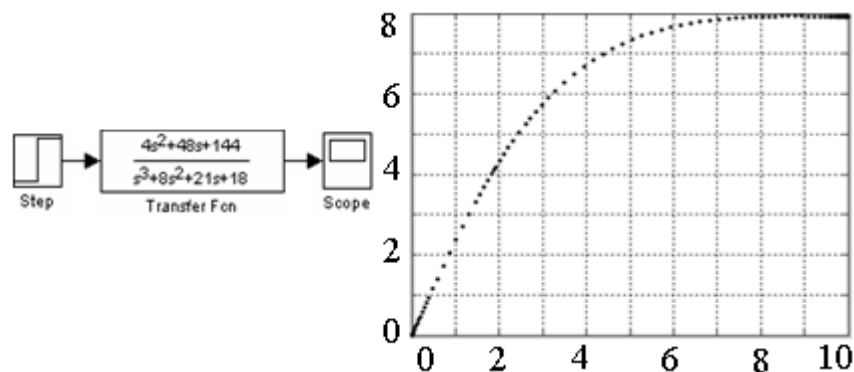


3.3 сурет– Бастапқы жүйенің құрылымдық сұлбасы

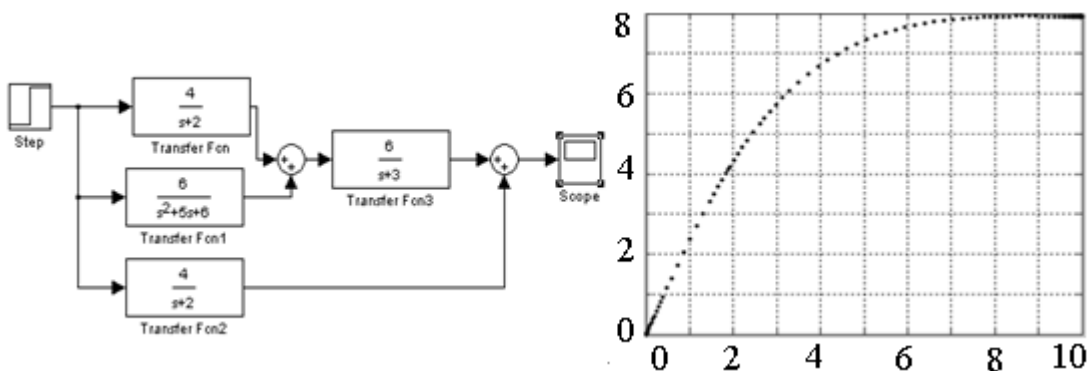
Құрылымдық сұлбаларды түрлендіру қағидалары негізінде баламалы жүйенің беріліс функциясын аламыз:

$$W_{экв} = (W1 + W2)W3 + W4 = \left( \frac{4}{s+2} + \frac{6}{(s+2)(s+3)} \right) \frac{6}{s+3} + \frac{4}{s+2} = \frac{4s^2 + 48s + 144}{s^3 + 8s^2 + 21s + 18}$$

MATLAB-та алынған Беріліс және балама жүйелерінің ұқсас өтпелі сипаттамаларының нәтижелері 3.4 және 3.5 суреттерде ұсынылған.



3.4 сурет - Беріліс жүйесінің модельдеу нәтижелері



3.5 сурет – Баламалы жүйесін модельдеу нәтижелері



### 3.5 Бақылау сұрақтары

3.5.1 Буындардың негізгі қосылулары.

3.5.2 Буындардың негізгі түрленулері.

3.5.3 Суперпозиция принципі.

3.5.4 АБЖ құрылымдық сұлбасы. Құрылымдық сұлбаның негізгі элементтері.

3.5.5 Динамикалық процестердің құрылымдық моделінің тұрғызу алгоритмі қандай?

3.5.6  $h(t)$  экспериментальді алынған бірінші буынның параметрі қалай анықталады?

3.5.7 Динамикалық буындардың уақыт бойынша сипаттамасы мен беріліс функциясы, оларға мысал келтіріңіз.

3.5.8 Буындардың өтпелі сипаттамасына  $T$  тұрақты уақытысы мен  $K$  коэффициенті қалай әсер етеді?

### 4 Зертханалық жұмыс №4. Басқару жүйесіндегі өтпелі процестердің сапасын зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** өтпелі процестердің сапасын зерттеу бойынша тәжірибеде үйрену және теориялық білімдерін нығайту.

#### 4.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Автоматты реттеу жүйелерінде (АРЖ) реттеу процестерінің орнықтылығына ғана талаптар қойылмайды. Сондай-ақ, жүйенің жұмыс жасау қабілеттілігі үшін басқару процесінің белгілі бір сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ету кезінде автоматты реттеу процесі іске асырылуы қажет. Егер зерттелінетін АРЖ орнықты болса, онда бұл жүйеде реттеу қаншалықты сапалы жүріп жатыр және ол басқару аймағының техникалық талаптарын қанағаттандыра ма деген сұрақ туады. Практикада өтпелі процестердің графигі (сызбасы) бойынша реттеу сапасы анықталады.

Сапа көрсеткіштерінің классификациясы бірнеше топтардан тұрады:

- тура процестің өтпелі сипаттамаларсыз анықталады;
- түбірлі - сипаттаушы полином түбірлері бойынша анықталады;
- жиіліктік - жиіліктік сипаттамалары бойынша;
- интегралды - функцияларды интегралдау жолымен алынады.

Автоматты жүйелердің жұмыс режимінің өзгерісі сыртқы әсерлердің болуынан пайда болады. Сонымен бірге сыртқы қарсы әсерлер мен берілген өзгеріс заңдарына байланысты әртүрлі жүйенің жұмыс режимдері болуы мүмкін.

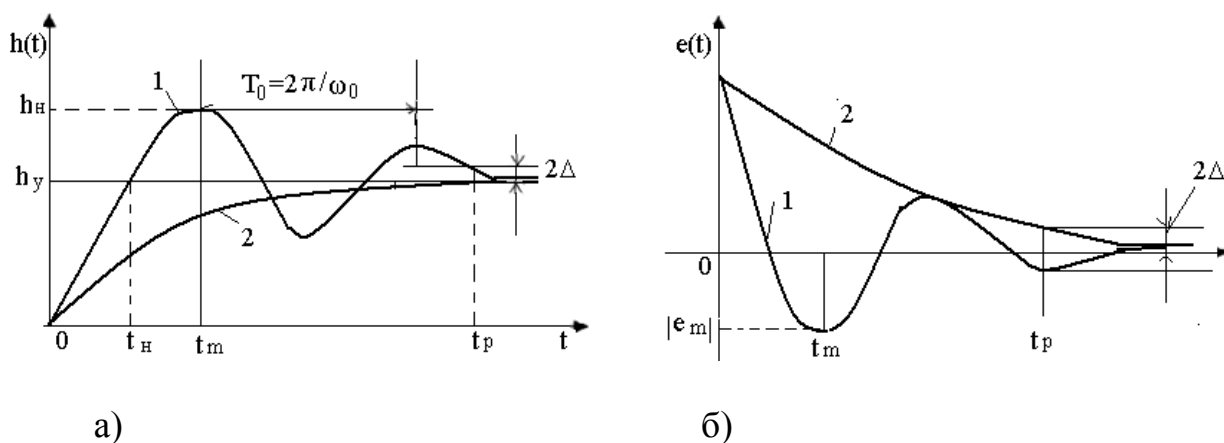
Берілген деңгейде басқарылатын айнымалыны тұрақтандыру үшін жүйеге айнымалы жүктеме түріндегі сыртқы қарсы әсер ету жеткілікті. Осыдан

шығатын негізгі тапсырма осы әсер ету жеткіліксіз (әсер етпейтін) болатын жүйе құру.

Жүйенің кірісіндегі сыртқы әсер бағдарламалық және тізбектей жүйелер үшін сипатталады. Сонымен қатар, бұл әсер минималды қателікпен (ковариантная задача) жүру үшін жүйенің құрылымы мен параметрін соған орай таңдап алу қажет. Жалпы жағдайда бұл барлық әсерлер жүйеге уақыттың күрделі функциялары болып табылады.

Әдетте басқару процесінің сапасын зерттеу кезінде келесі функциялар түріндегі бірнеше типтік әсерлер қарастырылады: бірлік секірмелі түрінде, импульсті, гармоникалық және тұрақты жылдамдықты сигналдың өзгерісіне сәйкес келетін әсер. Кең тараған әсер секірмелі түрдегі функциялар болып табылады.

Жүйедегі өтпелі процесс АБЖ қасиеттерінен ғана тәуелді емес, сондай-ақ, жалпы жағдайда уақыттың күрделі функциялары болатын сыртқы әсер сипатынан да тәуелді. Келесі типтік әсер етулер кезінде жүйенің жүрісі қарастырылады: бірлік сатылы функциялар  $I(t)$ , импульсті  $\delta(t)$  және гармоникалық функциялар.  $h(t)$  өтпелі процестің қисығы бойынша сапаның тура бағалауын алады, яғни нөлдік бастапқы шарттарда және бірлік сатылы функциялар әсерлері кезінде.



а – шығыс координаттар үшін  $h(t)$ ; б – қателіктер үшін  $e(t)$ .

4.1 сурет – Өтпелі процестер

Секірмелі түріндегі әсер кезінде өшу сипатынан тәуелді болғанда өтпелі процесс монотонды, апериодты және тербелмелі болуы мүмкін (4.1 сурет). Егер  $t \rightarrow \infty$  ұмтылғанда жаңадан орнықталған мәннен басқарылатын айнымалы ауытқу тек азаятын болса, онда процесс монотонды болып табылады (қисық 2). Апериодты процесс болады, егер басқарылатын айнымалының бастапқы және соңғы мәніне қатысты бір қайта реттеу орын алған жағдайда.

Өтпелі сипаттамасыз анықталатын басқару процесінің сапасының тура көрсеткіштері болып табылады:

1) Реттеу уақыты  $t_p$  – өтпелі процесс талап етілген нақтылықта орнықталған мәнге жақын болып қалатын минималды уақыт, яғни  $|e(t)| \leq \Delta$

немесе  $|h(t) - h_y| \leq \Delta$  теңсіздігі орындалады, мұндағы  $\Delta$  - тұрақты,  $h(y)$  –дан (статикалық жүйелер үшін  $h(y) = K/(1+K)$ , ал астатикалық жүйелер үшін  $h_y = 1$ ) пайызбен берілетін алдын ала айтылған шама. Әдетте  $\Delta = 5\%$  деп алынады.

2) Аса реттеу  $H_m$  – орнықталған мәннен өтпелі сипаттаманың максималды ауытқу, салыстырмалы бірлікте немесе пайызбен өрнектеледі:

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

3) Бірінші максимумның  $t_m$  жету уақыту.

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

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

6) Тербеліс саны  $N$ ,  $t_p$  уақыт ішінде  $h(t)$  орын алады.

7) Өшу декременті – өтпелі процестің тербелмелілігінің өшу интенсивтілігіне сандық бағалауы:  $\xi = \frac{h_{m1} - h_y}{h_{m2} - h_y}$ .

Монотонды процестер үшін негізгі көрсеткіш реттеу уақыты болып табылады.

## 4.2 Жұмыстың бағдарламасы

4.2.1  $W(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$  беріліс функциясымен жазылған автоматты басқару жүйелері үшін және 4.1 кестеде көрсетілген нұсқалар бойынша MATLAB-Simulink пакетін қолдана отырып, өтпелі процесті тұрғызу қажет.

4.2.2 Алынған сызбалар бойынша сапаның барлық тура көрсеткіштерін анықтау.

4.2.3 Нәтижелер бойынша қорытынды жасау.

4.1 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

#### 4.1 кестенің соңы

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

#### 4.3 Есеп беруге арналған талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұруы керек:

- 1) Сыртқы беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты және орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімінен қысқаша мазмұн.
- 4) Зерттелетін АБЖ құрылымдық сұлбасы.
- 5) Өтпелі процестің сызбалары.
- 6) Жоғарыда көрсетілген сапа көрсеткіштердің есебі.
- 7) Қорытынды.

#### 4.4 Бақылау сұрақтары

4.4.1 АБЖ сапасын зерттеу кезінде қандай типтік әсерлер қарастырылады?

4.4.2 АБЖ сапа көрсеткіштерінің топтарын атаңыз.

4.4.3 Неге осы жұмыста зерттелетін сапа көрсеткіштері тура деп аталады?

4.4.4 Келесі ұғымдарға анықтама беріңіз:

- реттеу уақыты;
- аса реттеу;
- тербеліс жиілігі;
- тербеліс саны;
- бірінші максимумның жетуі.

4.4.5 Қайта реттеу қандай жіберілетін мәнді қабылдауы мүмкін?

4.4.6 Басқару жүйелерінде қандай тербеліс саны тиімді?

4.4.7 Өшу декременті деген не?

4.4.8 Өтпелі процестің өсу уақыты қалай анықталады?

4.4.9 ЛАЖС және ЛФЖС бойынша жүйенің сапасын қалай анықтауға болады?

## 5 Зертханалық жұмыс №5. Автоматты басқарудың дәлдігін зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** әр түрлі типтік режимдерде автоматты реттеу жүйелерінің нақтылығын зерттеу.

### 5.1 Қысқаша теориялық кіріспе

АБЖ негізгі талаптардың бірі басқарудың ( $y(t)$ ) орнықтыланған процесінің түрімен анықталатын тапсырма беруші әсерді нақты жүргізу болып табылады. Жүйенің орнықтыланған қателігі келесідей болады:

$$\varepsilon(t) = y(t) - g(t). \quad (5.1)$$

АБЖ қателіктің орнықтыланған мәнін операциялық есептеулерден негіздің (оригинал) шектік мәні жайлы теоремасын қолданып анықтауға болады.

Егер  $\varepsilon(t)$  және  $\dot{\varepsilon}(t)$  функциялар – түпнұсқасы және  $E(P) - \varepsilon(t)$  функцияның бейнесі, онда

$$\lim_{P \rightarrow 0} P \cdot E(P) = \lim_{P \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \varepsilon(t) = \varepsilon_{КАЛ}. \quad (5.2)$$

Әдетте АБЖ нақтылықты жұмыстың типтік режимдері үшін анықтайды. Олардың ішінде қарапайым режимі болып табылады:

- сыртқы әсердің тұрақты шамалары кезінде;
- тұрақты жылдамдықпен сыртқы әсерді өзгерту кезінде;
- сыртқы әсердің квадратты өсу кезінде өзгеру кезінде;
- гармоникалық әсер кезінде.

*Тұйықталған АБЖ-да сыртқы тапсырма беруші әсердің тұрақты шамасы кезінде  $g(t) = const = g_0$  орнықтыланған қателіктің мәнін табамыз.*

Тұйықталмаған тізбектің беріліс функциясы –  $W(p)$  болсын. Онда тұйықталған жүйенің қателік үшін беріліс функциясы тең болады:

$$\Phi_{\varepsilon}(p) = \frac{1}{1 + W(p)}. \quad (5.3)$$

Негіздің (5.2) шектік мәні туралы теоремаға сәйкес орнықтыланған қателік келесі түрде болады:

$$\varepsilon_{КАЛ} = \lim_{p \rightarrow 0} P \cdot G(P) \cdot \Phi_{\varepsilon}(P). \quad (5.4)$$

$G(p) = \frac{g_0}{P}$  және  $W(p) = \frac{M(p) \cdot K}{Q(p)}$  кезінде, мұндағы  $M(P)$  және  $Q(P)$   $P$  көбейткіш болмайды, (2.2) ескергенде алатынымыз:

$$\varepsilon_{КАЛ} = \frac{g_0}{1+K}. \quad (5.5)$$

Бұл қателіктің мәні статикалық қателік деп аталады.

Тапсырма беруші әсер тұрақты жылдамдықпен өзгерсін делік:

$$g(t) = V \cdot t. \quad (5.6)$$

(5.2) және (5.3) формулаларды ескергенде, онда бұл жағдайда  $G(P) = \frac{V}{P^2}$  болғанда табатынымыз:

$$\varepsilon_{КАЛ} = \lim_{p \rightarrow 0} P \cdot \frac{V}{P^2} \cdot \frac{1}{1+W(p)} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{V}{P} \cdot \frac{1}{1+W(p)}. \quad (5.7)$$

Бұл жағдайда қателіктің өсуін тоқтату үшін АБЖ тұйықталмаған тізбегінің беріліс функциясы –  $W(p)$  нөлдік полюске ие болуы керек. Онда (5.7) формуладан шығатыны  $\varepsilon_{КАЛ} = V/K$ . Бұл тұрақты мән жылдамдық қателігі деп аталады.

Мысалы:  $W(p) = \frac{K}{p(Tp+1)}$  (бір нөлдік полюс) болсын.

Онда (5.7) теңдеуден төмендегі теңдікті аламыз:

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

Егер осы мысалда тапсырма беруші әсер тұрақты болса, онда АБЖ-да орнықтыланған 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 жүйеде статикалық қателік бола алмайды және жылдамдық қателігі тұрақты мәнде болады.

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

Тізбектей жүйелер және бағдарламалық басқару жүйелер астатикалық сияқты жобалануы керек. Реттелетін шаманың тұрақты мәнін ұстап тұруға келтірілетін жүйелер статикалық қателікке ие болуы мүмкін.

Тізбектеуші жүйелерде интегралдаушы буын ретінде астатизмді туғызушы орындаушы қозғалтқыш болып табылады.

Біліктің бұрылу бұрышы (немесе сызықты ауысу) басқарушы сигналдың (кернеу) кірісінің интегралына пропорционал болады.

(5.5) және (5.7) теңдеулерден байқағанымыздай, қателік шамасын азайту үшін жүйенің тұйықталмаған тізбегінің жалпы күшейту  $K$  коэффициенттерін ұлғайту керек.

Сонымен қатар, АБЖ астатизммен екінші және одан жоғары ретті, тапсырма беруші әсер қатынасымен ғана емес, қарсы әсер қатынасымен тұрғызуға болады. Астатизм шарты бұл кезде басқаша және шарттан анықталатын болады:

$$\varepsilon_{уст} = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot F(p) \cdot \Phi_{eg}(p). \quad (5.8)$$

*Гармоникалық әсер кезіндегі нақтылық.* Бұл жағдайда орнықтыланған қателік жоғарыда қарастырылған жиіліктік сипаттамамен анықталады.

Егер кіріс әсер заң бойынша өзгереді десек:

$$g(t) = g_m \sin \omega_p t. \quad (5.9)$$

Орнықтыланған режимде сызықталған жүйеде қателік те гармоникалық заңдылық бойынша өзгереді:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m \sin(\omega_p t + \varphi). \quad (5.10)$$

Осы режимде АБЖ нақтылығы қателік бойынша тұйықталған АБЖ АЖС анықталғанын пайдалана отыра, қателіктің амплитудасы бойынша анықтауға болады:

$$\varepsilon_m = \frac{g_m}{|1 + W(j\omega_p)|}. \quad (5.11)$$

Әдетте басқару жүйесі кіріс сигналдың  $g_m$  амплитудасы аз,  $\varepsilon_m$  көп болатындай етіп жобаланады. Көргеніміздей,  $\omega_p$  жұмыс жасайтын жиілікте  $|1 + W(j\omega_p)| \gg 1$  шарт орындалуы қажет. Онда (2.11) өрнегін жуықтаумен алмастыруға болады:

$$\varepsilon_m = \frac{g_m}{|W(j\omega_p)|}. \quad (5.12)$$

Бұл формула орнықтыланған режимде қателіктің амплитудасын есептеуге мүмкіндік береді, сонымен бірге орнықтыланған режимде берілген нақтылықты қамтамасыз ететін АБЖ синтез тапсырмаларын шешеді. Мысалы, қателіктің жеткілікті амплитудасы –  $\varepsilon_m$  және кіріс әсер –  $g_m$  берілген

амплитуда кезінде басқарушы әсер жиілігінде қалаулы ЛАЖС тұрғызу кезінде координаттарымен  $\omega_p$  бақылау нүктесі және  $20\lg|W(j\omega_p)| = 20\lg\frac{g_m}{\varepsilon_m} [Дб]$  анықталады.

Қалаулы ЛАЖС осы нүкте арқылы (не аз жоғары) өтуі қажет. Басқару жүйесін сынауда және жобалау кезінде синусоидалы тапсырма беруші сигналды жиі пайдаланады. Тіпті жүйеге кіріс әсердің максималды үдеуі мен максималды жылдамдығы бойынша талаптар қойылған жағдайда да қолданылады. Бұл жағдайда эквивалентті синусоидалы сигналды анықтауға болады.

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

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

Байқағанымыздай,

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

Осы жерден максималды жылдамдық пен үдеу талаптарына сәйкес синусоидалы тапсырма 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 тұрғызуда бақылау нүктелер координатын белгілеу үшін қолданылады.

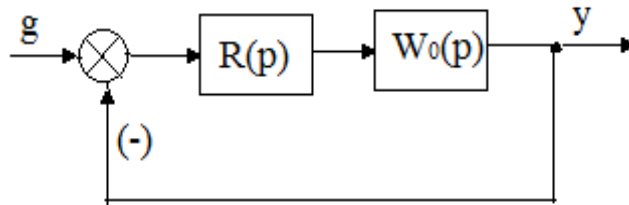
Осы зертханалық жұмыста сыртқы әсер тұрақты, сызықты - өсетін және квадратты - өсетін кезінде жүйенің орнықтыланған қателігі қарастырылады.

## 5.2 Жұмыстың орындалу тәртібі

5.2.1 өздеріңнің нұсқаларыңа сай 5.1- суретте көрсетілген жүйенің сұлбасын тұрғызыңыз. Нөлдік ретті астатизммен жүйені зерттеу кезінде  $R(p)=K$  деп аламыз, сыртқы тапсырма беруші әсер ретінде  $g = A$ ,  $g = vt$  (2.1

кестеден параметрлерді таңдаймыз) және  $g = \frac{at^2}{2}$  (2.2 кестеден параметрлерді аламыз) қолданамыз.



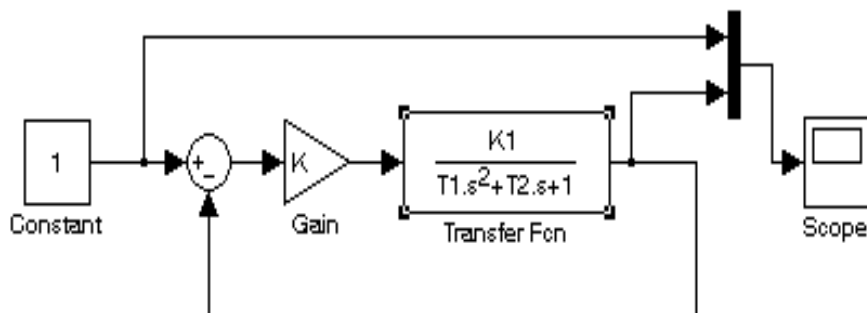


5.1 сурет – Жүйенің құрылымдық сұлбасы

мұндағы  $W_0(p) = \frac{K_1}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}$ ,  $R(p) = K$  - астатикалық жүйелер үшін.

5.2.2 Тұрақты сигнал әсер еткен кездегі нөлдік ретті астатизммен жүйені зерттеуді жүргізу. Бұл үшін 5.2 суретте көрсетілген моделдің сұлбасын MATLAB-Simulink пакеті көмегімен жинау қажет. Тұрақты сигналдың генераторы *Sources* кітапханасындағы *Constant* блогы, ал параметр  $g = A$  тұрақты сигнал болып табылады.  $R(p) = K$  орнына *Math* кітапханасындағы

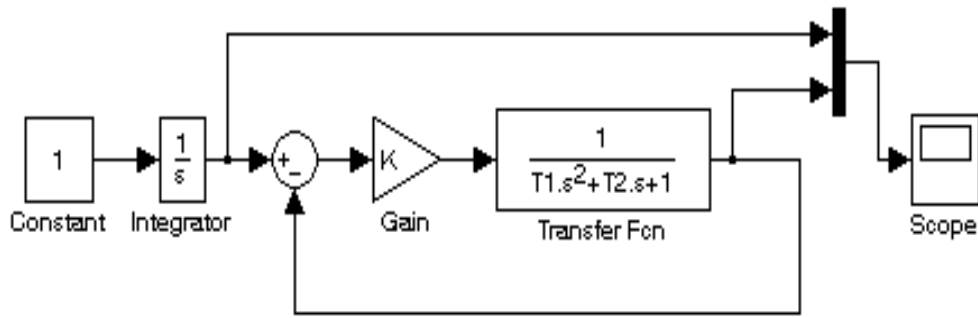
*Gain* күшейткіш алынады. Беріліс  $W_0(p) = \frac{K_1}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}$  функциясы *Continuous* кітапханасындағы *Transfer Fcn* блок көмегімен іске асырылады. Шығысында *Sinks* кітапханасындағы *Scope* осциллограф орнатылады. Бір мезгілде екі сигналды көру үшін және салыстыру мақсатында оның кірісіне бір мезгілде екі сигналды  $g = A$  (генератор шығысынан *Constant* сигналын);  $y(t)$  (жүйе шығысынан) береміз. Осыны *Signals & Systems* кітапханасындағы *Mux* (суреттегі төртбұрышты кара) блогымен ғана жасай аламыз.



5.2 сурет – Кірісіне  $g = A$  сигналын бере отыра нөлдік ретті астатизмді жүйенің моделі үшін сұлба

5.2.3  $K = 1, 5, 10$ , өзгерте отырып, өтпелі процесті алу және әр  $K$  үшін орнықтыланған қателіктің шектеу мәнін анықтау.

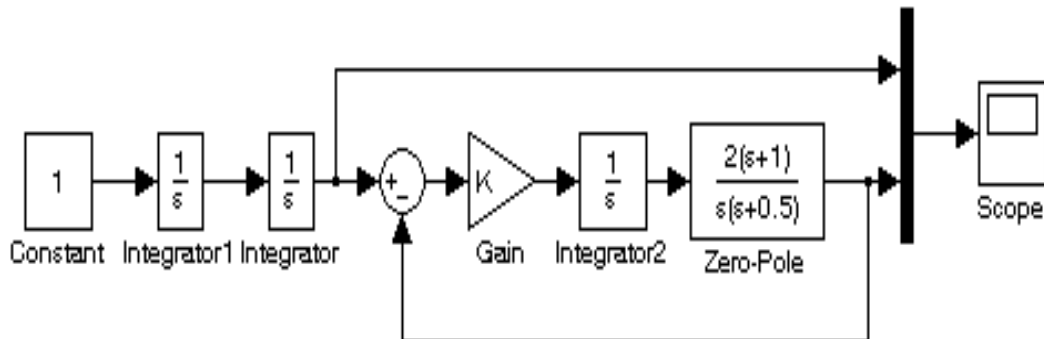
5.2.4 5.3 сурет бойынша кірісіне сызықты өсетін сигналды  $g = v \cdot t$  бере отыра нөлдік ретті астатизмді жүйе үшін 5.2 тармақтағыдай сұлбаны жинау. Кіріс әсерді  $g = v \cdot t$  алу үшін тұрақты сигналдың генераторына тізбектей *Continuous* кітапханасындағы *Integrator* блогы жалғанады.



5.3 сурет -  $g = v \cdot t$  сигналын кірісіне бере отыра нөлдік ретті астатизмді жүйенің моделі үшін сұлба

5.2.5 Сондай-ақ  $K = 1, 5, 10$  мәндерінде өтпелі процесті алу және әр  $K$  үшін орнықтыланған қателіктің шектік мәндерін анықтау.

5.2.6 бірінші ретті астатизмді жүйені зерттеу. Осындай жүйелер үшін  $R(p) = K/p$ , сондықтан күшейткішке Gain тізбектей Continuous кітапханасындағы Integrator блогы жалғанады. 5.4- суретте моделдің сұлбасы көрсетілген. Квадратты өсетін кіріс әсерді  $g = \frac{at}{2}$  алу үшін генератормен тізбектей әсер ететін сигналдарды екі интеграторды қосамыз. Нұсқаларға сәйкес келетін 5.2 кестеде беріліс функциясының параметрлері, ал әсер етуші сигналдардың параметрі 5.1 және 5.2 кестеде берілген.



5.4 сурет -  $g = \frac{at^2}{2}$  сигналын кірісіне берген кезде астатизмді жүйелер үшін моделдің сұлбасы (мысалы ретінде сұлбада беріліс функциясы

$$\text{көрсетілген } W_0(p) = \frac{2(p+1)}{p(p+0.5)}$$

5.2.6 Алынған нәтижелер бойынша жүйенің нақтылығына параметрлердің әсерін талдау жасау.

5.1 кесте – Нөлдік ретті астатизмді жүйенің параметрлерінің нұсқалары

Нұсқа	K1	T1	T2	K	Типтік кіріс әсер		
					$g=A$	$g=vt$	$g=at^2/2$
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	$0.3t^2$

5.2 кесте – Астатикалық жүйелерді зерттеу үшін нұсқалар

Нұсқа	$W_0(p)$	$g=at^2/2$	Нұсқа	$W_0(p)$	$g=at^2/2$
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	$\frac{p+1,5}{p^2+2p+1}$	$0,5t^2$

### 5.3 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұру керек:

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

### 5.3 Бақылау сұрақтары

5.3.1 Нақтылықты зерттеу үшін қандай типтік әсерлер керек?

5.3.2 Simulink пакетінің қандай блогымен жүйе моделінде астатизм ретін ұлғайтуға болады?

5.3.3 Автоматты басқару жүйесінің астатизм ретін қалай анықтауға болады?

5.3.4 Моделдеу түрлері мен анықтамасы.

5.3.5 Математикалық моделдеудің түрлері.

5.3.6 Кіріс-шығыс моделдерін құру принципі.

5.3.7 Құрылымдық сұлба деген не?

5.3.8 Автоматты басқару жүйесі деген не?

5.3.9 Жүйенің қателігі мен орнықтылығына регулятор типінің әсері қандай?

## 6 Зертханалық жұмыс №6. Ажыратылған және тұйықталған жүйелердің тұрақтылығын зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** әртүрлі құрылымдардың автоматты жүйелерінің тұрақтылығын зерттеу және тұрақтылық қорларын бағалау.

### 6.1 Теориялық кіріспе

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

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

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 u^{(m)}(t) \dots + b_m u(t), \quad (6.1)$$

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 сан;

$u(t)$  - бақылау шарасы;

$a_0, a_j, \dots, a; b_0, \dots, b_m$  - тұрақты коэффициенттер;

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

$$y(t) = y_{\text{еркін}}(t) + y_{\text{еріксіз}}(t). \quad (6.2)$$

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

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

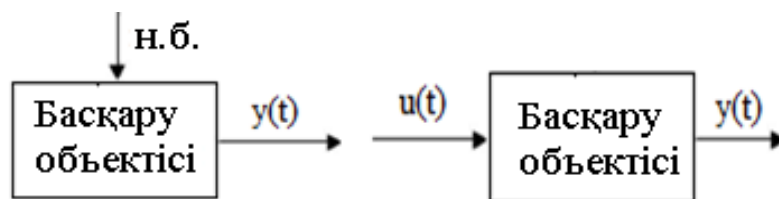
$Y_{\text{еріксіз}}(t)$  - еріксіз қозғалыс, сыртқы әсердің нөлдік бастапқы жағдайларының әсер етуі кезінде пайда болады.

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

$$a_0 y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = 0. \quad (6.3)$$

Еріксіз қозғалыс нөлдік бастапқы шарттарда біртекті емес теңдеудің (6.1) 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 (6.1, а сурет) бастапқы шартқа қатысты орнықтылық сипатына ие болады. Егер кез келген шектеулі әрекет  $u(t)$  үшін жүйе реакциясы  $y_{\text{еріксіз}}(t)$  кез келген уақытта  $t \in [t_0, \infty)$  шектелген болса, басқару жүйесі (6.1, б сурет) кіріске қатысты тұрақты деп есептеледі. Егер жүйе кірісте де, бастапқы шартта да орнықты болса және өшу процестермен сипатталса, онда орнықты басқару жүйесі болады.



а) басқару объектісі шартқа бастапқы шартқа сәйкес;

б) басқарушы объект нөлдік шартқа сәйкес.

6.1 сурет - Басқару объектілерінің сұлбасы

Жүйенің қозғалысының еркін компоненті теңдеудің шешімі ретінде ұсынылуы мүмкін (6.3):

$$y_e(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{s_i t}. \quad (6.4)$$

Мұндағы  $y_i(t)$  - теңдеудің шешімінің  $i$ -ші кезеңі (6.4);  
 $C_i$  - бастапқы шарттармен анықталған интегралдық тұрақтылар;  
 $s_i$  – көпмүше түбірі

$$a_0 s^{(n)}(t) + a_1 s^{n-1}(t) + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0. \quad (6.5)$$

Сипаттауыш теңдеудің нақты түбірі  $s_i = \alpha_i$  үшін (6.4)  $y_i = C_i e_i^{\alpha t}$  өрнегі сәйкес келеді. Кемімелі экспоненттер  $\alpha_i < 0$  (6.2, а сурет) теріс түбірлер сәйкес келеді, оң түбірлер  $\alpha_i > 0$  өспелі экспоненттер болып табылады (6.2 б, сурет) және нөлдік түбірлер  $\alpha_i = 0$  үшін  $C_i$  түзу сызықтарын көрсетеді (6.2 в, сурет).

$$y_i(t) = C_i e^{(\alpha_i + j\beta_i)t} + C_{i+1} e^{(\alpha_i - j\beta_i)t} = A e^{\alpha_i t} \sin(\beta t + \psi). \quad (6.6)$$

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

$\alpha_i < 0$  өшпелі тербелістер болады (6.3 а, сурет),  $\alpha_i > 0$  шашырайтын тербелістер колебания (6.3 б, сурет),  $\alpha_i = 0$  – өшпейтін тербеліс (6.2 в, сурет).

*Ляпунов теоремасы.* Жүйенің тұрақтылығы үшін барлық түбірлері теріс және нақты болғаны жеткілікті.

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

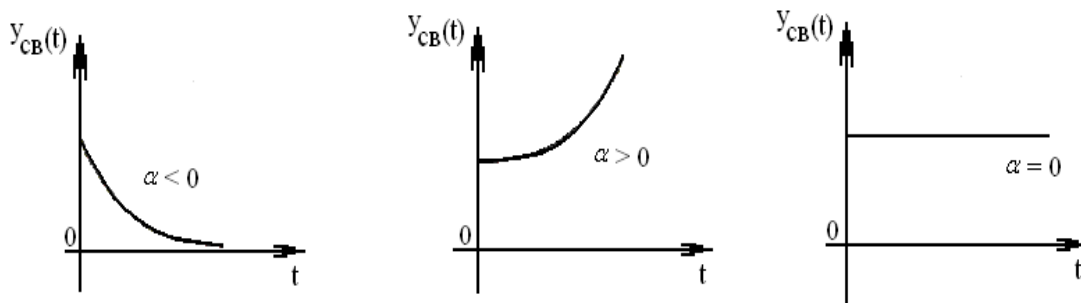
Жүйе тұрақты шекарада үш жағдайда ғана болады, егер сипаттамалық теңдеудің түбірлерінің арасында мыналар болса:

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

Бірінші жағдайда жүйені бейтарап тұрақты деп атайды, өйткені сипаттамалық теңдеуде (6.5) бос мүше  $a_n = 0$  болмайды. Демек, жүйенің тұрақтылығы реттелетін шаманың  $y(t)$  өзгеру жылдамдығына қатысты салыстырмалы бағаланады.

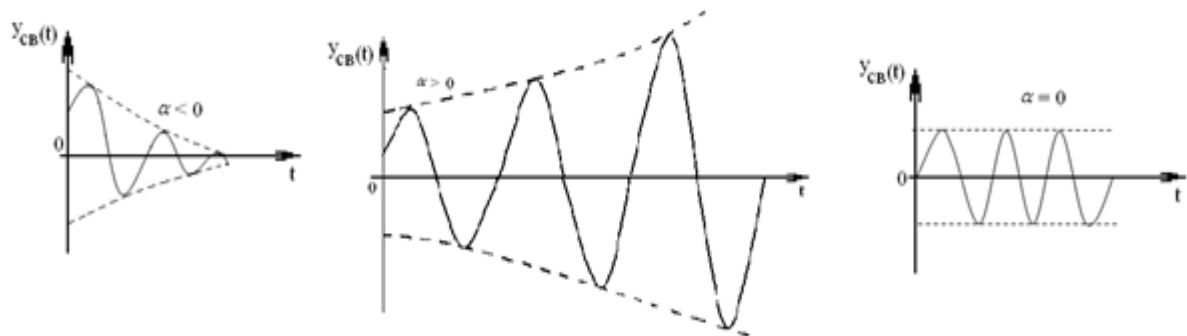
Екінші типті тұрақтылық шекарасын тербелмелі тұрақты тербеліс шекарасы дейді (6.3 в, сурет).

Үшінші жағдайда, нақты түбір сол жартылай жазықтықтан минус шексіздікпен оң жаққа дейін өтуі мүмкін.  $C_k e^{\alpha_k t}$  өрнегі (6.4)  $\alpha_k$  сәйкес келеді, бұл дифференциалдық теңдеудің (6.3) ретін төмендетуге сәйкес келеді.



а) бастапқы берілгені бойынша жүйе тұрақты; б) жүйе тұрақсыз; в) тұрақтылық шекарасындағы жүйе.

6.2 сурет - Жүйе жағдайларының сызбасы. Нақты түбірлері бар жүйе

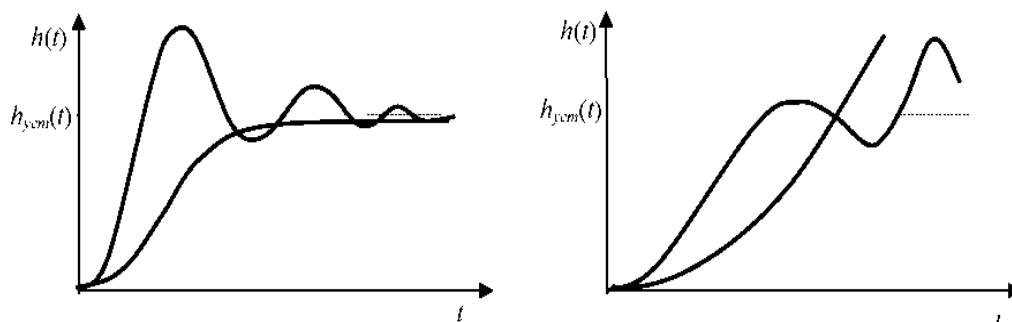


а) бастапқы берілгені бойынша жүйе тұрақты; б) жүйе тұрақсыз; в) тұрақтылық шекарасындағы жүйе.

6.3 сурет – Жүйе жағдайларының сызбасы. Комплексі түбірлері бар жүйе

Егер жүйенің күйі өтпелі процесстің түрі бойынша анықталса, онда тұрақтылық жағдай орнатылған мәнге қатысты мүмкін қателігі бар процестер сәйкес келеді (6.3, а сурет):

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



а) кіріс бойынша жүйе тұрақты;

б) жүйе тұрақсыз.

6.4 сурет – Тербеліс және тұрақты өтпелі процестер

## 6.1 Жұмыстың орындалу тәртібі

1. Жүйенің ажыратылған тізбектерін 6.1 кестеде келтірілген сілтемелерден құрастырыңыз. Ажыратылған жүйенің тұрақтылығын келесі жолдармен бағалаңыз:

- өтпелі функцияның полюстерін табу;
- кез келген бастапқы жағдайда сыртқы әсерлерсіз уақытша сипаттамаларын алып тастауға негізделген.

2. Жүйені теріс кері байланыспен жабыңыз және өтпелі сипаттаманы алып тастаңыз. Жабық жүйенің орнықтылығын бағалаңыз және оны бірінші тармақта алынған нәтижелермен салыстырыңыз.

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

6.1 кесте – Бастапқы берілген деректер

Нұсқа-лар	Беріліс функциялары	Параметр-лер	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	$W(s) = \frac{K}{T^2s^2+1}$		T	0.5	0.01	0.01
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	$W(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$	k	1	1	100	
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	$W(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$					
		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	



## 6.1 Әдістемелік мысал

CST MATLAB бағдарламасының командасының негізінде ажыратылған жүйенің тұрақтылығын зерттейміз. Берілген беріліс функциясының тендеуі келесіде

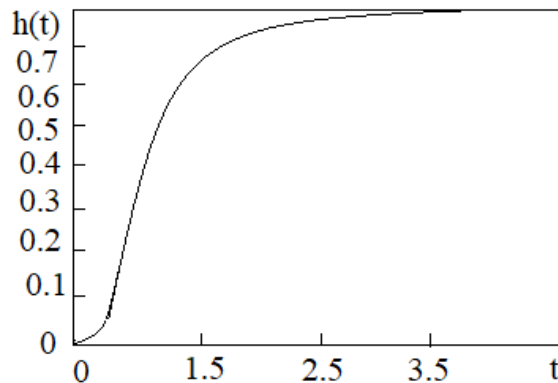
$$W(s) = \frac{20}{0.00025s^3 + 0.0286s^2 + 0.36s + 1} \quad (5.12)$$

Шығыс беріліс функциясын LTI-model ретінде анықтап, w қылып белгілейік, pole(w) беріліс функциясының полюстерін тауып, өтпелі step(w) сипаттамасын құрайық.

```
>> = 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, демек Ляпунов теоремасы бойынша жүйе тұрақты.

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



6.4 сурет - Әдістемелік мысал үшін step(w) командасын қолдану нәтижесінде өтпелі процесс

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

## 6.4 Бақылау сұрақтары

6.4.1 Жүйе тұрақтылығының қасиеті.

6.4.2 Бастапқы дерек, кіріс әсер бойынша тұрақтылық шарты.

6.4.3 Тұрақтылық шарттары (Ляпунов теоремалары).

- 6.4.4 Беріліс функцияны жазыңыз.
- 6.6.5 Сипаттамалық теңдеуді жазыңыз.
- 6.6.6 Беріліс функцияның нөлі мен полюсі.
- 6.6.7 Күй кеңістігіндегі АБЖ математикалық моделі.
- 6.6.8 Басқару жүйелерінің әр өрнегінің математикалық түрінің қолданылуы.

## 7 Зертханалық жұмыс №7. Синтез және тізбектей коррекциялаумен басқару жүйесін зерттеу

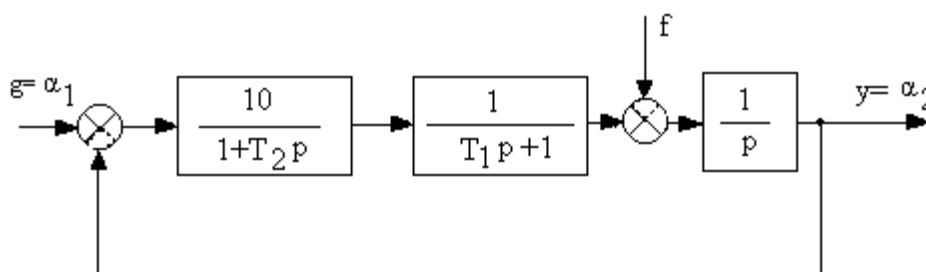
**Жұмыстың мақсаты:** теориялық нәтижелердің және коррекцияның тиімділігін моделде (ЭЕМ) тәжірибеде тексеру.

### 7.1 Қысқаша теориялық кіріспе

7.1 суретте коррекциялаушы буын болмаған жағдайдағы тізбектей қосылған жүйенің құрылымдық сұлбасы көрсетілген. Тұйықталған кездегі коррекцияланбаған қадағалаушы (тізбектей) жүйенің беріліс функциясы:

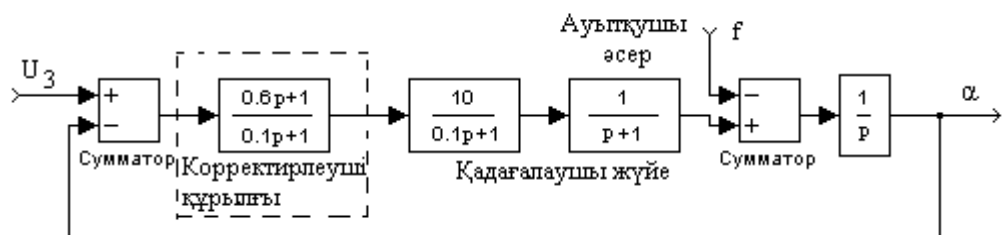
$$W_p(p) = \frac{K_p}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}, \quad (7.5)$$

мұндағы  $T_1 = 1\text{c}$ ;  $T_2 = 0,1\text{c}$ ;  $K_p = 10$ .



7.1 сурет – Коррекцияланбаған қадағалаушы жүйенің құрылымдық сұлбасы

Логарифмді амплитудалы-жиіліктік сипаттама әдісі көмегімен берілген АРЖ үшін (А қосымша) корректірлеуші буынның синтезі іске асырылады. Алынған буынның беріліс функциясы қадағалаушы жүйенің құрылымына енгізілген және Matlab Simulink элементтерімен көрсетілген (7.2 сурет).



7.2 сурет – Коррекцияланған қадағалаушы жүйе моделінің сұлбасы

## 7.2 Жұмыстың бағдарламасы

7.2.1 Қадағалаушы жүйенің құрылымдық сұлбасы үшін (7.1 сурет) Matlab Simulink блогынан және элементтерінен моделдің сұлбасын жинау қажет.  $U_B = 10V$  кезінде өтпелі процесті алыңыз, нәтижелерін сақтаңыз.

7.2.2 Коррекцияланған жүйе моделінің сұлбасын жинау.  $U_B = 10V$  болған кездегі өтпелі процесті алыңыз, нәтижелерді сақтаңыз.

7.2.3 сапалы көрсеткіштерді салыстырыңыз. Қорытынды жасаңыз.

## 7.3 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұрады:

- 1) Сыртқы беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты мен орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімінен қысқаша мазмұн.
- 4) АРЖ құрылымдық сұлбасы. Модулдердің сұлбасы.
- 5) Алынған нәтижелер.
- 6) Қорытынды.

## 7.4 Бақылау сұрақтары

7.4.1 КҚ синтездеу әдісі.

7.4.2 ЛАЖС көмегімен синтездеу ретін айтыңыз.

7.4.3 Қалаулы ЛАЖС тұрғызу реті.

7.4.4 ЛАЖС бойынша КҚ беріліс функциясын анықтаңыз.

7.4.5 КҚ түрлері.

7.4.6 Коррекциялаушы құрылғыларға түсініктеме беріңіз.

7.4.7 Автоматты реттеу жүйесіне түсініктеме беріңіз.

7.4.8 Ауытқушы әсер деген не?

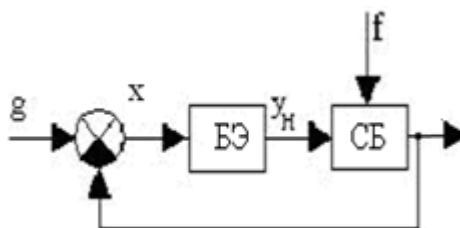
## 8 Зертханалық жұмыс №8. Басқару жүйесінің қарапайым сызықты емес сипаттамаларын зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** қарапайым сызықты емес буындарды білу және олардың шығыстық сипаттамаларын зерттеу

### 8.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Автоматты реттеудің сызықты емес (бейсызық) жүйелер деп ең болмағанда бір буыны сызықты емес теңдеумен сипатталатын жүйе. Мұндай буындар сызықты емес буындар немесе сызықты емес элементтер деп аталады.

Сызықты емес жүйелерді эквивалентті түрлендіру жолымен бейсызық (сызықты емес) элемент пен сызықты бөлікті тізбектей қоса тұйықталған контур түрінде қарастырамыз, 8.1 суретте көрсетілген.



БЭ – бейсызық элемент; СБ – сызықты бөлік.

8.1 сурет – Сызықты емес жүйенің сұлбасы

Сызықты емес жүйелердің модулдерінің көп бөлігі сызықталуға келеді және типтік динамикалық буындармен сипатталады. Көптеген тәжірибелер көрсеткендей, сызықты емес жүйелерді кездесетін типтік сызықты емесі ажыратуға және оларды жүйелеуге мүмкіндік берді. Сызықты емес буындарды үш топқа бөлуге болады:

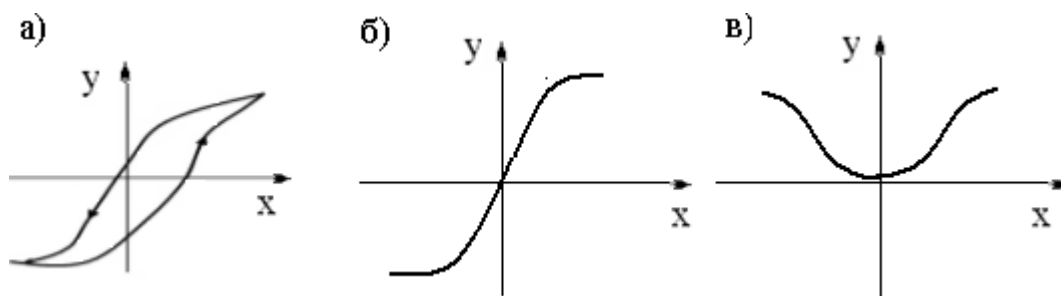
- бір белгілі сипаттамаларымен сызықты емес буын (статикалық бейсызықтылық);
- көп белгілі сипаттамаларымен сызықты емес буын (динамикалық бейсызықтылық);
- ерекше сызықты емес элементтер.

Буынның бір белгілі сипаттамасы кіріс координаталарының мәніне ғана сезімталдығы болады, буын кіріс координатасының қозғалыс бағытына не оның туындысына сезімсіз болады.

Сызықты емес буындарды негізгі типтеріне келесідей бөледі:

*Тегіс қисықсызықты сипаттамалы сызықты емес буындар.*

Осындай сипаттамалар 8.2 суретте көрсетілген.



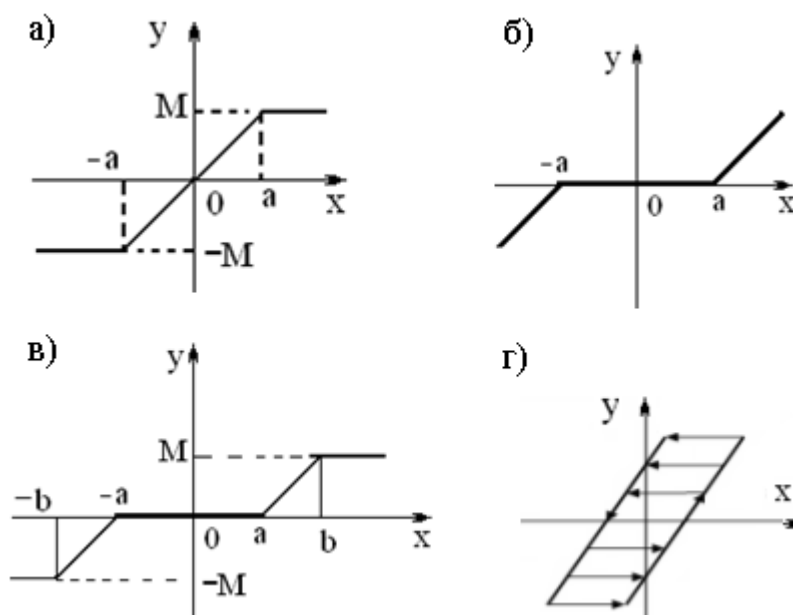
а - гистерезисті; б, в - күшейткіш.

8.2 сурет - Тегіс қисықсыздықты сипаттамалар

8.2, а - суретте екі белгілі гистерезисті (кешігуші) сипаттама көрсетілген. 8.1, б - суретте қанығу немесе шектеу және нақты қуат күшейткішіне сәйкес келетін сипаттама, ал 8.1, в - нақты қуат күшейткішін көрсетеді. 8.1, а және б - суреттердегі сипаттама жұпсыз-симметриялы, ал 8.1, в - суретте жұп-симметриялы.

*Тілімді - сызықты сипаттамалы сызықты емес буындар.*

Мұндай сипаттамалардың кейбірі 8.3 суретте көрсетілген.

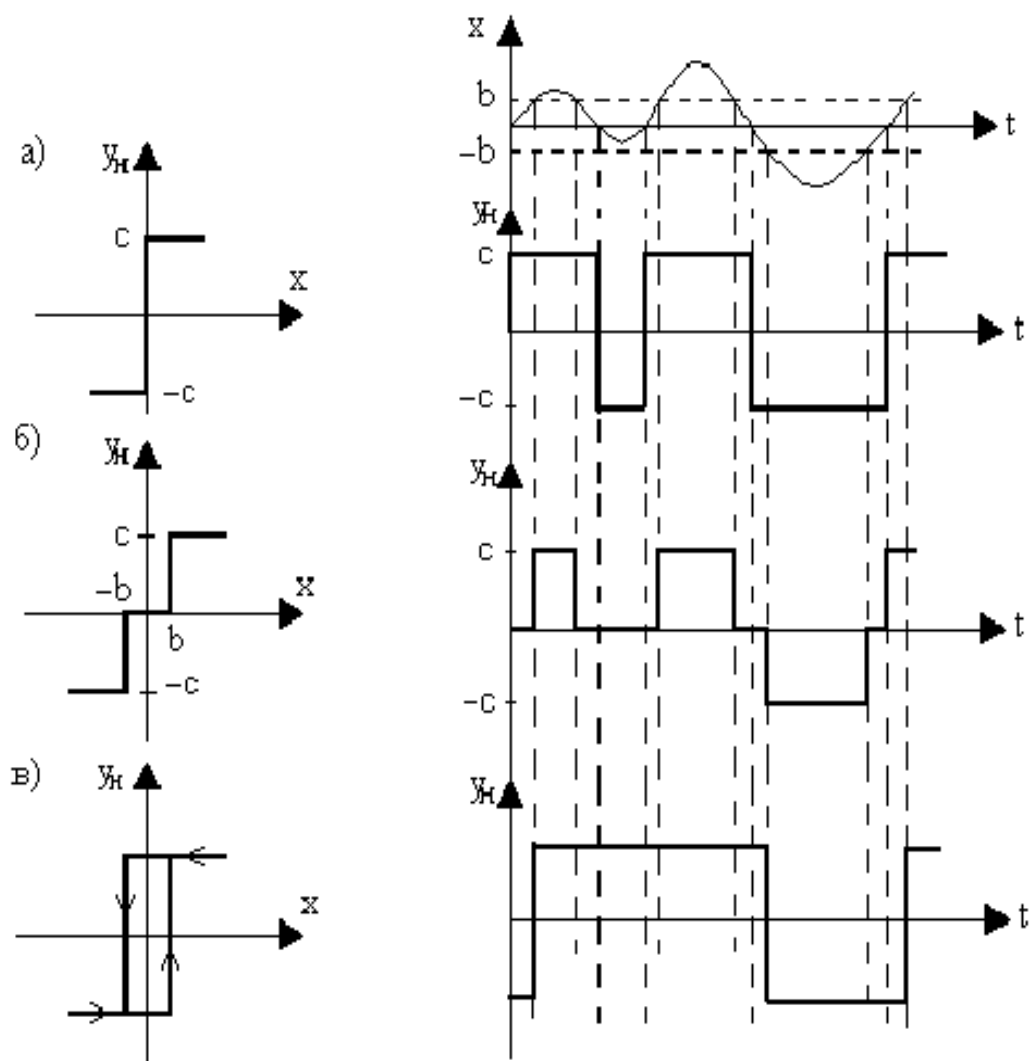


а) қанығумен; б) сезімталсыздық аймағымен; в) қанығумен және сезімталсыздық аймағымен; г) люфт.

8.3 сурет – Тілімді сызықты сипаттамалар

8.3, а - суреттегі сипаттамадан қанығуды, 8.3, б - суреттен сезімталсыздық аймағын, ал 8.3, в - суреттен бір уақытта қанығуға және сезімталсыздық аймағына ие болатын буын сипаттамасын көруге болады. 8.3, г - суреттегі сипаттамадан кинематикалық беріліс саңылауын көреміз.

Релелі буындар – бұл өзінің шығысында тіркелген мәннің соңғы санын беретін элементтер. 8.4 суретте типтік релелік сипаттамалар көрсетілген.



а) идеалды; б) сезімталсыздық аймағымен; в) гистерезисті.

8.4 сурет - Релелі сипаттамалар

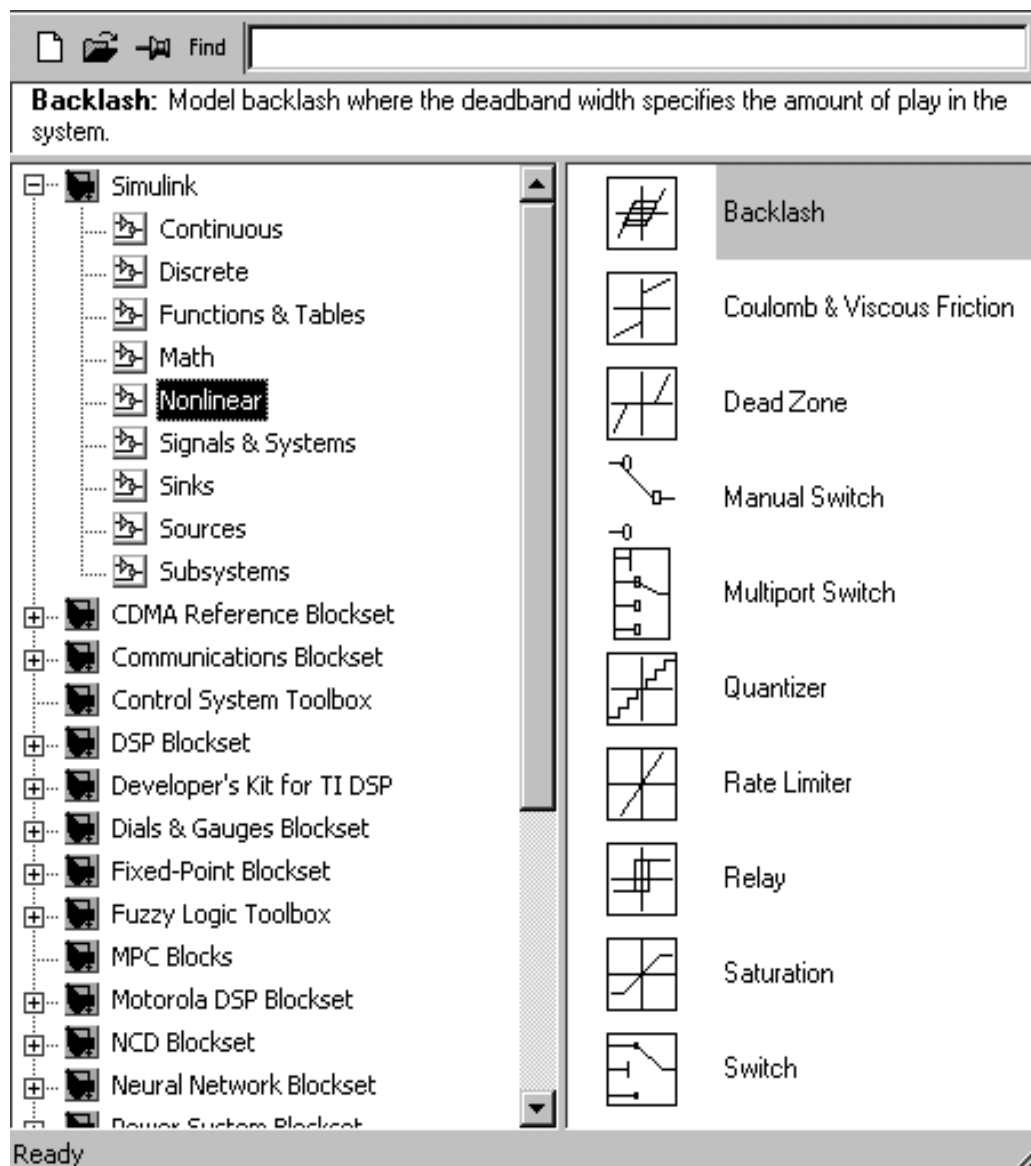
8.4, а – суретте көрсетілген сипаттамалар идеал екі позициялы релеге, ал 8.4, б – суретте сезімталсыздық аймағымен үш позициялы релеге, ал 8.4, в – суреттегі екі позициялы поляризацияланған релеге сәйкес келеді.

Бұдан басқа 8.4 - суретте реле типіне сәйкес келетін үздіксіз сигналдың өтуі көрсетілген. Осы жерден байқайтынымыз, реленің беріліс коэффициенттері кіріс әсердің шамасынан тәуелді.

Жүйенің динамикалық қасиеттерін жақсарту мақсатында арнайы озатын екі белгілі статикалық сипаттамалы сызықты емес буындар құралған.

Статикалық сипаттамалы координаттар басына қатысты симметриялы емес элементтер жиі кездеседі.

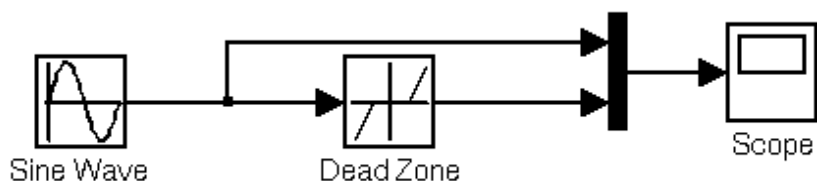
MATLAB-Simulink кітапханасының Nonlinear бөлімі сызықты емес компоненттерге арналған, кең тараған сызықты емес блоктардан тұрады (8.5 сурет).



8.5 сурет - Simulink пакетінің терезесі

## 8.2 Жұмыстың бағдарламасы

Simulink пакетінің Nonlinear кітапханасынан сызықты емес блокты таңдап модель құрамыз (8.6 сурет). Кіріс сигнал ретінде *Sources* блогынан *Sine Wave* синусоиданы пайдаланамыз. Сигналдарды салыстыруға қолайлы болу үшін – бастапқы және сызықты емес блок арқылы өтетін – Simulink кітапханасының *Signal & Systems* бөлімінен Mux блогын қолданамыз. Mux (8.6 суретте ол қара тік бұрыштармен белгіленген) блогының кірісіне сәйкесінше сигналдар беріледі, ал шығыс *Scope* блогына байланыстырылады.



8.6 сурет - Зерттеу жүргізу үшін сызықты емес жүйенің моделі

8.2.1 8.6 суретте көрсетілген модел сұлбасында сызықты емес блоктарды өзгерту келесідей:

- 1) *Saturation* блогы (шектеу немесе қанығу буыны).
- 3) Сезімталсыздық аймақты блок *Dead Zone*.
- 4) Релелі блок *Relay*.

Олардың моделін алу керек.

8.2.2 8.1 және 8.2 кестелерде тапсырма нұсқаларына сай келетін блоктардың параметрлері көрсетілген.

8.2.3 Нұсқаға сәйкес олардың параметрлерін келтіріңіз. Кірісіне гармоникалық сигнал бере отыра типтік сызықты емес статикалық сипаттамаларды қарастырыңыз.

8.2.4 Зерттеу нәтижелері бойынша осы типтік сызықты емес сипаттамалар үшін қорытынды жасаңыз.

8.1 кесте – Қанығу аймағынан тұратын блоктардың параметрлері

Қанығу аймағының сипаттамасы	Нұсқалар	b параметрі	Сезімталдығы жоқ аймақтың сипаттамасы	Нұсқалар	b параметрі
	1	0,7		1	2,3
	2	1,3		2	1,7
	3	2,8		3	0,3
	4	3,5		4	4,8
	5	4,2		5	3,4
	6	5,6		6	5,6
	7	6,9		7	2,1
	8	1,7		8	6,9
	9	2,3		9	3,5
	10	0,9		10	5,4
	11	3,7		11	2,8
	12	5,2		12	6,9
	13	3,3		13	2,3
	14	2,7		14	1,9
	15	1,3		15	2,3
	16	4,9		16	5,8
	17	3,6		17	2,4
	18	5,8		18	5,6
	19	2,3		19	2,1
20	5,9	20	3,9		



## 8.2 кесте – Гестирезисті блоктардың параметрлері

Гистерезисті сипаттама	Нұсқалар	a параметрі	b параметрі
	1	2	0,7
	2	1,1	1,4
	3	2	2,8
	4	0,5	0,9
	5	3,3	3,7
	6	0,9	1,5
	7	3,7	4,3
	8	2,2	2,6
	9	1,5	3,1
	10	4,8	3,7
	11	8,9	2,5
	12	5,3	1,3
	13	1,5	3,7
	14	4,3	2,2
	15	2,6	1,5
	16	3,1	4,8
	17	3,7	8,9
	18	2,5	5,3
	19	1,3	1,8
20	2,4	3,5	

### 8.3 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұруы керек:

- 1) Сыртқы беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты және орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімнен қысқаша мазмұн.
- 4) Сызықты емес буындармен моделдің үш сұлбасы.
- 5) Тәжірибе нәтижелері.
- 6) Қорытынды.

### 8.4 Бақылау сұрақтары

8.4.1 Сызықты емес буындарды қандай топтарға бөлуге болады?

8.4.2 Типтік сызықты еместілерді атаңыз?

8.4.3 Simulink кітапханасының қандай бөлімі сызықты емес жүйелерді зерттеуге арналған?

8.4.4 Статикалық сипаттама деген не және оны қандай мақсатта анықтайды?

8.4.5 Сызықты емес жүйе деген не?

8.4.6 Кіріс шығыс шамасын түсіндіріңіз.

8.4.7 Қарастырып отырған жұмыста жүйенің эквивалентті беріліс функцияның түрі қандай?

8.4.8 Найквист, Михайлов, Гурвиц критерилері бойынша сызықты емес АБЖ автотербелістің параметрлері мен шарттарының әсері.

## А қосымшасы

Қазіргі уақытта түзеткіш құрылғыларды синтездеуге негізінен шамамен алғанда көптеген әдістер жасалды. Инженерлік практикада кең таралған, ашық жүйенің кері және логарифмдік жиілік сипаттамаларын құруға негізделген – графикалық-аналитикалық синтез әдісі. Сонымен қатар, дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешуді қажет етпейтін өтпелі процестің жанама бағалары кеңінен қолданылады, мысалы, фазалық маржа, модульдік резерв, тербеліс, жиілік сипаттамалары арқылы тікелей анықталатын үзіліс жиілігі.

Басқа топ синтездің аналитикалық әдістерін қамтиды. Олар үшін жүйенің сапа көрсеткіштерін түзету құрылғысының параметрлерімен аналитикалық түрде байланыстыратын өрнек бар, және функцияның экстремумдық мәніне сәйкес келетін параметрлердің мәндері анықталады.

Бұл әдістер өтпелі процестің интегралдық сапа критерийлеріне және орташа квадраттық қателіктің критерийіне негізделген жүйені синтездеуді қамтиды.

Компьютерлік технологияның заманауи құралдарын пайдалану дифференциалдық теңдеулерді тікелей шешуге және өтпелі процестердің құрылысына байланысты қиындықтарды жояды.

Осыған байланысты мәселені жақын белгілі әдістермен емес, зерттеушіге қызығушылық, түзету құрылғысының параметрлерінің өзгеруінде дифференциалдық теңдеулердің бастапқы жүйесінің шешімдері арқылы бағытталған.

Логарифмдік амплитудалық сипаттамалар әдісін синтездеудің ыңғайлы графикалық-аналитикалық әдістерін қарастырайық. Ол амплитудасы мен фазалық жиілік сипаттамалары арасындағы бірегей байланыс бар минималды фазалық АРЖ-сін синтездеу үшін қолданылады.

Синтездеу процесі келесі қадамдарды қамтиды:

- бастапқы түзетілмеген  $L_{НС}(\omega)$  жүйесінің ЛАЖС жүйесі ашық күйде ТҚ жүйесінен талап етілетін кірісті ескере отырып салынған, ол тұрақты күйде жүйенің нақты дәлдігін қамтамасыз ету жағдайынан таңдап алынған;

- берілген сапа көрсеткіштеріне сәйкес  $\sigma_{max}$ , уақыт реттегіш  $L_{Ж}(\omega)$  жүйесінен қажетті ЛАЖС құрылды;

- бастапқы түзетілмеген жүйенің ЛАЖС ординатының қалаған ЛАЖС ординаттарын шегеру арқылы  $L_{К}(\omega)$  түзету құрылғысының ЛАЖС-ін анықтаймыз;

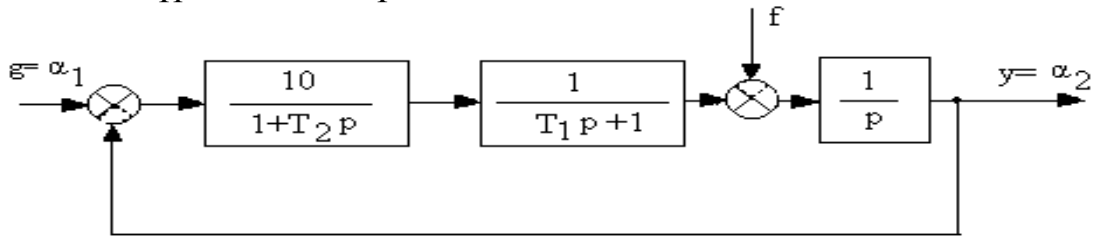
- алынған  $L_{К}(\omega)$  арқылы  $W_{К}(p)$  анықталады және техникалық іске асырудың қарапайым әдісі таңдалады.

Беріліс функциясы қадағалау жүйесінің ашық кезінде болсын:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}.$$

мұндағы  $T_1=1c$ ;  $T_2=0,1c$ ;  $K_p=10$ .

Сәйкес құрылымдық сұлба.



А.1 сурет - Құрылымдық сұлба

Келесі сапа көрсеткіштері қажет: қайта реттеу  $\sigma \leq 30\%$ ;  $t \leq 1.5c$ .

Кезекті түзету құрылғысының синтезін орындаймыз.

Ажыратылған түзетілмеген жүйенің ЛАЖС құрайық. Мұны істеу үшін сәйкес жиіліктерді және  $20 \lg K_p = 20 \lg 10 = 20$ , дБ табамыз (А.2 сурет):

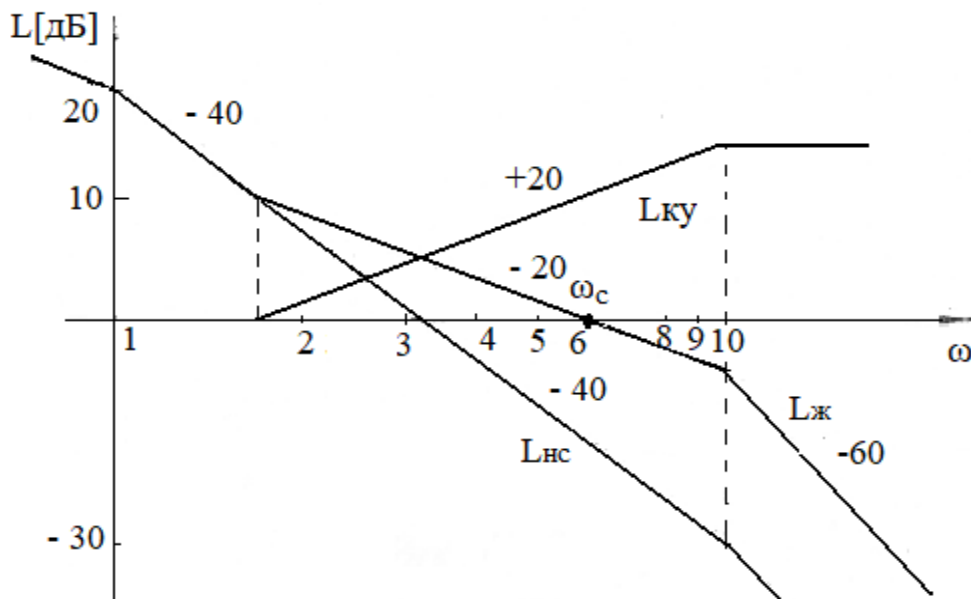
$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 1c^{-1}, \quad \omega_2 = \frac{1}{T_2} = 10c^{-1}.$$

Қажетті ЛАЖС,  $L_{ж}$  салу үшін кесу жиілігін табамыз  $\omega = 6 c^{-1}$ ,  $P_{max} = 1.2$ ,  $\Delta L = \pm 15дБ$ ,  $\Delta \varphi = 45^\circ$ .

Біз түзету құрылғысының ЛАЖС табамыз,  $L_{КУ} = L_{ж} - L_{НС}$ .

КУ іске асырудың беріліс функциясын және блок-сұлбасын анықтаймыз:

$$W_{КУ}(p) = \frac{1+T_{K1}p}{1+T_{K2}p} = \frac{1+0,6p}{1+0,1p}.$$



А2. сурет – Логорифмді жиілікті сипаттама

## 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. «Системы автоматического управления». Конспект лекций. - Алматы: АУЭС, 2014.
- 6 Сагитов П.И., Цыба Ю.А. Элементы теории автоматического управления. Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2006.

Юрий Александрович Цыба  
Жанар Жумакановна Тойгожинова  
Данна Максуткановна Чныбаева

## АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ТЕОРИЯСЫ

5B071800 - Электр энергетикасы мамандығының студенттеріне  
зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Редактор Ж. Н. Изтелеуова  
Стандартизация бойынша маман Н.Қ. Молдабекова

\_\_\_\_\_ басуға қол қойылды  
Таралымы 100 дана.  
Көлемі 2,8 оқу - бас. әд.

Пішіні 60x84 1/16  
№ 1 баспахана қағазы  
Тапсырыс 1500 тг. бағасы

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