

681.5
Н86

НҰРЖАУОВ А.

АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ ТЕОРИЯСЫ

Тәжірибелік сабақтар



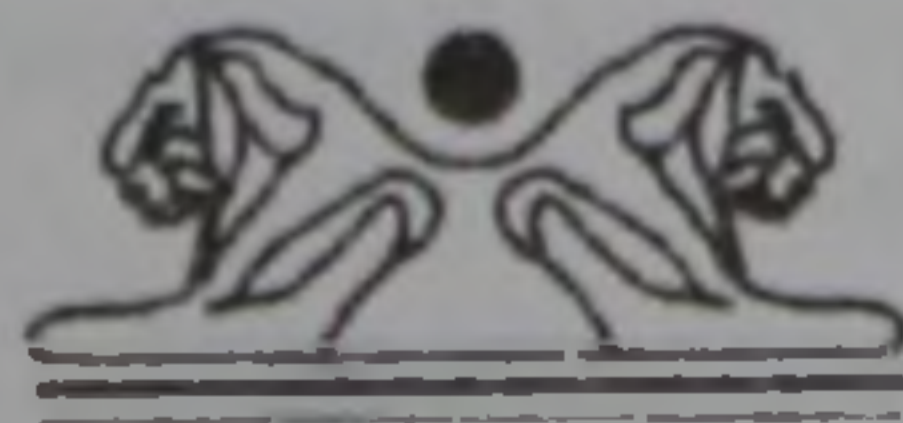
681,5
Н 86

НҰРЖАУОВ А.

АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ ТЕОРИЯСЫ

Тәжірибелік сабақтар

*5B071300 – Көлік, көлік техникасы және технологиялары және
5B080600 – Аграрлық техника және технология мамандықтары
бойынша жоғары оқу орындарының студенттеріне арналған оқу-
әдістемелік құралы ретінде ұсынылған*



З В Е Р О
Алматы 2016

ӘОЖ 681.5 (075.8)

КБЖ 32.965 я 73

Н 86

Пікір берушілер:

Әбішев Қ. – «С. Сейфуллин атындағы Қазак агротехникалық университеті» АҚ «Техникалық сервис» кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты.

Қойбағарова Т.Қ. – Павлодар мемлекеттік педагогика институтының «Информатика» кафедрасының доценті.

Мұстафин Ф.Х. – С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің «Механика және мұнай-газ ісі» кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты, профессор.

Н 86 Нұржауов А.

Автоматтық басқару жүйелері теориясы: тәжірибелік сабақтар: оқу-әдістемелік құралы / А. Нұржауов. – Алматы: Эверо, 2016 ж.– 132 бет.

ISBN 978-601-310-410-2

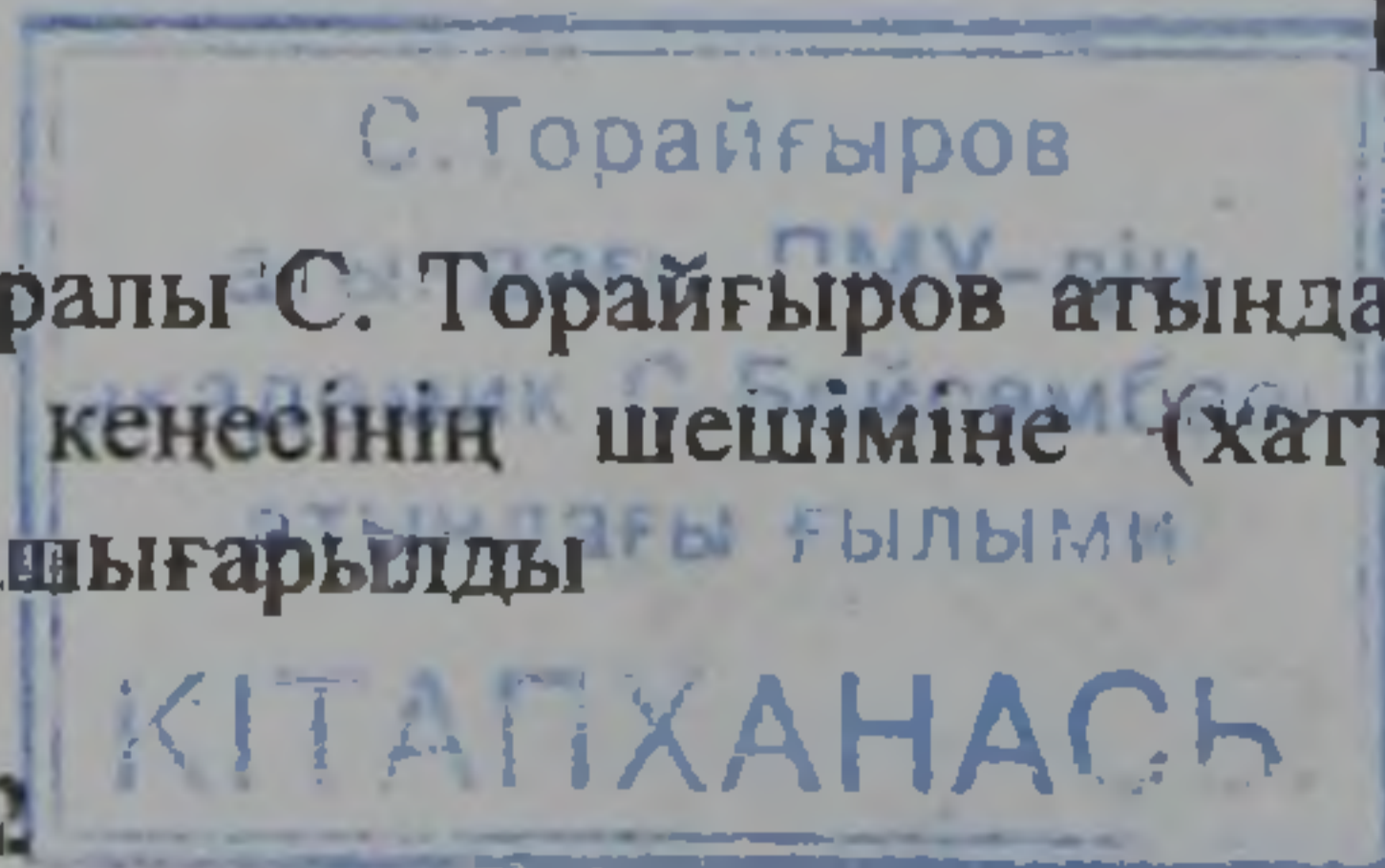
Оқу-әдістемелік құралында Автоматтық басқару жүйелері теориясындағы негізгі ұғымдар және мәселелер, атап айтқанда беріліс функциясы, автоматтық жүйелердің структуралық схемалары және оларды түрлендіру, жиілік сипаттамалары, өткінші процестер, динамикалық звенолар тендеулерінің коэффициенттері, автоматтық басқару жүйелерінің орнықтылығы т.б. туралы мәліметтер қарастырылған және оларды оқушылардың толығырақ игеріп алуына мүмкіндік беретін тәжірибелік сабақтар, тапсырмалар және тестілік сұрақтар берілген. Оқу-әдістемелік құралы «Көлік, көліктік техника және технологиялар», «Аграрлық техника және технология», «Автомобиль және трактор жасау», «Іштен жанатын қозғауыштар» мамандықтары бойынша оқитын жоғары оқу орындары студенттеріне, техникалық колледжі оқушыларына және аталған салалардың мамандарына арналған.

Ур 4733

ӘОЖ 681.5 (075.8)

КБЖ 32.965 я 73

Оқу-әдістемелік құралы С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті Ғылыми кеңесінің шешіміне (хаттама № 12, 2015-жылы мамырдың 27-і) сәйкес шығарылды



ISBN 978-601-310-410-2

© Нұржауов А., 2016

© Эверо, 2016

КІРІСПЕ

Автоматтық басқару жүйелерінің теориясы негіздерін оқып үйрену барысында автоматты жүйенің звеноларының және оның толығымен өзінің негізгі параметрлерін, реттелінуші немесе басқарылушы нысандардың статикалық және динамикалық қасиеттерін есептеу және зерттеу тәсілдерін тәжірибе жүзінде машықтану жолымен игеру қажет болады.

Оқу құралында автоматты басқару (реттеу) жүйелерінде (АБЖ (АРЖ)), көліктік техника құрылыстарында және оларды ғылыми зерттеу кезінде пайдаланылатын құралдардың, датчиктердің сипаттамаларын анықтап алуды, АБЖ-нің структуралық схемалары бойынша оның теңдеуін жазып шығарып, беріліс функциясын табуды, жиілік сипаттамаларды салып шығуды, дифференциалдық теңдеулердің коэффициенттерін анықтауды, АБЖ-нің орнықтылығын зерттеп, орнықтылық шекараларын тауып алуды, т.б. және теориялық материалдарды студенттердің игеріп алуына мүмкіндік беретін машықтану сабақтары енгізілген. Сонымен қатар оқу құралына енгізілген сабақтар, «Көлік, көліктік техника және технологиялар» мамандығы бойынша оқу процесінде қарастырылған көлеміне сәйкес, студенттерге автоматтық жүйелер және олардың элементтері туралы жалпы мағлұматтар алып, автоматтық реттеу теориясына тән болған кейбір мәселелерді есептеп, зерттеп шығуға машықтануына, сөйтіп дәрістік сабақтарда алған білім деңгейін одан әрі толықтыруларына мүмкіндік береді.

1 АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ МАҒЛҰМАТТАР

1.1 Автоматтық басқару жүйелерінің түрлері

Техникада орын алатын физикалық процестерді басқару үшін әртүрлі функцияларды орындайтын көптеген автоматты жүйелер қолданылады. Бұл жүйелер құрылысы бойынша әртүрлі болған, бірі бірімен өзара әрекетте болатын механикалық, электрлік, гидравликалық, т. б. звенолардан (құрылымдардан) тұратын күрделі комплекстер болып табылады.

Автоматтық жүйелердің мысалдары ретінде төмендегілерді көрсетуге болады:

жарық жағу автоматы. Бұл жүйеде жарықтың күшін сезетін фотоэлемент және фотоэлементтен берілген сигналға сәйкес жарық көзін іске қосатын құрылым болуы керек;

монеталардың жиынтығын тастаған кезде белгілі бір затты (билетті, чекті, шоколадты,...) шығарып беретін автомат;

қозғауыштың (білігінің) айналыс жылдамдығын реттеуіш. Мысалы, бұл реттеуіш сыртқы әсердің өзгеруіне қарамастан қозғауыштың айналыс жылдамдығын бірқалыпты ұстап тұрады;

ұшақтың ұшу бағытын (курсын), биіктігін және бойлық өсіне қатысты қисаюын (кренін) ұшқыштың жәрдемсіз реттеуші автопилот;

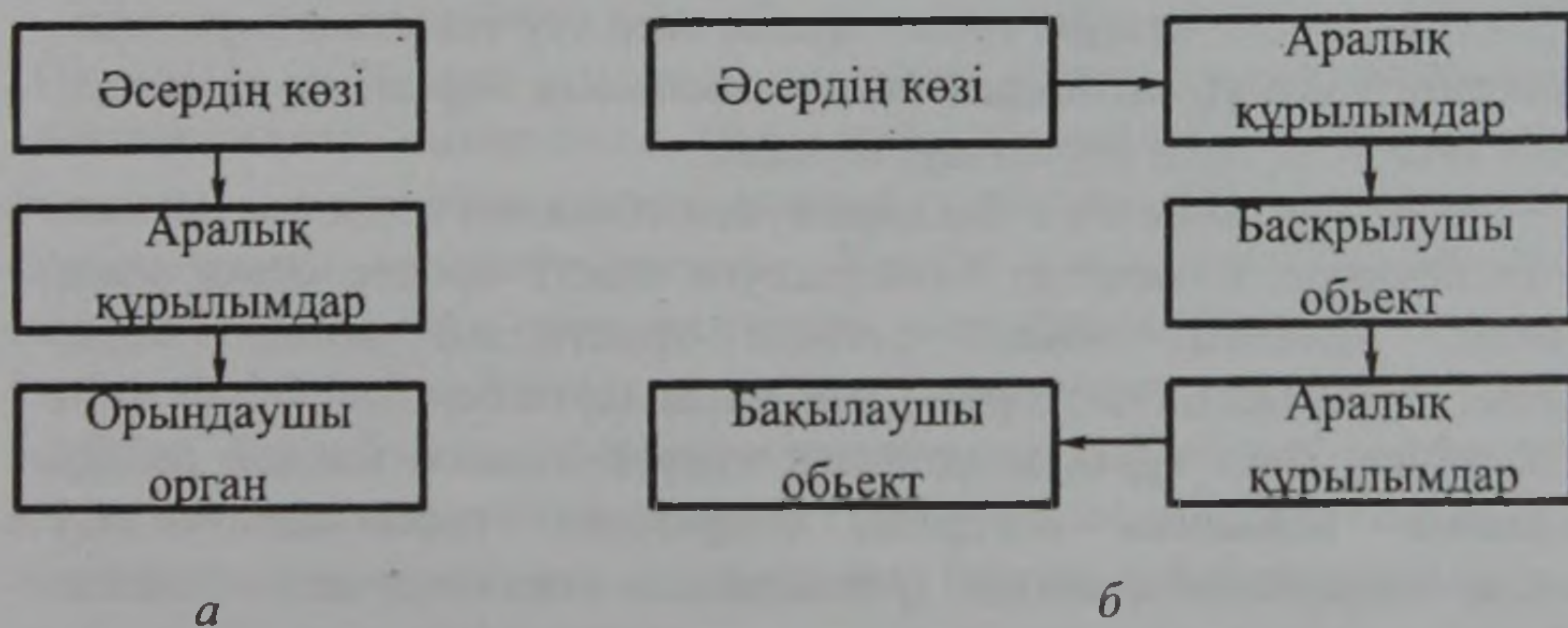
бақылаушы жүйе және т.б.

Осы аталған автоматтық жүйелерді екі үлкен класқа бөлуге болады. Оның біріншісі – операцияны бір рет қана немесе бірнеше рет орындайтын жүйелер. Бұл класқа, мысалы, жарық жағу автоматы жатады. Екіншісі – басқару процесінде қандай да бір физикалық шамаларды (қозғалыстағы объектінің (нысанның) координатасын, қозғалыс жылдамдығын, электр кернеуін, температураны, т. б.) ұзақ уақыт бойында қажетті түрде өзгертіп (немесе бірқалыпта ұстап) отыратын жүйелер. Бұл класқа, мысалы, автопилот, қозғауыш жылдамдығын реттеуіш, т. б. жатады. Біз бұл кітапта екінші класқа жататын автоматты жүйелерді қарастырамыз.

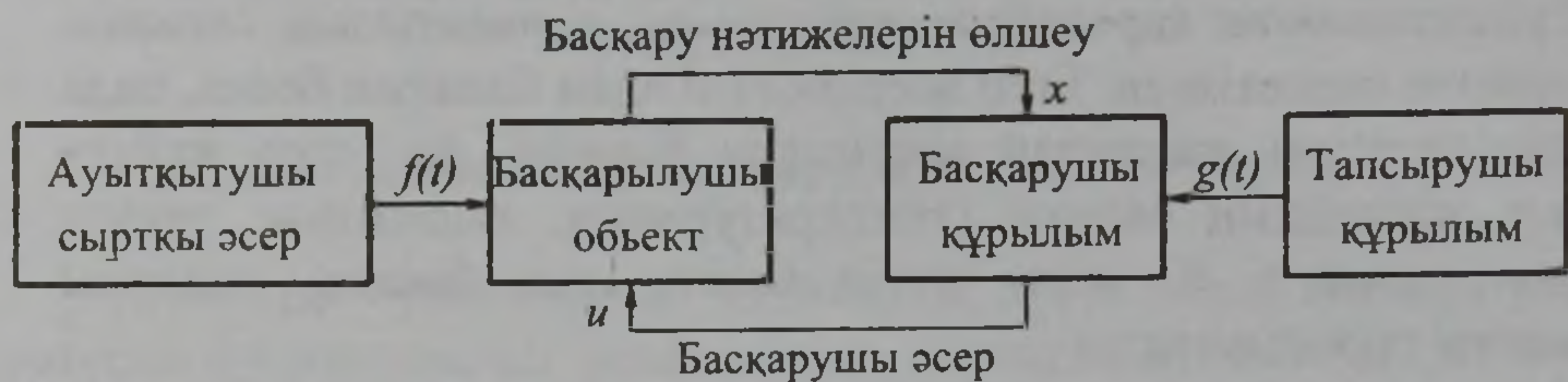
Екінші класқа жататын жүйелер өзі тарапынан *тұйықталмаған* (*незамкнутая*) және *тұйықталған* (*замкнутая*) автоматтық жүйелер болып екіге бөлінеді.

Тұйықталмаған қарапайым жүйенің екі вариантының схемасы 1.1- суретте көрсетілген. Егер әсердің көзі адам болатын болса, онда басқару схемасы жартылай автоматты болады. Ал, егер жүйеге сыртқы жағдайдың өзгеруі (температураның, қысымның, электр тогының және т. б.) әсер ететін болса, онда басқару схемасы автоматты түріне жатады.

Тұйықталмаған автоматтық жүйенің жұмыс процесі басқарылушы объектіге тиетін әсердің нәтижесіне тікелей тәуелді емес, яғни мұндай жүйеде *кері байланыс (обратная связь)* болмайды. Егер тұйықталмаған жүйенің бақылаушы объектісі аралық құрылымдардан оған келіп түскен басқарылушы объектідегі процесті сипаттайтын шамаларды өлшеп және бұл шамалар басқарылушы объектіге қажетті шамаларынан қаншалықты ажыралатынын анықтағаннан кейін сараптап, өзінің тарапынан осы айырмашылықты жоғалту үшін жүйенің кірісіне кері байланыс арқылы әсер етіп, қызмет жасаса, онда жүйе тұйықталған автоматты жүйеге айналады (1.2- сурет). Құрамында кері байланысы барлығы бұл жүйенің негізгі ерекшелігі болып табылады. Тұйықталған автоматты жүйенің жұмыс процесі тұйықталмағанның жұмысынан түпкілікті өзгеше болады. Тұйықталған автоматты жүйеде оның барлық звеноларының жұмысы бірі біріне өзара тәуелді болады.



1.1 – сурет

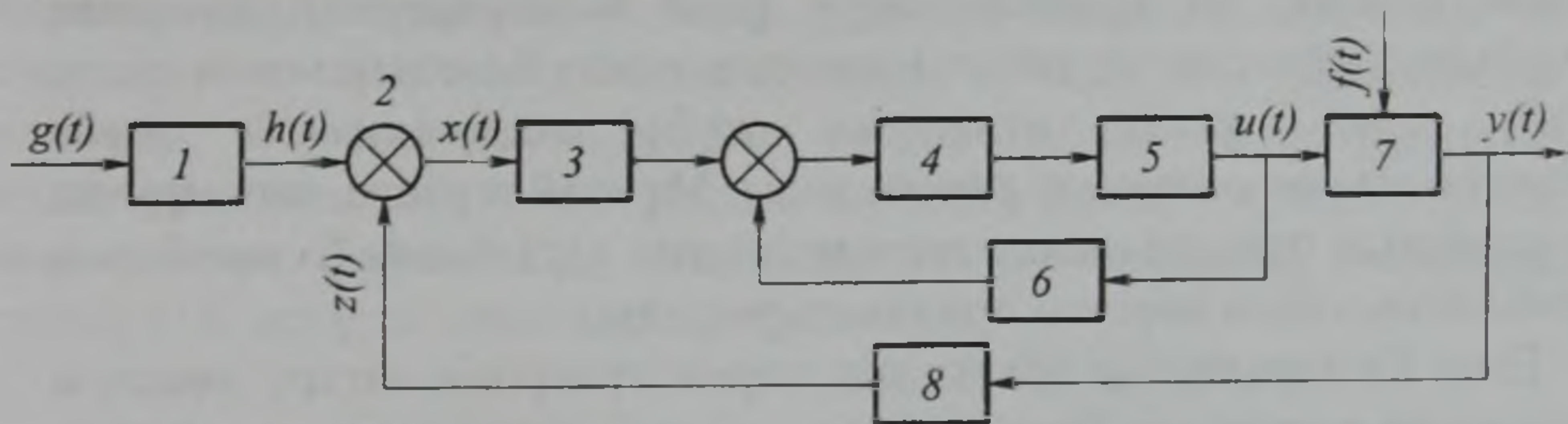


1.2-сурет

Автоматтық жүйенің негізгі терминдерімен [1,2,3,7,9,10] танысу үшін оның жалпы схемасын қарастырып өтейік (1.3-сурет). Суретте көрсетілген автоматты жүйе 1 тапсырушы құрылымынан, 2 сезгіш элементінен, 3 өлшеуші құрылымынан, 4 өзгертіп, күшейтушіден, 5 орындаушы құрылымынан, 7 басқарылушы объектісінен, 6 қондырғысы бар жергілікті және 8 қондырғысы бар негізгі кері байланыстарынан тұрады. Автоматтық жүйенің осы аталған звеноларының өзара байланысы мен әрекеттерін көрнекі түрде көрсету үшін *структуралық схемалар* қолданылады. Структуралық схема жүйе объектілерінің элементар звеноларының және олардың өздерінің арасындағы байланыстардың жиынтығы болып табылады. Структуралық схемада звенолар төртбұрыш түрінде, ал, олардың арасындағы байланыстар стрелкасы бар сызықтармен бейнеленеді. Стрелкалардың бағыттары звенолардың әсер ету бағытын көрсетеді. Схемадағы төртбұрыштардың ішінде звеноның беріліс функциясы, немесе оның сан мәні көрсетілуі мүмкін.

Автоматтық жүйенің 7 басқарылушы объектісі қысқаша *объект* деп те аталады. Объектіде басқарылуға тиісті процес орын алып отырады. Мысалы, объект ретінде тракторды, автомобильді, ұшақты, қозғауышты (моторды), ракетаны алуға болады. Объектінің басқарылуға, яғни тұрақты ұсталып тұруға, немесе қандай да бір программа бойынша өзгертіп отырылуға тағайындалған $u(t)$ шамасы *басқарылушы шама (управляемая величина)* деп аталады. Мысалы, көліктік машинаның қозғалысының бағыты, қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығы, т. б. басқарылушы шама ретінде қабылдана алынады. Басқарылушы шаманың тұрақты немесе қажетті түрде өзгертін сан мәні тең болып отыратын $g(t)$ шамасы *тапсырушы әсер (задающее воздействие)* деп аталады. Басқарылушы шаманың тапсырылған және шын мәндерінің

айырмасы жүйенің қатесі (ошибка) немесе келіспеушілігі (рассогласование) деп аталады. Басқарылушы шаманың қолайсыз өзгеруін тудыратын $f(t)$ әсері ауытқытушы әсер (возмущающее воздействие), немесе ауытқыту (возмущение) (желдің кенет соғуы, қоршаған ортаның температурасының өзгеруі және т. б.) деп аталады. Басқару мақсатын орындауға арналған құрылым басқарушы құрылым (управляющее устройство) деп аталады. 1.3-суретте бұл құрылымға басқарылушы шаманың шын мәнін өлшейтін 8 өлшеуші құрылымы кіреді. Өлшеудің нәтижесі $z(t)$ шамасы болып табылады. 1 тапсырушы құрылымы $g(t)$ тапсырушы әсерін табиғаты (өлшем бірлігі) $z(t)$ табиғатымен бірдей болған $h(t)$ шамасына айналдырып, өзгертуі керек.



1.3-сурет

2 салыстырушы құрылымы немесе сезгіш элементі $x(t) = h(t) - z(t)$ алу амалын орындап, жүйенің қатесін, яғни келіспеушілігін, анықтайды. Одан кейін 4 күшейтіп-түрлендіруші (усилительно-преобразующее) және 5 атқарушы (исполнительное) құрылымдары орналастырылады. Кейбір жағдайларда 3 қосалқы өлшеуші құрылымы, тіпті жергілікті кері байланысты қамтамасыз ететін 6 звеносы, қондырылады. Басқарушы құрылым өзінің басқару алгоритміне (алгоритм управления) сәйкес $u(t)$ басқарушы әсерін (управляющее воздействие) құрастырады. Ал, $u(t)$ басқарушы әсері $x(t)$ келіспеушілігін, оның пайда болуы себебіне қарамастан, жойып жіберуге бағытталған.

Автоматтық жүйелердің шешетін көп тараған мәселелері стабилизациялау (тұрақтандыру), тағайындалып берілген программаны (заданная программа) орындау және қадағалау (слежение) болып табылады. Басқарылушы шаманың ауытқыту

әсерінің салдарынан өзгеруін жоққа шығарып, тұрақты ұстап тұратын жүйелерді *стабилизациялаушы жүйелер (стабилизирующие системы)* деп атайды. Мұндай жүйелердің басқарушы құрылымын кейде *реттеуші (регулятор)*, ал, жүйелердің өздерін – *автоматтық реттеуші жүйелер (системы автоматического регулирования)* деп те атайды.

Басқарылушы шаманы алдын ала берілген программа бойынша өзгертіп отыратын жүйе *программалы жүйе (программная система)* деп аталады.

Қалай болса, солай, өз бетімен өзгеріп отыратын тапсырушы әсерді қадағалап, қайталап отыратын жүйелерді *қадағалаушы жүйелер (следающие системы)* деп атайды.

Жоғарыда аталған жүйелерден басқа, басқарылушы объектінің жұмыс режимі ең қолайлы болу үшін басқарылушы шаманың қарастырылып отырған уақыт мезетінде қажет болатын мәнін іздеп, тауып алып, ұстап отыратын жүйе *экстремальды жүйе (экстремальная система)* деп аталады. Мұндай жүйеде, тапсырушы құрылымның орнына *автоматтық іздеуші құрылымы (устройство автоматического поиска)* орналастырылады.

Егер басқарылушы объектінің параметрлерінің өзгеру заңдары толығымен алдын ала белгілі болса, онда басқарушы құрылымның параметрлерінің қашан және қалай өзгеруін алдын ала есептеп, алгоритмді құрып, программалы жүйені қолдануға болады. Егер, басқарылушы объектінің кейбір параметрлерінің өзгеру заңы белгісіз болып, осындай программаны алдын ала құрып қою мүмкіндігі жоқ болса, онда *өздігінен бапталатын жүйе (самонастраивающаяся система)* құрастыру қолға алынады.

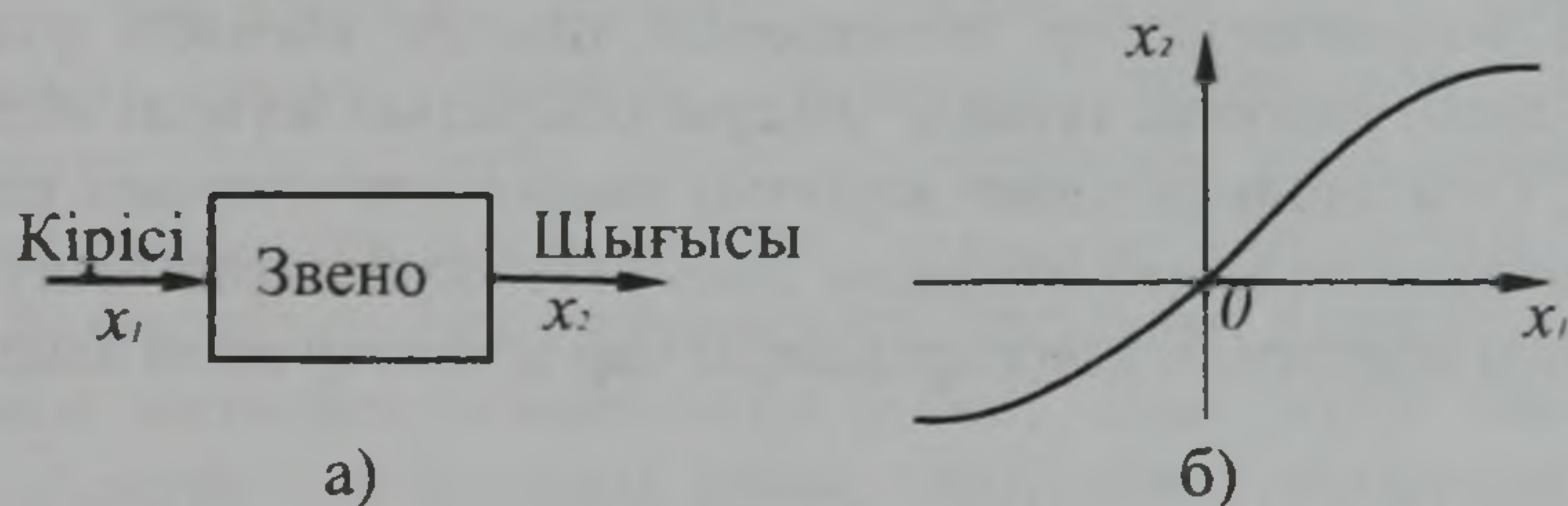
Экстремальды және өздігінен бапталатын жүйелер *адаптивтік жүйелер (адаптивные системы)* деп аталатын топқа жатады.

Схемасы 1.3- суретінде көрсетілген жүйеде тек қана бір басқарылатын шама және бір басқарушы әсер бар. Мұндай жүйелерді *бірөлшемді (одномерные)* деп атайды. Олармен қатар *байланысқан (связанные)*, немесе *көпөлшемді (многомерные)* деп аталатын басқару жүйелері де бар. Көпөлшемді жүйелерде *бірнеше* басқарылушы шама, немесе *бір* объектіде бір комплексте байланысқан *бірнеше* басқарушы құрылым, ия болмаса бірі бірімен айқасып байланысқан *бірнеше* объектілер мен *бірнеше* басқарылушы құрылымдар болады.

1.2 Автоматтық басқару жүйелерінің ішкі динамикалық процестеріне қарап жіктелуі

Әрбір автоматтық жүйе әртүрлі байланысқан бірнеше блоктардан немесе звенолардан тұрады (1.3-суретті қара). Әрбір звеноның кірісі мен шығысы бар (1.4-сурет). Звенодан звеноға ақпараттың берілу бағыты стрелкамен көрсетіледі. Жалпы жағдайда бір звеноның кірісі мен шығысы бірнеше болуы мүмкін. Жалпы кірістегі x_1 және шығыстағы x_2 шамаларының табиғаттары кез келген болады (ток, күші, кернеу, температура, т. б.)

Автоматтық жүйенің жұмысы кезінде x_1 және x_2 шамалары уақыт ішінде өзгеріп отырады. Кірген сигналдың звено ішінде өзгеруінің динамикасы қандай да бір теңдеумен (не жазылып алынған қисықсызықпен) бейнеленеді. Бұл теңдеу шығыстағы x_2 және кірістегі x_1 айнымалы шамалардың арасындағы байланысты көрсетеді. Барлық звенолардың теңдеулерінен құрастырылған теңдеулер жүйесі бүкіл автоматтық жүйенің басқару процестерінің динамикасын бейнелейді. Звенолардың *статикалық, өткінші, жиілік*, т. б. әртүрлі сипаттамалары болады.



1.4- сурет

Ішкі динамикалық процестердің сипатына қарап автоматтық жүйелерді жіктеудің негізгі белгілері төмендегілер болып табылады [1,2,3,6,7,9,10,13,22,24,25,26]:

динамикалық процестердің уақыт ішінде өзгеруінің үздіксіздігі немесе дискреттілігі (үздіктілігі);

басқару процестерінің динамикасын бейнелейтін теңдеулердің сызықтылығы немесе сызықсыздығы.

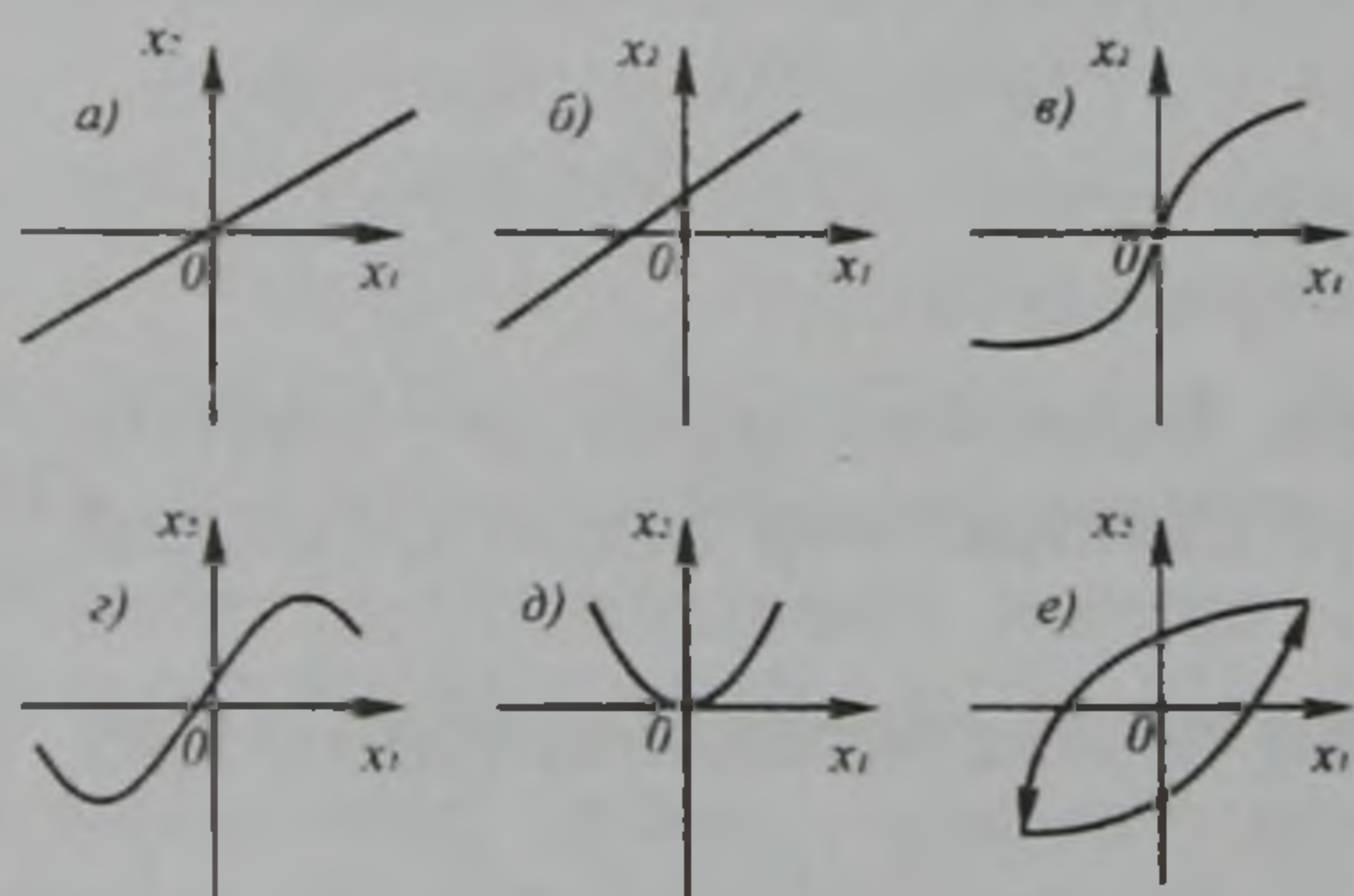
Бірінші белгі бойынша автоматтық жүйелер *үздіксіз әрекетті*, *дискретті әрекетті* (импульсті және цифралы) және *релелі әрекетті* болып бөлінеді.

Екінші белгі бойынша релелі әрекетті жүйеден басқаларының әрқайсысы *сызықты (линейная)* және *сызықсыз (нелинейная)* жүйелер болып бөлінеді. Релелі әрекетті жүйе толығымен сызықсыз жүйелер тобына жатады.

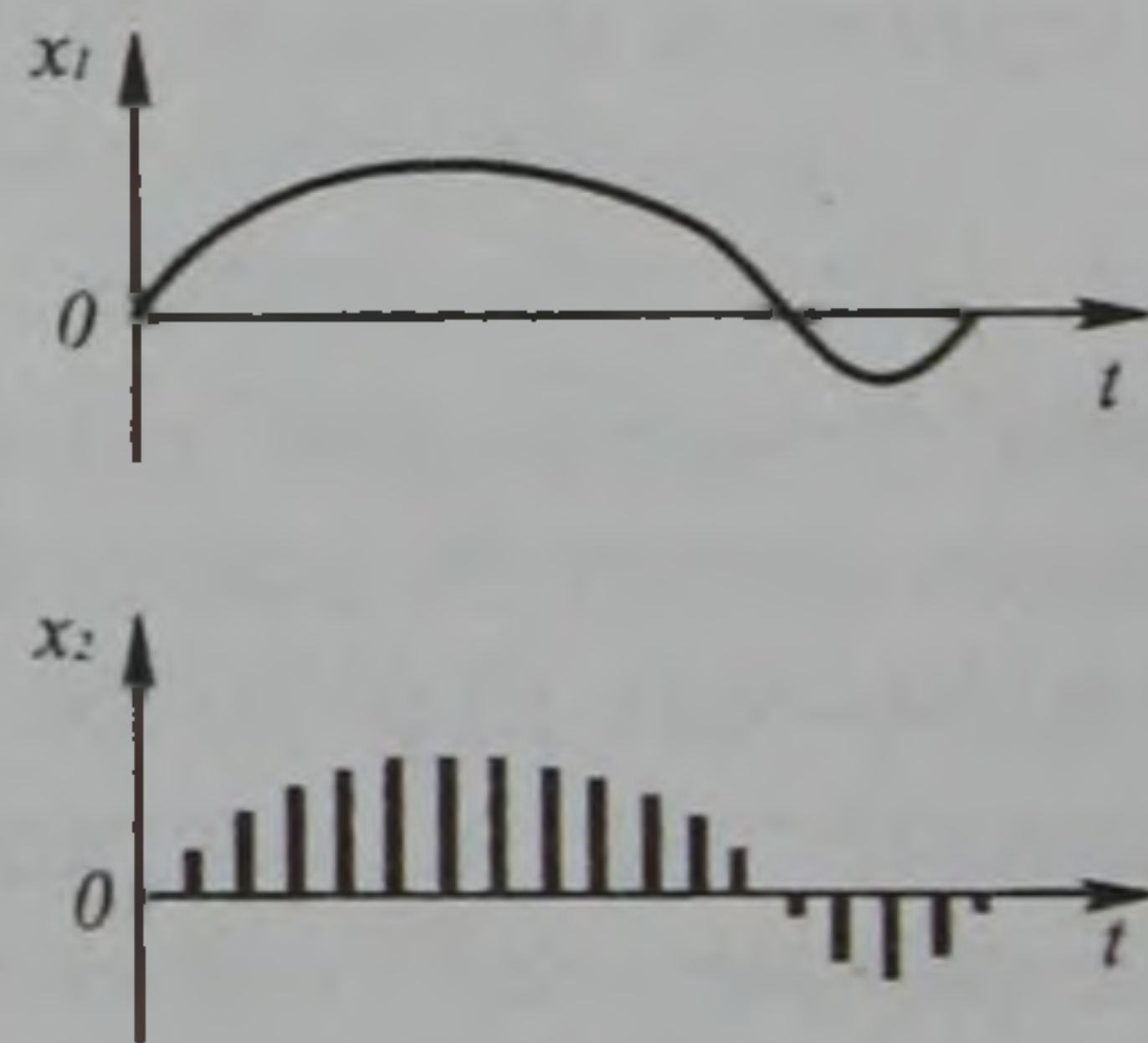
Бірінші кластағы автоматтық жүйелердің анықтамаларын қарастырып алайық.

Үздіксіз әрекетті жүйе немесе *үздіксіз жүйе* деп кіріс шамасының уақыт бойынша үздіксіз өзгеруіне шығыс шамасының үздіксіз өзгеруі сәйкес келіп отыратын жүйені айтамыз. Мұндай жүйелерде звенолар динамикасының тендеулеріне (немесе сипаттамаларына), кірістегі шаманың өзгеру заңына байланысты шығыстағы шаманың өзгеру заңы қалай болса, солай болуы мүмкін. Автоматтық жүйе толығымен үздіксіз болуы үшін оның барлық звеноларының сипаттамалары үздіксіз болуы керектігі ең негізгі шарт болып табылады (1.5-сурет).

Дискретті әрекетті жүйе немесе *дискретті жүйе* деп кіріс шамасы уақыт бойынша үздіксіз өзгеріп отырғанда автоматтық жүйенің ең болмағанда бір звеносының шығыс шамасы үздіксіз емес, әлсін-әлсін импульс түрінде өзгеріп отыратын жүйені айтамыз (1.6-сурет). Осы аталған звено жүйенің импульсті элементі немесе импульсті модуляторы деп аталады. Дискретті жүйелерге импульсті және цифралы есептеуші қондырғылары бар жүйелер жата алады.



1.5-сурет



1.6-сурет

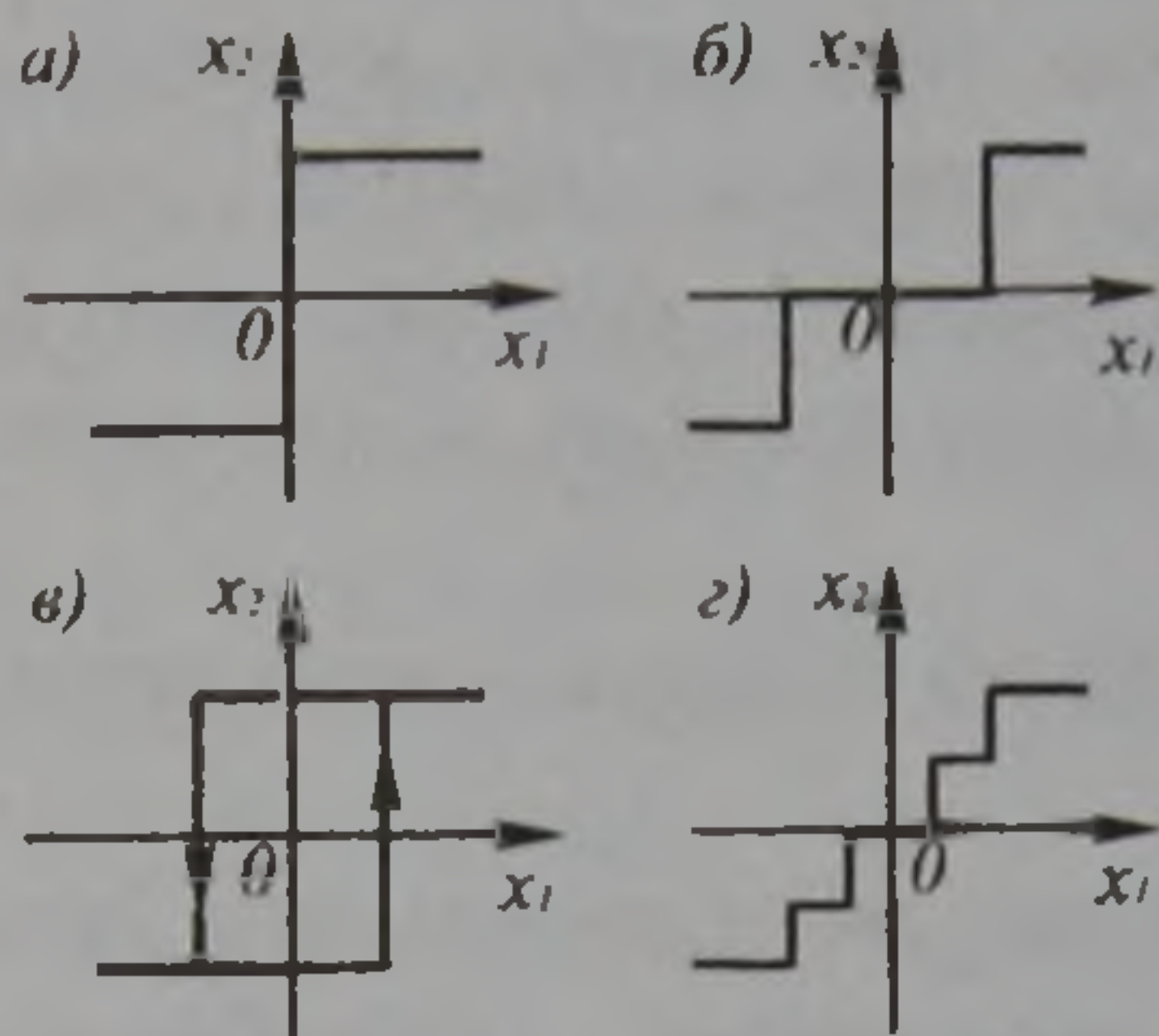
Релелі әрекетті жүйе немесе *релелі жүйе* деп кіріс шамасы уақыт бойынша үздіксіз өзгеріп отырғанда автоматтық жүйенің ең болмағанда бір звеносының шығыс шамасы кейбір уақыт мезеттерінде (процестің кейбір нүктелерінде) секіріп, өзгеріп отыратын жүйені айтамыз (1.7-сурет). Осы аталған звено релелі звено деп аталады.

Енді автоматтық жүйелердің екінші белгі бойынша жіктелуінің кейбір мәселелерін қарастырайық.

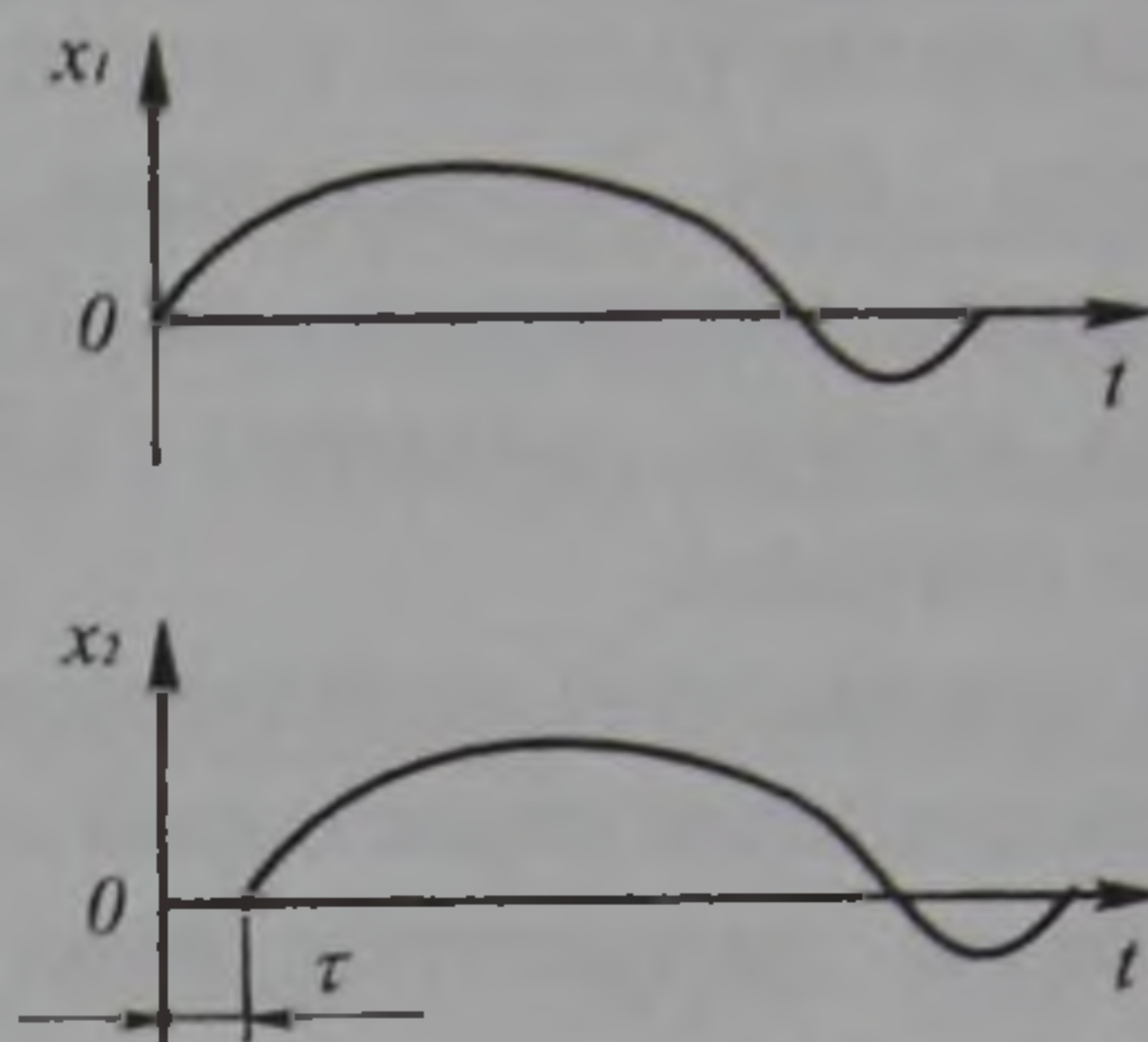
Сызықты автоматтық жүйе деп барлық звеноларындағы орын алатын процестер сызықты теңдеулермен (алгебралық, дифференциалдық және т.б.) бейнеленіп, жазылатын болған жүйені айтамыз. Мұндай звенолардың статикалық сипаттамалары сызықты, яғни түзу сызық түрінде болады (1.5-сурет, *a* және *b* қара). Егер аталған теңдеулер кәдімгі сызықты дифференциалды теңдеулер болса, онда жүйе *кәдімгі сызықты жүйе* деп аталады.

Егер сызықты автоматтық жүйенің қандай да бір звеносының динамикасының теңдеуіндегі коэффициенттерінің біреуі немесе бірнешеуі уақыт бойынша айнымалы болып келсе, онда жүйе *айнымалы параметрлері бар сызықты жүйе* болып шығады. Егер сызықты автоматтық жүйенің қандай да бір звеносының динамикасы жеке туынды сызықты теңдеуімен жазылып бейнеленген болса, онда жүйе *үлестірілген параметрлері бар сызықты жүйе* деп аталады. Егер сызықты автоматтық жүйенің қандай да бір звеносының динамикасы аргументі кешіккен сызықты теңдеумен жазылып бейнеленген болса, онда жүйе *кешігуі бар сызықты жүйе* деп аталады (звено сигналды t уақытына кешігіп шығарып беріп отырады.) (1.8-сурет).

Егер автоматтық жүйенің ең болмағанда бір звеносының статикалық сипаттамасында, немесе динамикасының теңдеуінде сызықтылық бұзылған болса (айнымалы шамалардың көбейтіндісі, түбірі, квадраты немесе одан да жоғары дәрежелері, айнымалы шамалар арасындағы сызықсыз тәуелділіктер және т.б. орын алса), онда мұндай жүйе *сызықсыз автоматтық жүйе* деп аталады. Мысалы, сызықсыз автоматтық жүйеге 1,5-суретіндегі *v...e* тәрізді звенолары бар, барлық релелі және кейбір звеноларының сипаттамаларының сызықтығы бұзылған басқа да жүйелер жатады.



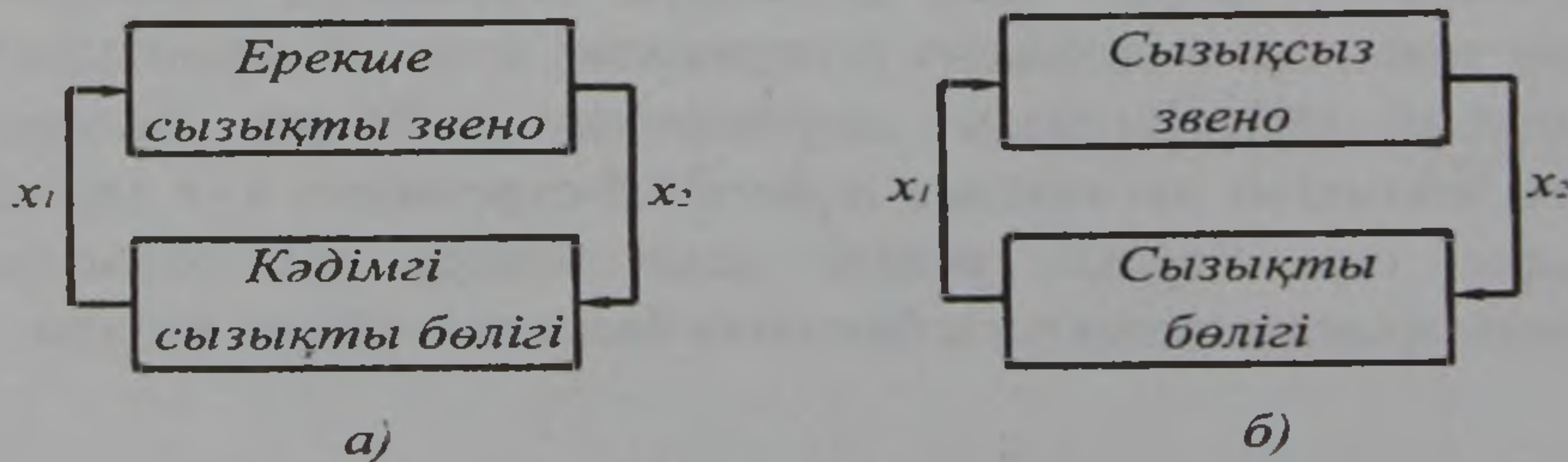
1.7 – сурет



1.8 – сурет

Қазіргі кезде сызықты және сызықты дискретті автоматтық жүйелер үшін теориясы және оларды зерттеуде пайдаланылатын қолданбалы әдістері біршама толық жазылып шыққан. Сондықтан, мүмкіндігі болғанша, автоматтық жүйелерді есептеу, синтездеу мәселелерінде аталған теория мен қолданбалы әдістерді пайдалануға тырысқан жөн болады. Әдетте автоматтық жүйенің барлық звеноларының теңдеулерін кәдімгі сызықты теңдеулер түріне келтіруге тырысады. Мұндай әрекет *теңдеулерді сызықтандыру* деп аталады.

Ылажсыз жағдайларда бір немесе бірнеше звеноларының теңдеулерінің сызықсыздығы қасиеттерін бөлек ескеру керек болып қалады. Мұндай жағдайда бүкіл жүйе біріншісінде сызықты звенолар, екіншісінде сызықсыз звенолар топталған екі блокқа бөлініп қарастырылады (1.9-сурет). Бірақ бұл, жүйелерді жобалау кезінде тек сызықты автоматтық жүйелерді ғана жасап шығаруға тырысу деген сөз емес. Өйткені, сызықты автоматтық жүйелердің мүмкіншіліктері шектелген болады және олар барлық талаптарды қанағаттандыра алмайды.

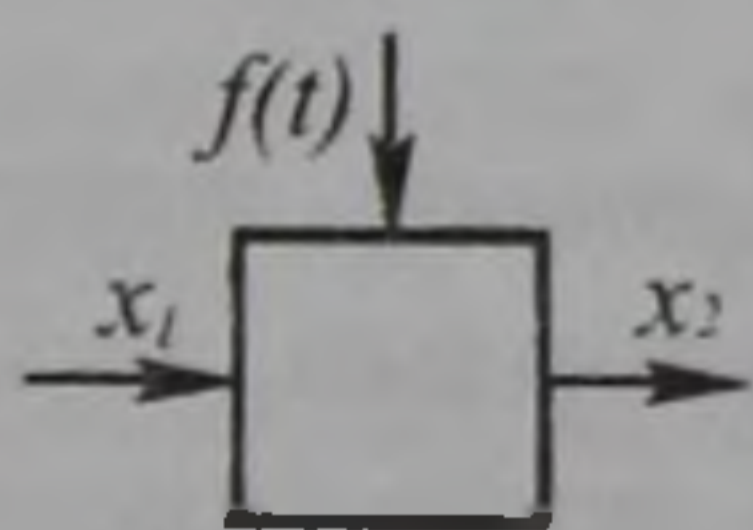


1.9-сурет

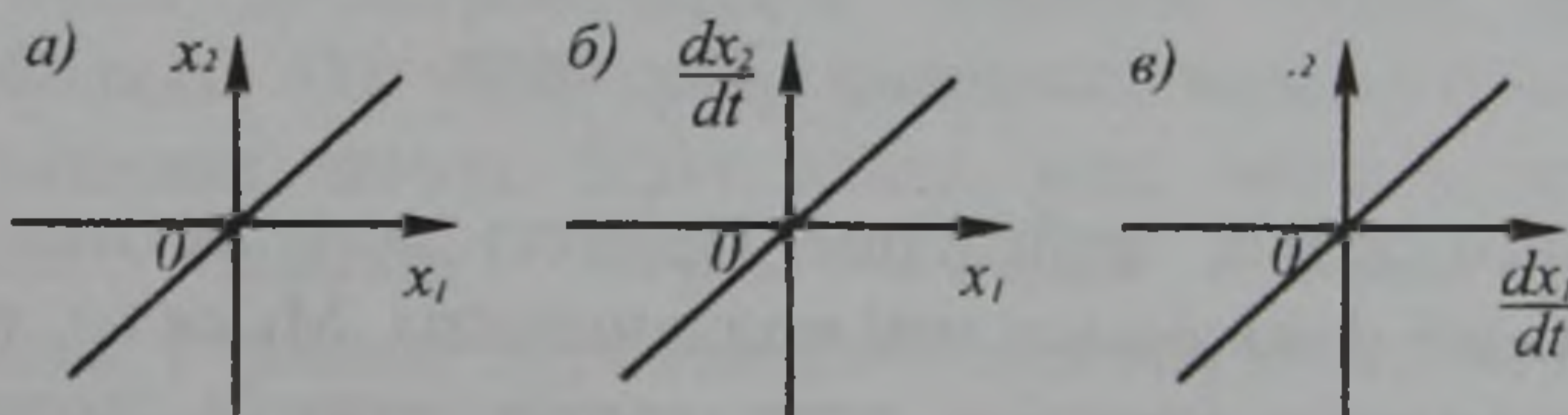
2 АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ЗВЕНОВАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

Жоғарыда біз автоматтық жүйелер ішіндегі процестерінің физикалық табиғатына, құрылыстарына, күрделілігіне емес, өзгеру сипатына және оларды бейнелейтін дифференциалдық теңдеулеріне қарап жіктелетін *динамикалық звенолар* деп аталатын құрылымдардан тұрады дедік. Автоматтық басқару теориясында түрі бірдей болған дифференциалдық теңдеулермен бейнеленген әртүрлі құрылымдар (механикалық, гидравликалық, электрлік, т.б.) бір типтегі звенолар болып табылады. Олардың құрылысы, жұмыс істеу принципі, кинематикасы, динамикалық және математикалық модельдері арнайы оқулықтар мен оқу құралдарында баяндалған. Біз бұл жерде оларды автоматтық басқару теориясы тұғырында қарастырамыз.

Звеноның кірісіндегі шаманы x_1 деп, ал, шығысындағыны x_2 деп белгілейік (2.1–сурет). Бұл жерде x_1 звенолардың өзара ішкі әсері болып табылады. Сонымен қатар сырттан $f(t)$ ауытқытушы шамасы да әсер етуі мүмкін. Жоғарыда айтқандай, зерттеу барысында автоматтық жүйенің звеноларының теңдеулері сызықтандырылған болсын. Сонда кез келген сызықтандырылған звеноның кірісіндегі сигналдың үздіксіз жатық өзгеруі кезіндегі оның шығысындағы сигналдың өзгеру сипаты түзу сызық түрінде болып шығады (2.2–сурет). Динамикалық звеноның сигналдарының арасындағы осындай тәуелділік *статикалық сипаттамасы* деп аталады.



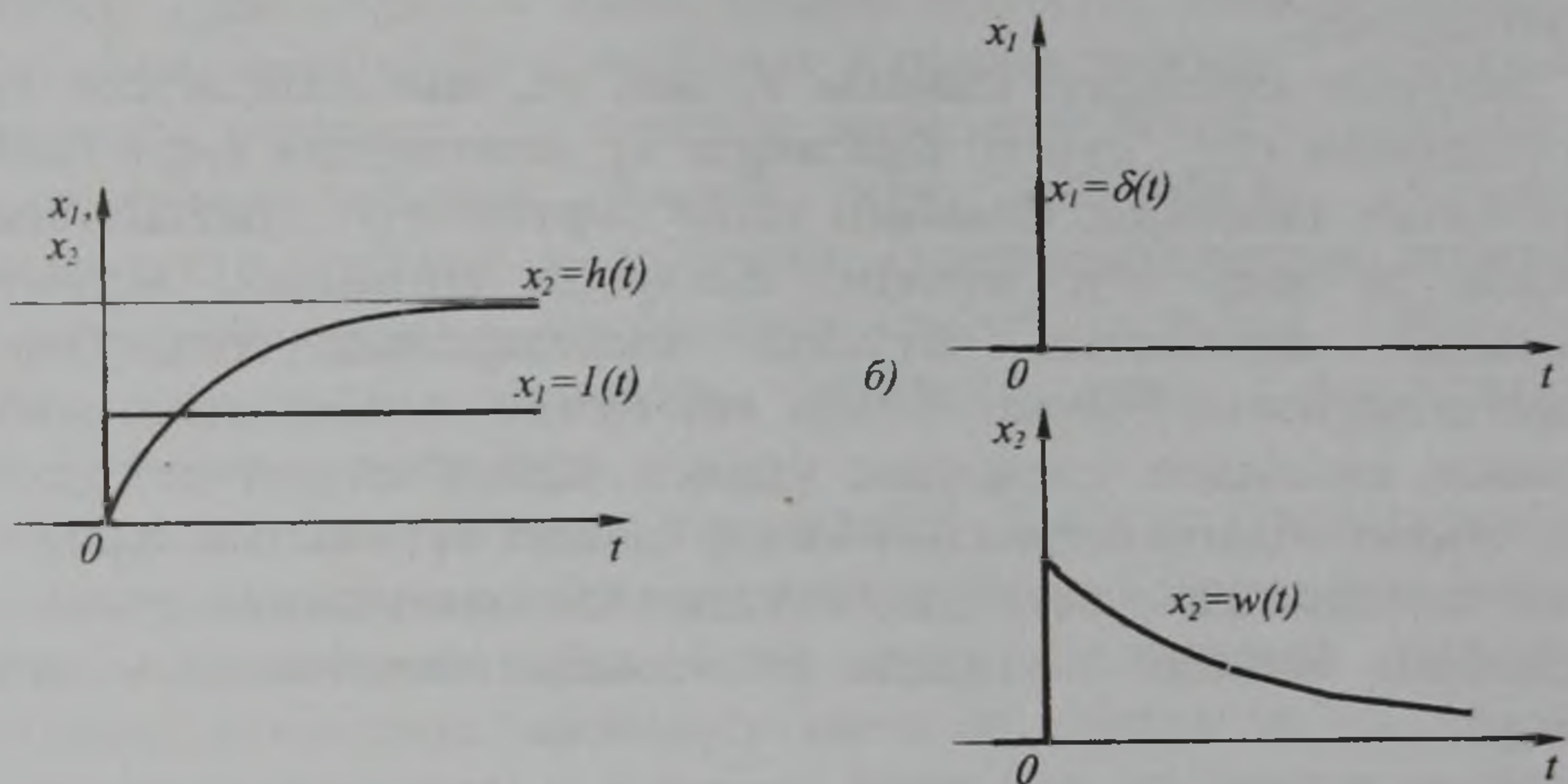
2.1–сурет



2.2–сурет

Динамикалық звеноның кірісіндегі сигналдың өзгеру сипаты әртүрлі болуы мүмкін. Динамикалық звеноның қасиеттері, оның басқа сипаттамаларымен қатар, *өткінші функциясы* (немесе *өткінші сипаттамасы*) және *салмақ функциясы* деп аталатын сипаттамалары арқылы анықталады.

Өткінші функция $h(t)$, немесе өткінші сипаттама, динамикалық звеноның кірісіне шамасы бірге тең болған $x_1(t) = 1(t)$ сатылы бірлік функциясы түріндегі сигнал секіріп әсер еткен кездегі, звеноның шығысындағы өткінші процесті бейнелейді (2.3-сурет). Звеноға мұндай әсер етуі уақыт $t < 0$ болғанда звеноның кірісіндегі сатылы бірлік функциясы $x_1 = 0$, ал, $t > 0$ уақытында $x_1 = 1$ болатынын көрсетеді. Сонымен қатар, звеноның кірісіндегі сигналы мен бірліктің өлшемдері бірдей болады деп қабылданады. Егер кірістегі әсер бірлік функциясы болмай, яғни $x_1 = N \cdot 1(t)$ болса, онда шығыстағы шама $x_2 = Nh(t)$. Қандай да бір $x(t)$ уақыт функциясын $1(t)$ бірлік функциясына көбейту $x(t)$ функциясының тек $t \geq 0$ болғанда ғана орын алатынын, ал, $t < 0$ болғанда, ол нөлге айналып кететінін көрсетеді.



2.3 – сурет

Автоматтық жүйелерде кірістегі әсер ретінде *сатылы және импульсті функциялар* жиі қолданылады. Мысалы, трактордың, жүк автомобилінің ілмегіне әсер ететін күштің, электр жүйесіндегі кернеудің, қозғауыш білігінің моментінің, т.б. кенеттен секіріп, немесе сокқы түрінде өзгеруін осы функциялар түрінде қарастыруға болады.

Динамикалық звеноның кірісіне *импульстік бірлік функциясы* (басқаша айтқанда $\delta(t)$ *дельта функциясы*) түріндегі сигнал әсер еткен кезде звеноның шығысындағы өткінші процесті $w(t)$ *салмақ функциясы* бейнелейді (2.3,б-суретті қара). Импульстік бірлік

функциясы, немесе $\delta(t)$ дельта функциясы, бірлік функциясының туындысы болып табылады, яғни $\delta(t) = 1'(t)$ және оның өлшемі c^{-1} . Дельта функциясы әруақыт бірлік ауданға ие, яғни

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1. \quad (2.1)$$

Егер кірістегі әсер импульстік бірлік функциясы болмай, яғни, мысалы, $x_1 = G \cdot \delta(t)$ болса, онда шығыстағы шама $x_2 = Gw(t)$ болып шығады.

Салмақ функциясы өткінші функцияның уақыт бойынша алынған дифференциалына тең:

$$w(t) = \frac{dh(t)}{dt}. \quad (2.2)$$

Динамикалық звенолар статикалық сипаттамаларынан басқа беріліс функцияларымен және өткінші процестерінің динамикалық сипаттамаларымен бейнеленеді.

2.1 Автоматтық басқару жүйесінің беріліс функциясы

Автоматтық жүйе құрылысында басқа звенолармен қатар негізінен басқарылушы объект және басқарушы құрылым деп аталатын екі динамикалық звено міндетті түрде болуы керек (1.2-суретті қара). Жүйенің барлық звеноларының теңдеуі белгілі болған жағдайда ғана оның дифференциалдық теңдеуін толық құрып шығару мүмкін болады. Ол үшін әрбір звеноның жұмыс процесін анықтайтын физикалық заңын біліп алып, оны математикалық өрнектеп жазып шығару керек. Содан кейін олар сызықтандырылады. Осының нәтижесінде қарастырылып отырған объектінің дифференциалдық теңдеуі сызықты дифференциалдық теңдеу түріне енеді.

Осындай дифференциалдық теңдеудің өзін басқаша операторлық түрде жазуға болады. Ол үшін $p = \frac{d}{dt}$ операторы енгізіледі. Сонда теңдеулерде кездесетін кейбір математикалық өрнектер символ түрінде былайша жазылады:

$$\frac{dx}{dt} = px, \quad \frac{d^2x}{dt^2} = p^2x, \dots, \int dt = \frac{1}{p}, \quad \int x dt = \frac{1}{p}x, \quad \iint x dt^2 = \frac{1}{p^2}x, \dots \text{т.с.с.}$$

Мысалы, 2.1-суретте көрсетілген звеноның $f(t)$ сыртқы ауытқуы әсер етпеген жағдайдағы теңдеуі $T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1$ түрінде табылды делік. Сонда операторлық түрде объектінің теңдеуі $(Tp + 1)x_2 = kx_1$ болып жазылады.

Автоматтық жүйелер теориясында динамикалық звеноның, немесе толық жүйенің, $W(p)$ әріпімен белгіленетін беріліс функциясы деп аталатын ұғым қолданылады. Беріліс функциясын табу үшін дифференциалды теңдеуді операторлық түрге келтіріп алып, шығыстағы сигналдың кірістегі сигналына қатынасын алу керек.

Біздің мысалымыздағы теңдеудің беріліс функциясы

$$W(p) = \frac{x_2}{x_1} = \frac{k}{Tp + 1}. \quad (2.3)$$

Осыған ұқсас басқарушы шаманың мәніне әсер ететін $f(t)$ сыртқы ауытқуынан да звеноның беріліс функциясын анықтауға болады.

Автоматтық жүйелердің теңдеулерін операторлық түрде жазып алып, зерттеу өте ыңғайлы. Егер жүйенің беріліс функциясы белгілі болса, онда шығыстағы сигналдың мәні кірістегісінің мәнінің беріліс функцияға көбейтіндісіне тең болады.

Динамикалық звеноның салмақ функциясы беріліс функциясымен Лаплас түрлендіруі арқылы байланыста болады. Беріліс функциясы Лаплас түрлендіруі бойынша салмақ функциясының бейнесі болып табылады. яғни

$$W(p) = \int_0^{\infty} w(t)e^{-pt} dt. \quad (2.4)$$

Сонымен қатар, өткінші функция звеноның беріліс функциясымен Карсон түрлендіруі бойынша тәуелділікте болады:

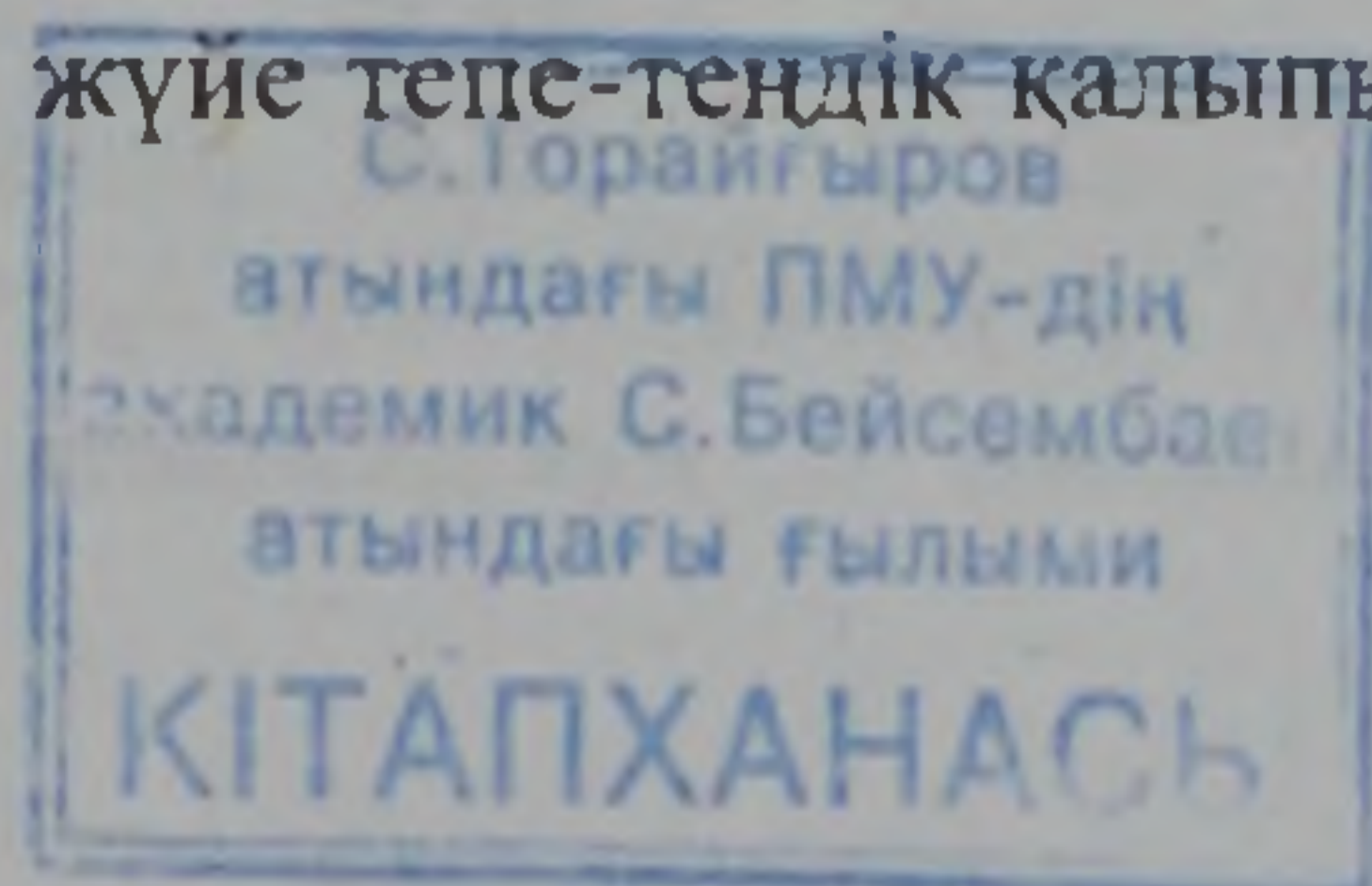
$$W(p) = p \int_0^{\infty} h(t)e^{-pt} dt. \quad (2.5)$$

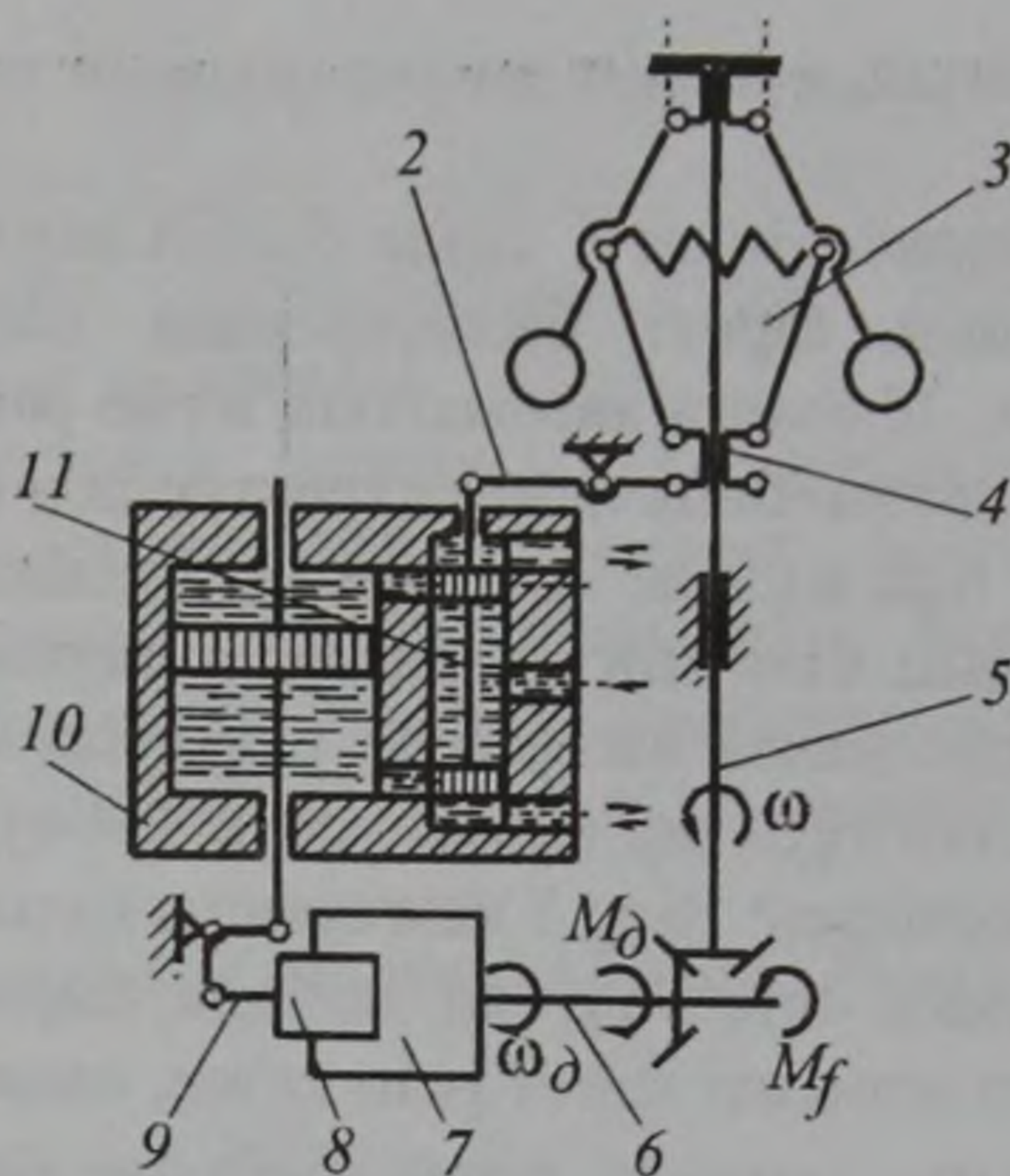
Динамикалық звенолардың жоғарыда аталған сипаттамаларының басқаларын қарастырмастан бұрын олардың теңдеулерін қалай құру жолын қарастырып өтейік.

2.2 Автоматтық жүйенің звеноларының теңдеулері

Автоматтық жүйедегі міндетті түрде болуы керек болатын екі динамикалық звеноның біреуі басқарылушы объект, екіншісі реттеуіш болуы керек. Мысалға автоматтық жүйе ретінде центрден тепкіш реттеуіші бар автомобиль немесе трактордың іштен жанатын қозғауышын алайық. Бұл жүйеде қозғауыш реттелінетін объект, ал реттелінетін шама оның білігінің айналыс жылдамдығы болсын. Сыртқы кедергі моменті қалай өзгерсе де, реттеуіш оның мәнін бір деңгей шамасында ұстап тұратын болуы керек. 2.4-суретте осындай жүйенің схемасы көрсетілген. Егер 7 қозғауышы калыптасқан (тепе-теңдік) жағдайда жұмыс істеп тұрған кезінде сыртқы күштердің келтірілген M_f кедергі моменті кенет өсіп кетсе, онда 6 білігінің ω_a бұрыштық жылдамдығы, онымен кинематикалық байланыстағы 3 центрден тепкіш механизмінің 5 білігінің ω жылдамдығы және механизм жүкшелерінің центрден тебу күші төмендейді. Осының салдарынан серіппе әсері механизмнің 4 муфташасын төмен қарай жылжытады. Муфташаның қозғалысы тартпалар мен 2 рычагы арқылы 8 отын сорғышының 9 рейкасын оң жаққа жылжытып, оның жүрісінің x жол ұзындығын ұзартып, қозғауыш цилиндрлеріне бүркілетін отын мөлшерін көбейтеді де, қозғауыш білігінің ω_a айналу жылдамдығын көтереді. ω_a жылдамдығының үлкеюі өзінің тарапынан ω жылдамдығын және механизмнің центрден тепкіш күшін үлкейтеді де, серіппенің тарту күшін жеңіп, жүкшелер бірі бірінен алыстай бастайды. Сонда 4 муфташасы жоғары көтеріліп бастапқы орнына келеді. Сөйтіп бүкіл жүйе бастапқы тепе-теңдік қалыпына қайтып келеді.

Ал енді, сыртқы күштердің келтірілген кедергі M_f моменті төмендеп кетсе, онда ω_a , ω жылдамдықтары және центрден тебу күші өседі, механизмнің 4 муфташасы жоғары қарай қозғалады, ал, отын сорғыштың 9 рейкасы кейін қарай қозғалып, бүркілетін отын мөлшерін азайтады. Отын мөлшері азайғандықтан, біліктердің айналу жылдамдықтары төмендейді де, 4 муфтасы төмен түсіп, жүйені бастапқы тепе-теңдік жағдайына қайтарып әкеледі. Сөйтіп, сыртқы ауытқыту күші қалай өзгерсе де, жүйе тепе-теңдік қалыпын сақтап отырады.





2.4 – сурет

Жүйеде орын алатын процестер жатық жағдайда өту үшін 1 саябырлатқышы (демпфер) қондырылған.

Басқарылушы объект – қозғауыштың білігінің айналу жылдамдығын орнықты ұстап тұрушы автоматтық жүйе теңдеуін құрастыру үшін білікке әсер ететін моменттердің тепе-теңдік заңын қолдану керек, яғни:

$$J_{\partial} \frac{d\omega_{\partial}}{dt} = M_{\partial} - M_f. \quad (2.6)$$

Мұндағы J_{∂} – қозғауыштың келтірілген инерция моменті;

ω_{∂} – қозғауыш білігінің айналуының бұрыштық жылдамдығы;

M_{∂} – қозғауыштың айналдырушы моменті;

M_f – сыртқы күштердің келтірілген кедергі моменті.

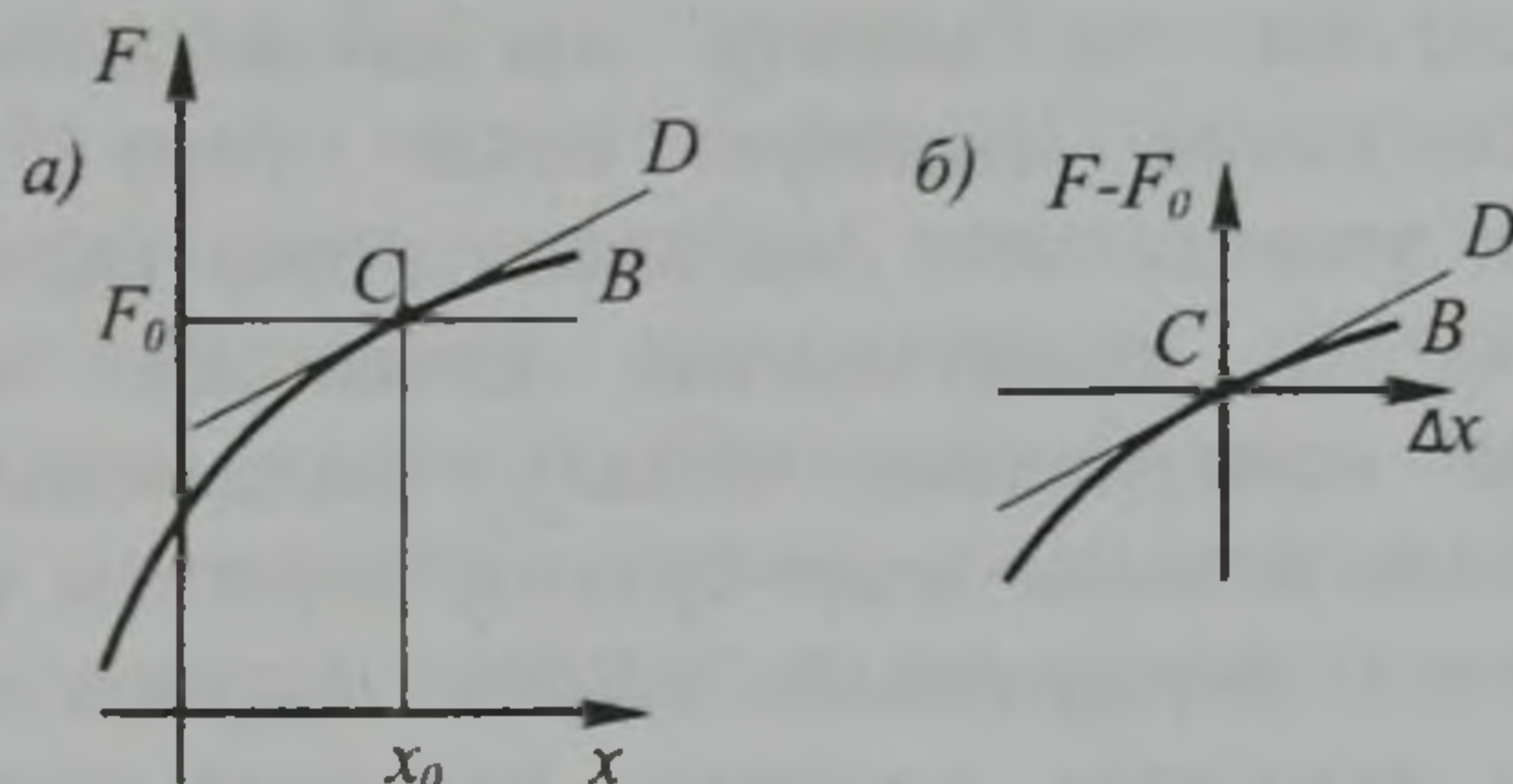
Осыдан кейін жазылған теңдеуді *сызықтандыру* керек болады.

Сызықтандыруды түсіну үшін оны геометриялық тұрғыдан қарастырайық. Айталық, қандай да бір $F = F(x)$ функциясы қисықсыздықты болсын делік (2.5-сурет). Жүйенің қалыптасқан қалыпы аргументтің мәні x_0 -ге тең болғанда орын алған және оған функцияның C нүктесіндегі тұрақты $F_0 = F(x_0)$ шамасы сәйкес

болсын. Функцияның өзгеру жылдамдығы оның C нүктесіндегі жеке туындысына, яғни, x өсі мен $C(x_0, F_0)$ нүктесі арқылы жүргізілген жанама сызық арасындағы α бұрышының тангенсына тең болады:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_0 = \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.7)$$

Енді C нүктесін координаталар жүйесінің басы деп қабылдасақ, онда қарастырып отырған қисықсызықты функция жана координаталар жүйесінде 2.5,б суретіндегідей болып шығады. Бұл жүйеде аргумент $\Delta x = x - x_0$, ал функция $(F - F_0)$, яғни, суретте аргументтің мардымсыз кішкене өзгеруі мен функцияның өзгеруі арасындағы тәуелділікті көрсететін графикті көреміз.



2.5-сурет

Автоматтық жүйе өте сезгіш болғаны жөн, яғни, кірістегі шама кішкене ғана өзгергенде жүйе дереу іске кірісуі керек. Автоматтық жүйе теңдеуінде Δx кірістегі шаманың өзгерісі деп қарастырылады. Автоматтық басқару жүйесінде айнымалы шамалардың өздерінің тепе-теңдік мәндерінен ауытқуының өте кішкентай болу шарты ылғи орындалып отырады. Бұл шарттың орындалуының өзі тұйықтандырылған автоматтық жүйенің жұмыс істеу шарты болып табылады. Демек, қисықсызықтың өзгеруін жанама түзу сызықтың өзгеруіне тең болады деп, яғни қисықсызықты сызықтандырып қарастыра аламыз.

Сызықтандыруды аналитик түрде өрнектеу үшін функцияны қатарға жіктеу қолданылады. Мысалы, $F(x)$ функциясын Тейлор қатарына жіктесек, онда:

$$F(x) = F(x_0) + \frac{F'(x_0)}{1!} \Delta x + \frac{F''(x_0)}{2!} \Delta x^2 + \frac{F'''(x_0)}{3!} \Delta x^3 + \dots \quad (2.8)$$

Бұл өрнектегі Δx мардымсыз кішкене шама болғандықтан, оның екінші, үшінші және т.б. жоғары дәрежелерінің сан мәндері өте кішкене болып кетеді. Оның үстіне үшінші мүшеден бастап бөлшектердің бөлімдері екпіндеп өсе береді. Сондықтан, инженерлік есептерде $F(x)$ функциясын шамамен алғашқы екі мүшесінің қосындысына тең болады деп қарастыра аламыз. Сонда $F(x)$ функциясы мен аргументтің Δx өзгеруі арасындағы тәуелділік түзусыздықты болып шығады:

$$F(x) = F(x_0) + \frac{F'(x_0)}{1!} \Delta x. \quad (2.9)$$

Қозғауыштың (2.6) теңдеуін сызықтандыру үшін қозғауыш моменті оның білігінің ω_∂ айналу жылдамдығы мен отын сорғышының рейкасының (немесе отын беру педалінің) жылжуының x жол ұзындығына байланысты деп қарастыралық, яғни $M_\partial = M_\partial(\omega_\partial, x)$. x қозғауыштың кірісіндегі шама, ал, басқарылушы шама қозғауыштың айналу жылдамдығы болып табылады. Автомобиль пойызы және трактор агрегаты үшін, В.П. Горячкиннің рационал формуласына сәйкес, сыртқы күштердің келтірілген кедергі моментін қозғалыс жылдамдығына, демек, қозғауыш білігінің айналу жылдамдығына байланысты деп алуға болады, яғни, $M_f = M_f(\omega_\partial)$.

Қозғауыштың тепе-теңдік қалыпы $\omega_\partial = \omega_0$ және $x = x_0$ болғанда орын алады делік. Мұндағы ω_0 және x_0 – тұрақты шамалар. Сонда оларға $M_{\partial.0}$ және $M_{f.0}$ қалыптасқан тұрақты шамалары сәйкес болып шығады. Жүйенің тепе-теңдік қалыпында

$$M_{\partial.0} - M_{f.0} = 0. \quad (2.10)$$

M_∂ және M_f функцияларын Тейлор қатарына жіктелік:

$$M_\partial = M_{\partial.0} + \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial \omega_\partial} \right)_0 \Delta \omega + \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial x} \right)_0 \Delta x + (\text{өте ішкене мүшелер}); \quad (2.11)$$

$$M_f = M_{f,0} + \left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_{\partial}} \right)_0 \Delta \omega + (\text{өте кішкене мүшелер}). \quad (2.12)$$

Соңғы табылған нәтижелерді (2.6) теңдеуіне қойсақ, онда

$$J_{\partial} \frac{d\omega_{\partial}}{dt} + \left[\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_{\partial}} \right) - \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial \omega_{\partial}} \right) \right]_0 \Delta \omega = \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial x} \right)_0 \Delta x. \quad (2.13)$$

Бұл жерде бастапқы теңдеудегі ω_{∂} және x координаталарының орнына олардың мардымсыз кішкене ғана өскен мәндері болған $\Delta \omega$ және Δx координаталарымен бейнеленген теңдеу келіп шықты. Бұл теңдеу басқарылушы объекті болған қозғауыштың динамикалық процесін бейнелейтін, яғни қарастырылып отырған автоматтық жүйенің теңдеуі болып табылады. Бұл теңдеуде $\Delta \omega$ және Δx координаталарының белгілі өлшем бірліктері бар. Мысалы, $\Delta \omega$ рад/с-пен, ал Δx м-мен өлшенеді. Автоматтық жүйелер теориясында, жазылып шығарылған теңдеуді жүйе параметрлерінің өлшем бірлігіне байланыстырмай, процестердің табиғаты басқа, бірақ динамикасы осы жүйемен біртектес болған жүйелер үшін де қолдана беру мүмкіндігін туғызу үшін, *өлшемсіз түрде* жазып шығарып отырады. Мұндай теңдеулер *өлшемсіз түрдегі теңдеулер* деп аталады.

Енді (2.13) теңдеуін өлшемсіз түрге келтірейік. Ол үшін өлшемі бар координаталардың осы жүйені немесе оның звеноларын сипаттайтын белгілі шамаларға қатынастарын теңдеуге енгізу керек болады. Біздің қарастырып отырған жүйеміз үшін, оның теңдеуіндегі координаталарының біліктің айналыс жылдамдығының белгілі номинал мәні ω_n -ге және отын сорғышының номинал (немесе максимал) жол ұзындығы x_n -ге сәйкесті қатынастарын алып, оларды былайша белгілейміз:

$$\frac{\Delta \omega}{\omega_n} = \varphi; \quad (2.14)$$

$$\frac{\Delta x}{x_n} = \mu. \quad (2.15)$$

Мұндағы φ – қозғауыш білігінің өлшемсіз бұрыштық жылдамдығы, μ – отын сорғышы рейкасының өлшемсіз жол ұзындығы болып табылады.

Қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығын оның тепе-теңдік қалыпындағы жылдамдығы мен өзгеруінің қосындысы ретінде қарастыруға болады, яғни $\omega_{\partial} = \omega_0 + \Delta\omega$. Сонда $\frac{d\omega_{\partial}}{dt} = \frac{d(\omega_0 + \Delta\omega)}{dt} = \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{d\omega_H \varphi}{dt} = \omega_H \dot{\varphi}$. Соңғы табылған мәндерді (2.13) теңдеуіне қойсақ, ол төмендегі өлшемсіз түрінде жазылып шығарылады:

$$J\omega_H \dot{\varphi} + \omega_H \left[\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_{\partial}} \right) - \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial \omega_{\partial}} \right) \right]_0 \varphi = x_H \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial x} \right)_0 \mu. \quad (2.16)$$

Мұндағы $J\omega_H$, $\omega_H \left[\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_{\partial}} \right) - \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial \omega_{\partial}} \right) \right]_0$ және $x_H \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial x} \right)_0$ шамалары жүйенің қалыптасқан тепе-теңдік жағдайына сәйкесті параметрлерінің белгілі сан мәндері, тұрақты коэффициенттер болып табылады.

(2.16) теңдеуін өзгертіп екі түрде жазуға болады:

$$T_a \dot{\varphi} + k_c \varphi = \mu; \quad (2.17)$$

$$T \dot{\varphi} + \varphi = k \mu. \quad (2.18)$$

Мұндағы тұрақты коэффициенттер:

$$k_c = \frac{\omega_H \left[\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_{\partial}} \right) - \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial \omega_{\partial}} \right) \right]_0}{x_H \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial x} \right)_0}, \quad (2.19)$$

$$T_a = \frac{J\omega_H}{x_H \left(\frac{\partial M_{\partial}}{\partial x} \right)_0}; \quad (2.20)$$

$$T = \frac{T_a}{k_c}; \quad (2.21)$$

$$k = \frac{1}{k_c}. \quad (2.22)$$

Бұл тұрақты коэффициенттер физикалық мәні бар шамалар болып табылады. T_a және T коэффициенттері уақыт тұрақтылары, k – беріліс (күшейту) коэффициенті, k_c – өзіндік түзелу коэффициенті деп аталады.

Уақыт тұрақтылары өткінші процестің уақыт ұзақтығын сипаттайды. Беріліс коэффициенті динамикалық процес қалыптасқан кезіндегі шығыстағы сигналдың кірістегі сигналға қатынасына тең болады, Беріліс коэффициенті кірістегі сигнал мен шығыстағы сигналдың өлшем бірліктері бірдей болғанда шығыстағы сигнал кірістегіге карағанда неше есе үлкен екендігін көрсетеді. Сондықтан шартты түрде ол *күшейту коэффициенті* деп те аталады. Көліктік және оларға ұқсас тағы басқа машиналардағы беріліс қораптары, редукторлар, кернеуді бөлетін және масштабты өзгертуші құрылымдар және т.б. үшін бұл коэффициент *беріліс саны* деп те аталады.

Өзіндік түзелу коэффициенті *реттелінуші объектінің өздігінен түзелуін* сипаттайды. Реттелінуші объектінің өздігінен түзелуі деп, жүйеде реттеуіш қондырылмаған жағдайда, реттелінуші шама мен оның қалыптасқан мәнінің арасындағы келіспеушілік нөлге теңеліп, реттелінуші шама (мысалы, біліктің айналу жылдамдығы φ) өзінің тепе-теңдік, немесе жаңадан жаңа тепе-теңдік қалыпындағы мәніне теңелуіне объектінің өздігінен ұмтылу қасиетін айтады.

(2.17) және (2.18) теңдеулерінің шешімдері төмендегі түрде табылады:

$$\varphi = \frac{\mu}{k_c} (1 - e^{-k_c t / T_a}); \quad (2.23)$$

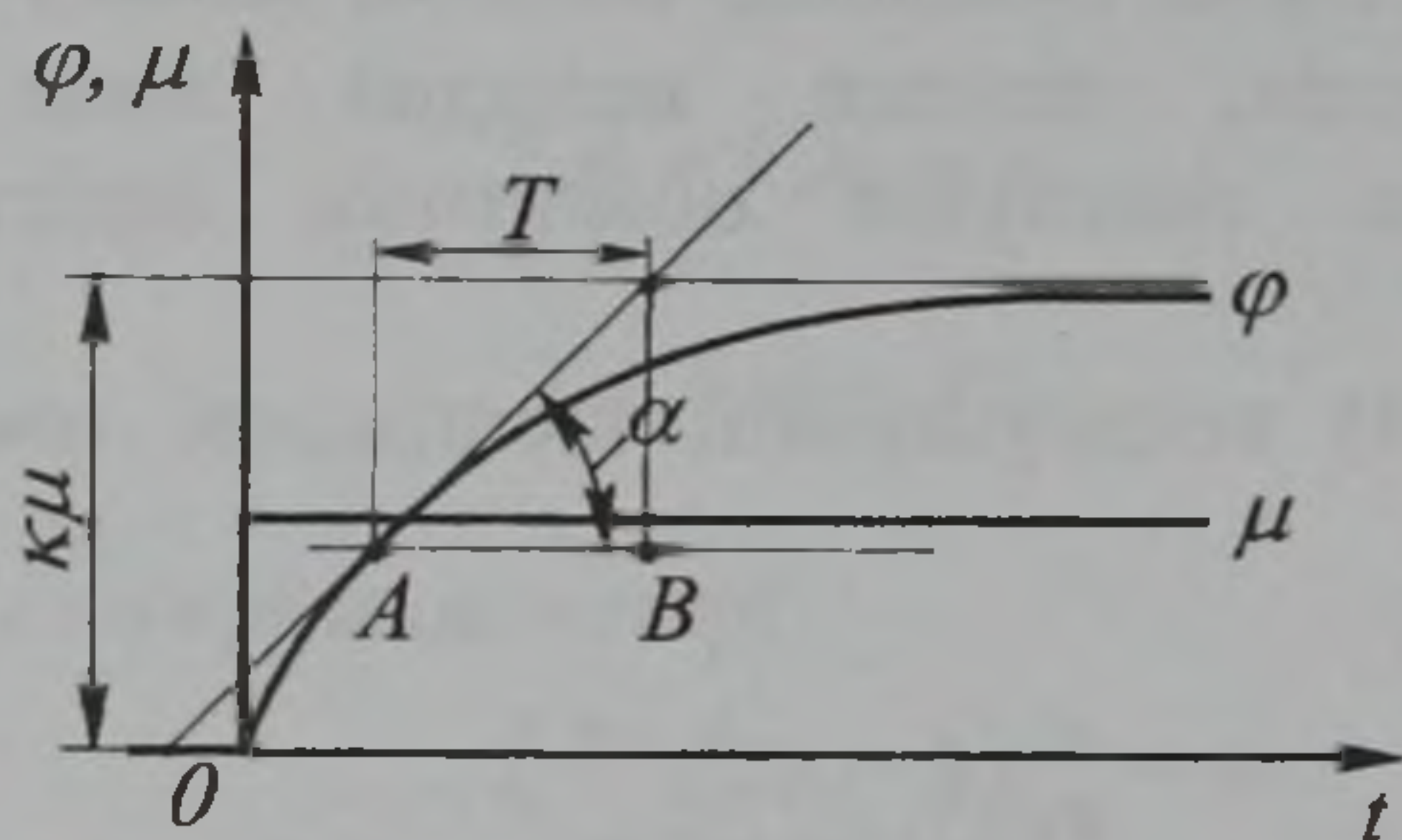
$$\varphi = k\mu (1 - e^{-t/T}). \quad (2.24)$$

Әдетте, автоматтық жүйенің жұмысы ауытқытушы сыртқы әсердің кенеттен секіріп өзгеруімен байланысты қарастырылады. Сонда жүйеде *өткінші процес* деп аталатын процес орын алады. Біздің қарастырып отырған жүйеміздің өткінші процесінің графигі 2.6-суретте көрсетілген. Кірістегі μ сигналы секіріп өзгергенде, шығыстағы φ сигналы (2.23) және (2.24) теңдеулеріне сәйкес қисықсызық түрінде өзгереді де, өзінің қалыптасқан $k\mu$ мәніне тең болатын шамасына шексіз ұмтылады, яғни $\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi = k\mu$. Енді осы графиктің кейбір қасиеттерін қарастырайық.

(2.24) теңдеуінен φ шамасының бірінші туындысы $\dot{\varphi} = \frac{k\mu}{T} e^{-t/T}$. Графиктен $\dot{\varphi} = \tan \alpha = \frac{k\mu - \varphi}{AB}$ екенін көреміз. Бұл формулаға (2.24)

тендеуінен φ –дің мәнін қойсақ, онда $\operatorname{tg} \alpha = \frac{k\mu e^{-t/T}}{AB} = \frac{k\mu e^{-t/T}}{T}$. Демек, егер қарастырып отырған жағдайда, өткінші процестің графигі белгілі болса, шығыстағы сигналдың кез келген нүктесі арқылы оның қисықсызығына жанама жүргізсек, онда оның $k\mu$ түзу сызығымен қиылысқан нүктесі мен қисықтықтағы нүктенің абсцисса өсі бойынша координаталарының айырмасы автоматтық жүйенің T уақыт тұрақтысына тең болатынын көреміз.

Кейде белгілі бір автоматтық жүйенің өткінші процесін эксперимент жүзінде осциллограмма лентасына жазып алу мүмкін болады.. Бұл жағдайда өткінші процес 2.6-суретінде көрсетілгендей болып шықса, онда жүйенің немесе звеноның теңдеуін (2.18) түрінде жазып шығамыз. Жүйе динамикасының теңдеуінің тұрақты коэффициенттерінің сан мәндерін осциллограммаға жазылып алынған өткінші процестің қисықсызығынан оңай тауып алуға болады.



2.6 – сурет

Ол үшін шығыстағы сигналдың қисықсызығының кез келген A нүктесінен оның жаңадан қалыптасқан мәнінің түзу сызығымен қиылысқанша жанама жүргізіп, уақыт тұрақтысының мәнін тауып аламыз. Ал, күшейту коэффициенті шығыстағы және кірістегі сигналдардың қалыптасқан мәндерінің қатынасына тең болады.

Енді, өздігінен түзелу коэффициентін қарастырайық. 2.7, а-суретте қозғауышта реттеуіш қондырылмаған жағдайдағы оның M_∂ моменті мен білігінің ω_∂ айналу жылдамдығы арасындағы тәуелділіктің графигі көрсетілген. Зерттеу оңайырақ болу үшін қозғауыш білігіне келтірілген кедергі моменті M_f тұрақты болсын деп қарастырылған. k_c өзіндік коэффициентінің оң сан, теріс сан немесе нөлге тең болуы $\left[\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_\partial} \right) - \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial \omega_\partial} \right) \right]_0$ шамасының сан мәніне

байланысты болады ((2.19)-ды қара). Графикте мүмкін болатын екі қалыптасқан жағдай орын алған. Қалыптасқан жағдай қозғауыш моменті мен кедергі моментінің бірі біріне тең болатын А және В нүктелеріне сәйкес келеді. Бұл нүктелерде $\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_\partial}\right)$ нөлге тең. Қозғауыш моментінің айналыс жылдамдығы бойынша алынған жеке туындыларының мәнінің таңбасы қандай болатынын білу үшін оның қисықсызығына А және В нүктелерінен жанамалар жүргіземіз. Суреттен $0 < \alpha_1 < \frac{\pi}{2}$ және $\frac{\pi}{2} < \alpha_2 < \pi$ екенін көреміз. Бұдан $\operatorname{tg} \alpha_1 = \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial \omega_\partial}\right)_A > 0$, ал $\operatorname{tg} \alpha_2 = \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial \omega_\partial}\right)_B < 0$. Демек,

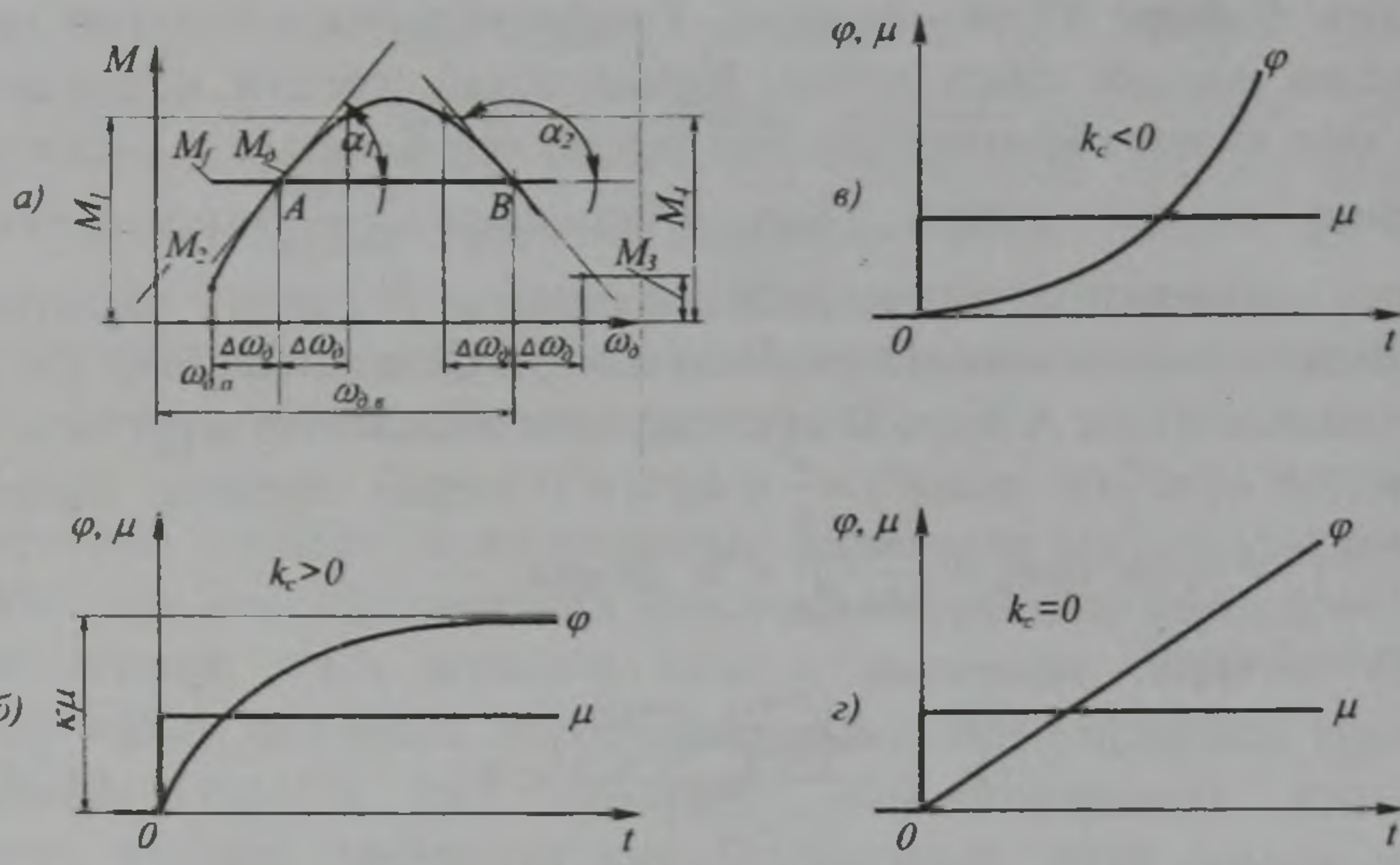
А нүктесі үшін

$$k_c = \frac{\omega_n \left[\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_\partial}\right) - \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial \omega_\partial}\right) \right]_A}{x_n \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial x}\right)_A} < 0. \quad (2.25)$$

Ал, В нүктесі үшін

$$k_c = \frac{\omega_n \left[\left(\frac{\partial M_f}{\partial \omega_\partial}\right) - \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial \omega_\partial}\right) \right]_B}{x_n \left(\frac{\partial M_\partial}{\partial x}\right)_B} > 0. \quad (2.26)$$

Айталық, қозғауыш А нүктесіне сәйкесті қалыптасқан жағдайда жұмыс істеп тұрсын. Егер қандай да бір себептермен қалыптасқан жағдай бұзылып, қозғауыштың білігінің айналыс жылдамдығы мардымсыз кішкене $\Delta \omega_\partial$ шамасына үлкейіп, $\omega_\partial = \omega_{\partial,а} + \Delta \omega_\partial$ мәніне жетсе, онда қозғауыш моменті оған сәйкес $M_\partial = M_1 > M_f$ мәніне ие болады. Әрі қарай, қозғауыш моменті кедергі моментінен үлкен болғандықтан, уақыт созылған сайын, реттеуіш жоқ болған соң, қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығы шексіз өсе береді де, қозғауыш апатқа ұшырауы мүмкін (2.7, в-суретті қара). Керісінше, қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығы мардымсыз кішкене $\Delta \omega_\partial$ шамасына кішірейіп, $\omega_\partial = \omega_{\partial,а} - \Delta \omega_\partial$ мәніне жетсе, онда қозғауыш моменті оған сәйкес $M_\partial = M_2 < M_f$ мәніне ие болады. Бұл жағдайда кедергі моментінен кішкене болғандықтан қозғауыш моментінің шамасы жетпей, біліктің айналу жылдамдығы одан бстер төмендеп, әлден уақыттан кейін қозғауыш өшіп қалады. Мұндай объектінің өздігінен қалыптасқан қалыпына келе алмайтындық жағдайы өзіндік түзелту коэффициентінің нөлден кіші, яғни $k_c < 0$ болғандығынан орын алып отыр.

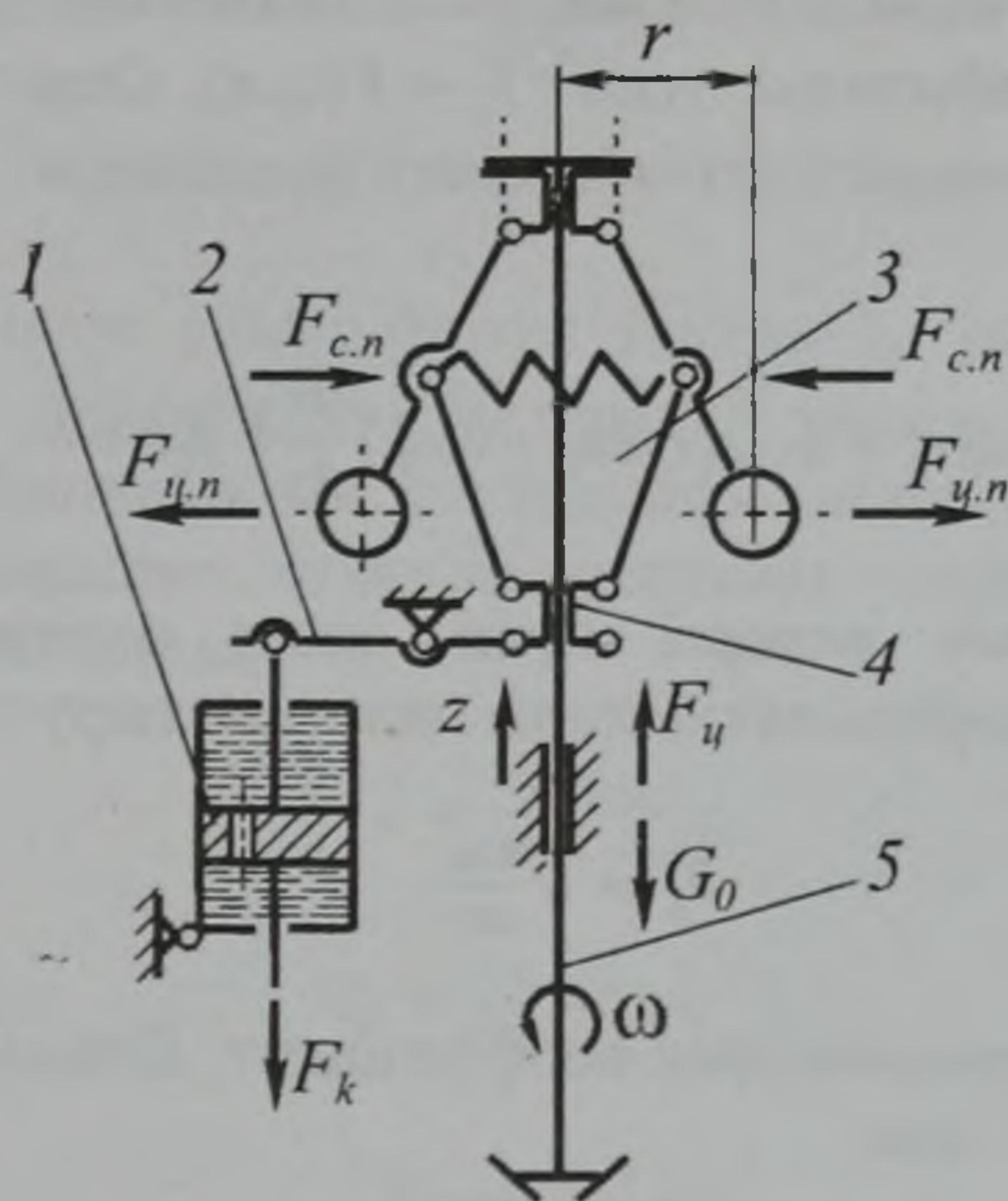


2.7-сурет

Енді, $k_c > 0$ болсын. Бұл графиктегі В нүктесіндегі қалыптасқан жағдайға сәйкес келеді. Егер қандай да бір себептермен қалыптасқан жағдай бұзылып, қозғауыштың білігінің айналыс жылдамдығы мардымсыз кішкене $\Delta\omega_d$ шамасына үлкейіп, $\omega_d = \omega_{d,с} + \Delta\omega_d$ мәніне жетсе, онда қозғауыш моменті оған сәйкес $M_d = M_3 < M_f$ мәніне ие болады. Қозғауыштың моменті кішкене болғандықтан, кедергі моменті бұрыштық жылдамдықты төмендетіп, ақыры қайтадан қалыптасқан режимдегі (немесе жаңадан қалыптасқан) мәніне жеткізеді (2.7, б- суретті қара). Керісінше, қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығы мардымсыз кішкене $\Delta\omega_d$ шамасына кішірейіп, $\omega_d = \omega_{d,с} - \Delta\omega_d$ мәніне жетсе, онда қозғауыш моменті оған сәйкес $M_d = M_4 > M_f$ мәніне ие болады. Қозғауыш моменті кедергі моментінен артық болғандықтан, ол қозғауыш білігінің айналу жылдамдығын өсіріп, қайтадан қалыптасқан қалыпына әкеледі. Сөйтіп, егер өздігінен түзелту коэффициенті $k_c > 0$ болса, онда қалыптасқан жағдайдағы жылдамдық өздігінен, реттеуіштің жоқтығына қарамастан, қалыптасқан режимдегі мәніне теңестіріліп отырады.

Ал, егері $k_c = 0$ болса, онда кірістегі сигнал секіріп өзгергенде бұрыштық жылдамдықтың шексіз өсе беретінін (2.23) формуласынан оңай анықтауға болады (2.7, в- сурет).

Қарастырылып отырған автоматтық жүйенің реттелінуші объектісі – қозғауыштың өлшемсіз теңдеуін (2.18) түрінде жазып шығардық. Енді осы жүйенің екінші звеносы – центрден тепкіш реттеуіштің теңдеуін жазып шығару керек (2.8-сурет). Суретте центрден тепкіш маятник сезгіш элементі болып табылады. Сезгіш элементтің құрамына 1 саябырлатқышы және күшейтуші 2 рычагы кірген болсын делік. Қозғауыштың отын сорғышының рейкасы саябырлатқыштың штогына кинематикалы байланысқан.



2.8-сурет

Суретте және бұдан әрі қарай пайдаланылатын керекті шамаларды былайша белгілейміз:

- $F_{y.n}$ – жүкшелердің центрден тепкіш күші;
- $F_{c.n}$ – серіппенің күші;
- F_y – механизмнің муфташаға келтірілген центрден тепкіш күші;
- F_f – муфтшаның қозғалысына кедергі күші;
- m – муфтшаның массасы;
- z – муфтшаның жүрісінің ұзындығы;
- r – жүкшелердің айналу шеңберінің радиусы;
- F_0 – серіппенің қалыптасқан жағдайдағы бастапқы тарту күші;
- G_0 – муфтшаның салмағы;

Механизмнің муфташаға келтірілген центрден тепкіш күші

$$F_y = c\omega^2 r. \quad (2.27)$$

Мұндағы c – жүкшелердің массаларын қоса есепке алған келтіру коэффициенті.

Жүкшелердің айналу шеңберінің радиусы мен муфтаның қозғалысының жол ұзындығы бірі бірімен байланысты, яғни $r = f(z)$. Демек, F_y күші ω және z айнымалы шамаларының функциясы болып табылады, яғни $F_y = F(\omega, z)$. Осы күшті Тейлор қатарына жіктеп, мардымсыз кішкене мүшелерін алып тастап, жазсак, онда

$$F_y = c\omega_0^2 r_0 + 2c\omega_0 r_0 \Delta\omega + c\omega_0^2 \left(\frac{\partial r}{\partial z}\right)_0 \Delta z + \dots$$

Саябырлатқыштың кедергі күші оның штогінің қозғалыс жылдамдығына пропорционал болады деп қарастыруға болады:

$$F_k = D \frac{d\Delta z}{dt}. \quad (2.28)$$

Мұндағы D – пропорционалдық коэффициент. Сонда муфтаның қозғалысына кедергі күші

$$F_f = G_0 + F_0 + k\Delta z + D \frac{d\Delta z}{dt}. \quad (2.29)$$

Мұндағы k – серіппенің тарту күшін келтіру коэффициенті.

Звеноның теңдеуін жазып шығару үшін муфташаға келтірілген күштердің тепе-теңдік заңын қолданамыз:

$$F_y - F_f - m \frac{d^2 z}{dt^2} = 0. \quad (2.30)$$

Бұл теңдеуге $\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{d^2(z_0 + \Delta z)}{dt^2} = \frac{d^2 \Delta z}{dt^2}$ екенін ескеріп, шамалардың жоғарыдағы табылған мәндерін қойсақ, онда сезгіш элементтің теңдеуі төмендегі түрде жазылып шығарылады:

$$m \frac{d^2 \Delta z}{dt^2} + D \frac{d \Delta z}{dt} + \left[k - c \omega_0^2 \left(\frac{\partial r}{\partial z} \right)_0 \right] \Delta z = 2c \omega_0 r_0 \Delta \omega. \quad (2.31)$$

Теңдеуді өлшемсіз түрге келтіру үшін $\frac{\Delta z}{z_{max}} = \eta$, $\frac{\Delta \omega}{\omega_H} = \varphi$ деп белгілеп, (2.31) теңдеуіне қойсақ, онда

$$m z_{max} \ddot{\eta} + D z_{max} \dot{\eta} + \left[k - c \omega_0^2 \left(\frac{\partial r}{\partial z} \right)_0 \right] z_{max} \eta = 2c \omega_0 r_0 \omega_H \varphi. \quad (2.32)$$

Теңдеудің екі жағын да $2c \omega_0 r_0 \omega_H$ тұрақты коэффициентіне бөліп, ақырғы түрінде былайша жазып шығарамыз:

$$T_p^2 \ddot{\eta} + T_k \dot{\eta} + \delta \eta = \varphi. \quad (2.33)$$

Мұндағы, өлшемдері уақыт бірлігі болған T_p реттеуіштің уақыт тұрақтысы, T_k демпфердің (катаракт) уақыт тұрақтысы, ал өлшемсіз коэффициент δ реттеуіштің бірқалыпсыздығы деп аталады. Қарастырылып отырған жағдайда олардың сан мәндері төмендегіше анықталады:

$$T_p^2 = \frac{m z_{max}}{2c \omega_0 \omega_H r_0}, \quad (2.34)$$

$$T_k = \frac{D z_{max}}{2c \omega_0 \omega_H r_0}, \quad (2.35)$$

$$\delta = \frac{\left[k - c \omega_0^2 \left(\frac{\partial r}{\partial z} \right)_0 \right] z_{max}}{2c \omega_0 \omega_H r_0}. \quad (2.36)$$

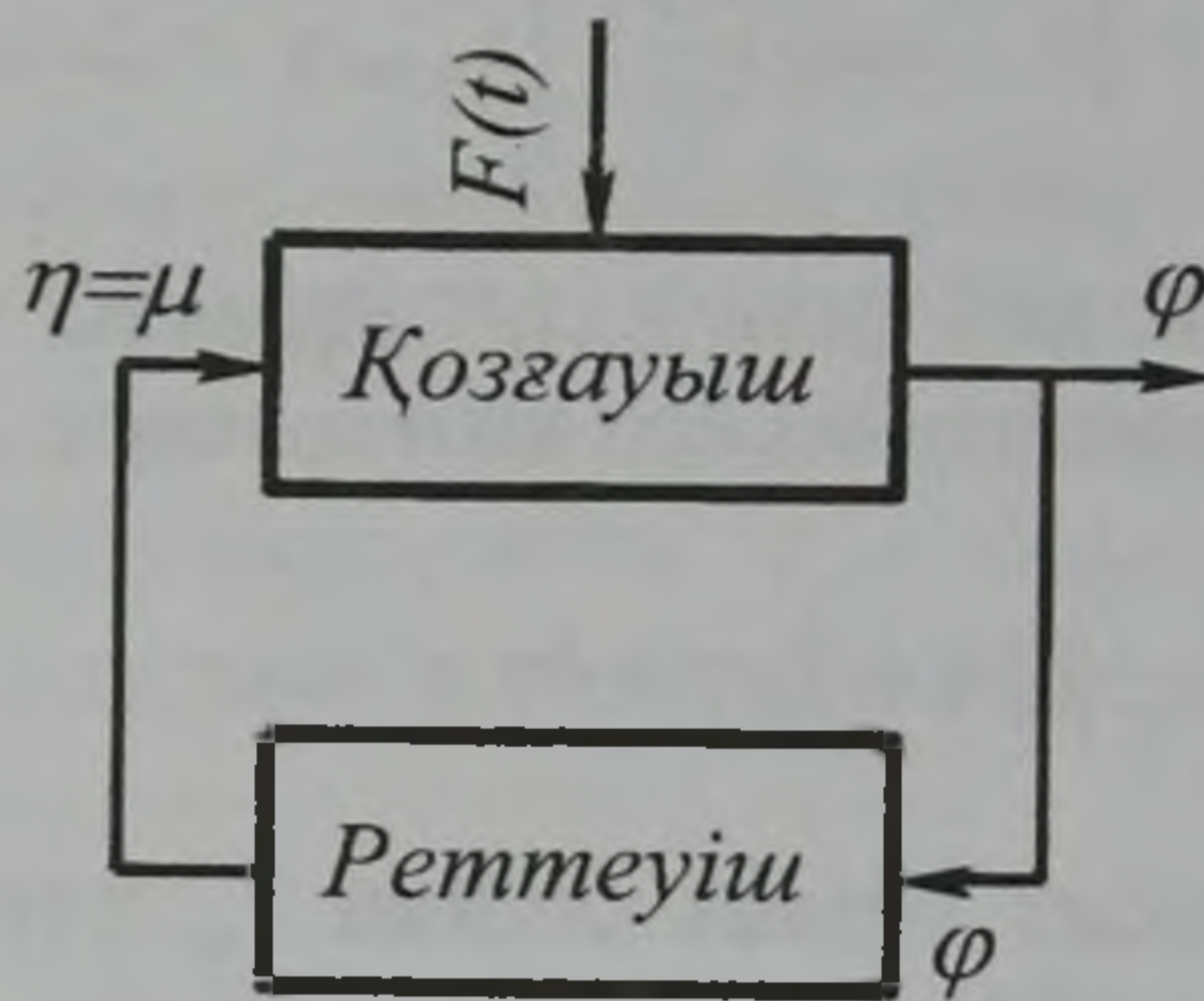
Тепе-теңдік жағдайда $c \omega_0^2 r_0 - G_0 - F_0 = 0$ және $\epsilon = \frac{r}{\eta}$.

2.3 Автоматтық жүйенің жалпы теңдеуін құру

Звенолардың кірістегі және шығыстағы шамалары олардың жүйе ішіндегі байланыстарын өрнектейді. Сонымен қатар әрбір звеноға бір немесе бірнеше сыртқы ауытқулар әсер етуі мүмкін. Автоматтық жүйенің теңдеуін құру толығырақ болу үшін оның звеносы ретінде қарастырылып отырған реттелінуші объектімізге сырттан айнымалы ауытқытушы $F(t)$ әсер ететін болсын делік (2.9-

сурет). Сыртқы әсердің айнымалы өлшемсіз шамасын тауып, оны F деп белгілейік. Сонда қозғауыш теңдеуі жоғарыда табылған теңдеуіне сәйкес төмендегі түрде жазылады:

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_0 \mu + F. \quad (2.37)$$



2.9 – сурет

Бұл жерде қарапайымды болу үшін звеноның сыртқы ауытқудан беріліс функциясы бірге тең болсын деп ұйғарылған.

(2.33) теңдеуінің екі жағын да δ коэффициентіне бөлсек, және реттеуіштің кірісіне кері байланыс түрінде келіп түсетін сигнал әдетте теріс сан болатынын ескерсек, онда реттеуіштің теңдеуі былайша жазылады:

$$T_p^2 \frac{d^2 \mu}{dt^2} + T_k \frac{d\mu}{dt} + \mu = -k_p \varphi. \quad (2.38)$$

Жалпы алғанда осы екі (2.37) және (2.38) теңдеулері автоматты жүйенің теңдеулері жүйесін құрады. Әдетте, ақырғы түрінде теңдеулер бір теңдеуге келтіріледі. Түсінікті болу үшін осы екі теңдеуді бір теңдеу түріне келтіру жолын біршама толығырақ жазып шығарайық. Ол үшін әуелі (2.38) теңдеуінің екі жағын да k_0 коэффициентіне көбейтіп жазайық:

$$T_p^2 k_0 \frac{d^2 \mu}{dt^2} + T_k k_0 \frac{d\mu}{dt} + k_0 \mu = -k_0 k_p \varphi. \quad (2.39)$$

(2.37) теңдеуінен $k_0\mu = T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi - F$, $k_0 \frac{d\mu}{dt} = T \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{d\varphi}{dt} - \frac{dF}{dt}$ және $k_0 \frac{d^2\mu}{dt^2} = T \frac{d^3\varphi}{dt^3} + \frac{d^2\varphi}{dt^2} - \frac{d^2F}{dt^2}$ болып шығады. Табылған $k_0\mu$, $k_0 \frac{d\mu}{dt}$, $k_0 \frac{d^2\mu}{dt^2}$ шамаларының мәндерін (2.39) теңдеуіндегі орындарына қойсақ,

$$\begin{aligned} T_p^2 T \frac{d^3\varphi}{dt^3} + (T_p^2 + T_k T) \frac{d^2\varphi}{dt^2} + (T_k + T) \frac{d\varphi}{dt} + (1 + k_0 k_p) \varphi = \\ = T_p^2 \frac{d^2 F}{dt^2} + T_k \frac{dF}{dt} + F. \end{aligned} \quad (2.40)$$

(2.40) қарастырылып отырған автоматтық жүйенің өлшемсіз түрінде жазылған дифференциалдық теңдеуі болып табылады. Автоматтық жүйенің дифференциалдық теңдеуінің тәртібі жүйенің құрамындағы звенолардың дифференциалдық теңдеулерінің тәртіптерінің қосындысына тең болады. Біздің мысалда реттелінуші объект бірінші тәртіпті, ал реттеуіш екінші тәртіпті дифференциалды теңдеумен бейімделген болатын. Сондықтан, автоматтық жүйе толығымен үшінші тәртіпті дифференциалдық теңдеумен бейімделіп шықты.

Жалпы алғанда кәдімгі сызықты автоматты реттеуші жүйенің дифференциалды теңдеуі төмендегі түрде жазылады:

$$\begin{aligned} a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y = \\ = b_0 \frac{d^m x}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x. \end{aligned} \quad (2.41)$$

Мұндағы x – кірістегі, y – шығыстағы сигнал; $n > m$.

Автоматтық реттеу жүйесінің және оның звеноларының жоғарыда табылған (2.28), (2.33), (2.40) дифференциалдық теңдеулерін беріліс функциясы негізінде де жазып шығаруға болады. Ол үшін теңдеуге дифференциалаудың алгебраландырылған операторы $p = d/dt$ енгізіліп, дифференциалдық теңдеу символ түрінде жазылады. Мысалы, (2.40) теңдеуі символ түрінде төмендегідей болып шығады:

$$T_p^2 T p^3 \varphi + (T_p^2 + T_k T) p^2 \varphi + (T_k + T) p \varphi + (1 + k_0 k_p) \varphi = \\ = T_p^2 p^2 F + T_k p F + F. \quad (2.42)$$

Бұл теңдеуді (2.40) теңдеуінің символ түрі деп қарастыру керек.

Шартты түрде p операторын алгебралық шама деп қарастырып, теңдеуді шешсек, онда

$$\varphi = \frac{T_p^2 p^2 + T_k p + 1}{T_p^2 T p^2 + (T_p^2 + T_k T) p^2 + (T_k + T) p + (1 + k_0 k_p)} F. \quad (2.43)$$

Мұндағы

$$W(p) = \frac{T_p^2 p^2 + T_k p + 1}{T_p^2 T p^2 + (T_p^2 + T_k T) p^2 + (T_k + T) p + (1 + k_0 k_p)} \quad (2.44)$$

жүйенің беріліс функциясы болып табылады. Сонда (2.43) теңдеуін карапайым түрде былайша жазуға болады:

$$\varphi = W(p) F. \quad (2.45)$$

Автоматтық жүйе звеносының кірісінде бірнеше сигнал әсер етуі мүмкін. Мысалы, 2.9-суретте көрсетілген реттелінуші объект болған қозғауышқа екі шама әсер етуде. Оның (2.37) теңдеуін операторлық түрде жазып, түрлендіріп, қозғауыштың шығысындағы шамасын табайық. Сонда

$$\varphi = \frac{k_0}{T p + 1} \mu + \frac{1}{T p + 1} F = W_\mu(p) \mu + W_f(p) F. \quad (2.46)$$

Мұндағы $W_\mu(p)$ — объектінің μ реттеуші әсері бойынша беріліс функциясы; $W_f(p)$ — объектінің сыртқы ауытқыту әсері F бойынша беріліс функциясы.

Бұл беріліс функциялары *тұйықталмаған жүйенің беріліс функциялары* болып табылады.

Беріліс функциясы Лаплас түрлендіруі арқылы дәлірек түсіндіріліп анықталатынын айта кету керек. Тұйықталмаған жүйенің беріліс функциясы жүйе қатесінің, реттелінетін шаманың бастапқы нөлдік шамаларына және сыртқы ауытқыту әсерлері нөлге

тең болғандағы жағдайға сәйкес болған реттелінетін шама мен қатенің Лаплас бейнелерінің өзара қатынасы түрінде анықталады. Бірақ, біз бұл мәселеге тереңірек үңілмей, әзірге $p = d/dt$ операторы уақытқа тәуелді болған функциялардың дифференциалдық теңдеулерін символдық (операторлық) түрде жазу үшін ғана қолданатын боламыз.

Беріліс функциялары автоматтық жүйелердің динамикалық звеноларының арасындағы байланыстары көрсетіліп сызылған *структуралық схемаларын* пайдаланып, зерттеуге өте ыңғайлы болып табылады. Автоматтық жүйенің динамикалық звеноларының беріліс функциялары белгілі болса, онда бүкіл жүйенің беріліс функциясын оңай тауып алуға болады. Автоматтық жүйенің жалпы теңдеуін жазып шығару үшін оның звеноларының қалай жалғанғанын ескеру қажет болады.

2.4 Автоматтық жүйе звеноларының жиілік сипаттамалары

Әрбір динамикалық звено дифференциалдық теңдеуімен, беріліс функциясымен, уақыттық және жиілік сипаттамаларымен ерекшелінеді. Жоғарыда звенолардың дифференциалдық теңдеулері мен беріліс функциялары және уақыттық сипаттамалары туралы кейбір мағлұматтар берілген болатын. Енді динамикалық звенолардың сипаттамаларымен толығырақ танысайық.

Динамикалық звеноның жиілік сипаттамаларын *жиілік беріліс функциясы* және *жиілік сипаттамалары* деп екі түрге бөлуге болады.

Жиілік беріліс функциясымен танысу үшін 2.1-суретінде көрсетілген сызықты динамикалық звеноны алайық. Звеноға әсер ететін сыртқы ауытқуы $f(t) = 0$, ал, ішкі звенолар арасында амплитудасы X_1 , жиілігі ω болған гармоникалық функция түріндегі $x_1 = X_1 \cos \omega t$ сигналы әсер ететін болсын делік. Сонда, калыптасқан тепе-теңдік режимде звеноның шығысында жиілігі кірістегі шаманың жиілігімен бірдей, бірақ фазасы бойынша φ бұрышына жылжыған $x_2 = X_2 \cos(\omega t + \varphi)$ гармоникалық функциясы түріндегі шама келіп шығады. Эйлер формуласын қолданып, кірістегі және шығыстағы шамаларды экспоненциалды функциялар косындылары түрінде жазайық:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{x_1}{2} (e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}) = x_{1.1} + x_{1.2} \\ x_2 &= \frac{x_2}{2} (e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}) = x_{2.1} + x_{2.2} \end{aligned} \right\} \quad (2.47)$$

Суперпозиция принципі бойынша сызықты жүйелер үшін кірістегі шаманың құрастырушыларының жүйеден өтуін жеке-жеке қарастыруға болады. Мысалы, жүйеден $x_{1.1}$ шамасы өтсе, онда шығысында оған сәйкес $x_{2.1}$ шамасы келіп шығады делік. Сондықтан, $e^{-i\omega t}$ көбейтушісін алып тастап, символ түрінде $\cos\omega t = e^{i\omega t}$ деп қабылдасақ, онда төмендегіні жаза аламыз:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= X_1 e^{i\omega t}, \\ x_2 &= X_2 e^{i(\omega t + \varphi)}. \end{aligned} \right\} \quad (2.48)$$

Жоғарыда 2.1-суретінде көрсетілген звено

$$T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1 \quad (2.49)$$

дифференциалдық теңдеуімен өрнектелген болсын дегенбіз ($f(t) = 0$ болғанда). Бұл теңдеуге кіретін $\frac{dx_2}{dt} = i\omega X_2 e^{i(\omega t + \varphi)}$ туындысын (2.48) теңдеулерінен тауып алып, (2.49) теңдеуіне қойсақ,

$$iT\omega X_2 e^{i(\omega t + \varphi)} + X_2 e^{i(\omega t + \varphi)} = kX_1 e^{i\omega t}.$$

Звеноның шығысындағы және кірісіндегі шамаларының жиілік бейнелерінің өзара қатынасы $W(i\omega)$ жиілік беріліс функциясы деп аталады:

$$W(i\omega) = \frac{X_2(i\omega)}{X_1(i\omega)} = W(p)|_{p=i\omega}. \quad (2.50)$$

Жоғарыдағы теңдеуден

$$W(i\omega) = \frac{X_2}{X_1} e^{i\varphi} = A(\omega) e^{i\varphi} = \frac{k}{1+iT\omega}. \quad (2.51)$$

Мұндағы $A(\omega)$ — жиілік беріліс функциясының модулі.

Динамикалық звеноның жиілік беріліс функциясы оның беріліс функциясының өрнегіндегі p операторының орнына $i\omega$ -ні қойып табылады ((2.3) және (2.51) теңдеулерін салыстыр).

Жиілік беріліс функциясы комплексті сан болып табылады. (2.51) жиілік беріліс функциясын шынайы және жорымал бөліктеріне бөліп жазсақ:

$$W(i\omega) = \frac{k}{1+iT\omega} = \frac{k}{1+T^2\omega^2} - i \frac{kT\omega}{1+T^2\omega^2}. \quad (2.52)$$

Жалпы, жиілік беріліс функциясы

$$W(i\omega) = U(\omega) + iV(\omega) \quad (2.53)$$

түрінде жазылады. Мұндағы $U(\omega)$ және $V(\omega)$ жиілік беріліс функциясының шынайы және жорымал құраушылары.

Жиілік беріліс функциясының модулі мен фазасы (аргументі):

$$\left. \begin{aligned} A(\omega) &= |W(i\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}, \\ \varphi(\omega) &= \arg W(i\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}. \end{aligned} \right\} \quad (2.54)$$

Біздің қарастырып отырған мысалымызда:

$$\left. \begin{aligned} A(\omega) &= \frac{k}{\sqrt{1+T^2\omega^2}}, \\ \varphi(\omega) &= \arctg (-T\omega). \end{aligned} \right\} \quad (2.55)$$

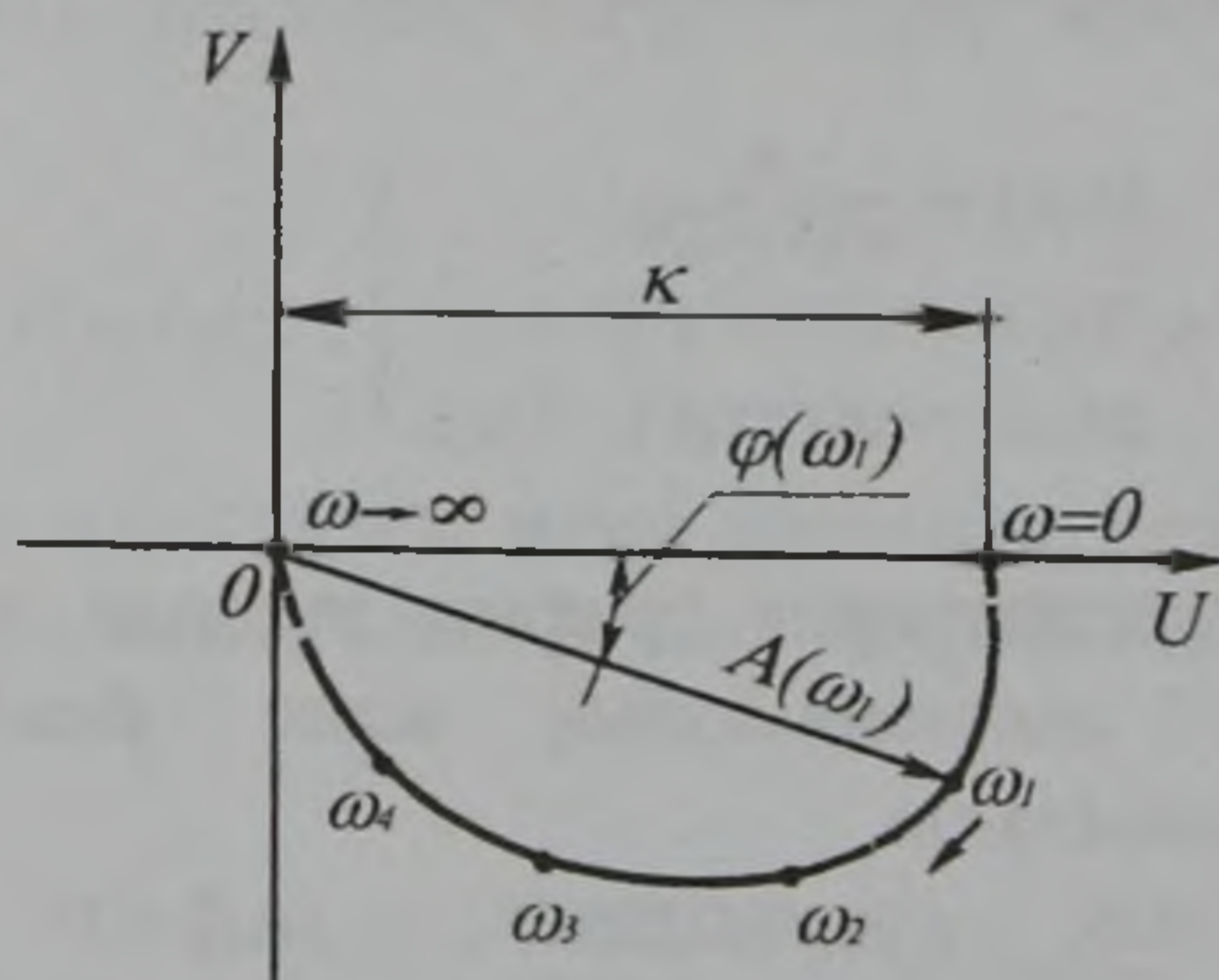
Звеноның жиілік қасиеттерін график түрінде көрсету үшін амплитудалы-фазалық, амплитудалық және фазалық жиілік сипаттамалар пайдаланылады.

Амплитудалы-фазалық сипаттама (а.ф.с) комплексті жазықтықта құрылады. 2.10 – суретте біздің мысалымызға сәйкесті а.ф.с. көрсетілген. Амплитудалы-фазалық сипаттама ω жиілігі нөлден шексізге дейін өзгеріп отырғандағы $W(i\omega) = U(\omega) + iV(\omega)$ жиілік беріліс функциясына сәйкесті векторлардың ұштарының геометриялық орны болып табылады. Комплексті жазықтықта абсциссалар өсі бойына $W(i\omega)$ беріліс функциясының $U(\omega)$ шынайы

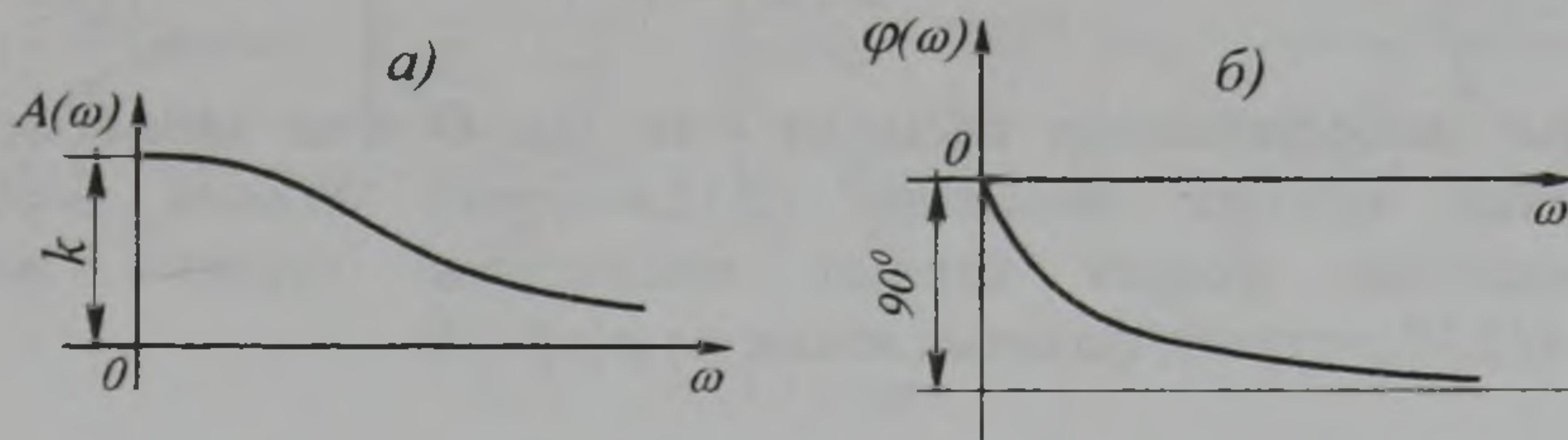
құраушысының, ординаталар өсі бойына $V(\omega)$ жорымал құраушысының сан мәндері салынып, векторлар ұштарының орындары нүктелермен белгіленеді де, олар арқылы қисықсызық сызылады. Табылған нүктелердің жанына сәйкесті жиіліктің мәнін қойып шығуға болады.

Координаталар өсінің басынан а.ф.с. қисықсызығының қандай да бір жиілігіне сәйкесті нүктесіне дейін жүргізілген вектордың ұзындығы жиілік беріліс функциясының модуліне тең болады. Вектор мен шынайы (абсциссалар) өсі арасындағы бұрыш жиілік беріліс функциясының фазасы, немесе аргументі болып табылады. Демек, а.ф.с. кірістегі сигналдың әрбір жиілігіне сәйкес болатын шығыстағы және кірістегі шамалардың амплитудалары арасындағы қатынасын және олардың арасындағы фазалық жылжуын көрнекі түрде анықтап береді.

Көп жағдайларда а.ф.с-тың орнына амплитудалық-жиілік (а.ж.с.) (2.11,а –сурет) және фазалық-жиілік (ф.ж.с.) (2.11,б–сурет) сипаттамаларын бөлек салып, сараптау ыңғайлы болады. Осындай сипаттамаларды салу үшін абсциссалар өсі бойына кірістегі шаманың жиілігінің сан мәндері салынады, ал, ординаталар өсінің бойына (2.54), немесе (2.55) формулалары бойынша табылған жиілік беріліс функциясының амплитудалары мен фазаларының сан мәндері салынып, қисықсызықтар сызылады.



2.10 – сурет



2.11 – сурет

2.5 Автоматтық жүйелердің типтік динамикалық звенолары

Дифференциалды теңдеулерінің тәртібі екіден аспайтын автоматтық жүйелердің құрылымдарын *типтік динамикалық звенолар* деп атайды. Олар негізінен *позициялық, интегралдаушы және дифференциалдаушы типтік звенолар* болып жіктеледі. Осы айтылған типтік звеноларды қарастырып өтейік.

2.5.1 Позициялық звенолар

Позициялық звеноларға инерциясыз (идеал), бірінші тәртіпті апериодикалық, екінші тәртіпті апериодикалық, тербетуші және консервативті звенолар жатады.

Инерциясыз (идеал) звено. Бұл звеноның динамикасы алгебралық теңдеумен бейімделеді:

$$x_2 = kx_1. \quad (2.57)$$

Беріліс функциясы k тұрақты санына тең болады:

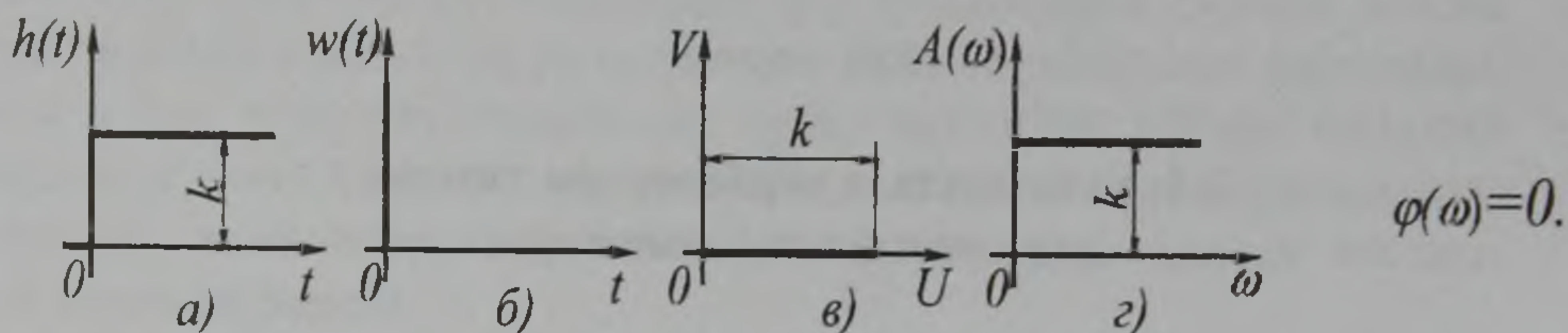
$$W(p) = k. \quad (2.58)$$

Звеноның кірісінде $x_1(t) = 1(t)$ бірлік функциясы әсер еткен кездегі өткінші функциясы $h(t) = x_2(t) = k \cdot 1(t)$ түріндегі сатылы функция болып табылады. Салмақ функциясы, ауданы k -ға тең болған $w(t) = k\delta(t)$ импульсті функция (2.12,б – сурет).

Звеноның жиілік беріліс функциясы

$$W(i\omega) = k. \quad (2.59, a)$$

А.ф.с. координаталар басынан k -ға тең болған қашықтықта орналасқан нүктеге айналады (2.12, в-сурет). Жиілік беріліс функциясының модулі барлық жиіліктерде тұрақты және $A(\omega) = k$ (2.12, з-сурет), фазалық жылжуы $\varphi(\omega) = 0$.



2.12 – сурет

Бірінші тәртіпті апериодикалық звено. Бұл звеноның динамикасы бірінші тәртіпті дифференциалдық теңдеумен бейімделеді:

$$T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1. \quad (2.59)$$

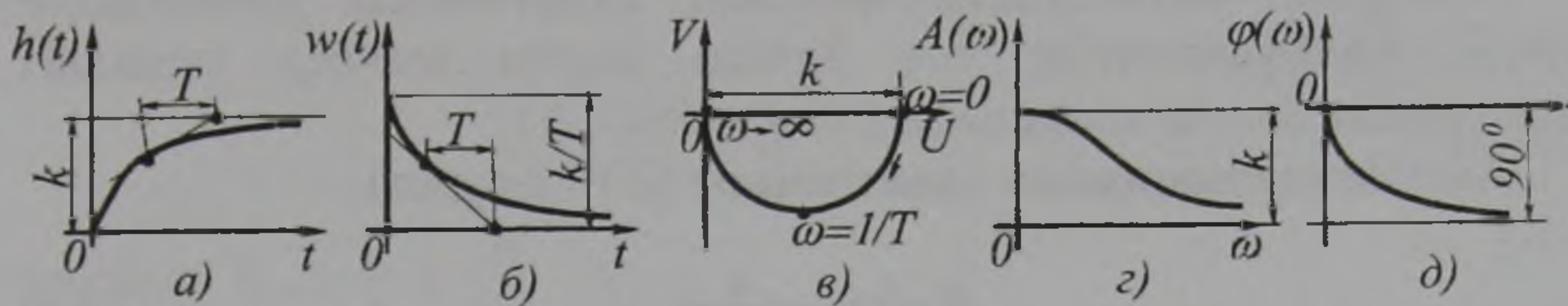
Беріліс функциясы

$$W(p) = \frac{k}{1+Tp}. \quad (2.60)$$

Звеноның өткінші функциясы экспонента болып табылады (2.13, а-сурет):

$$h(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \cdot 1(t). \quad (2.61)$$

Бұл формуладағы $1(t)$ көбейткіші көп жағдайларда жазылмайды ((2.24) теңдеуін де қара). Бұдан әрі қарай $1(t)$ көбейткіші экспонента $t = 0$ уақыт мезетінен басталып қарастырылатынын көрсететінін естен шығармау керек.



2.13 – сурет

Апериодикалық звенолардың теңдеуінде кездесетін T шамасы *уақыт тұрақтысы* деп аталады және секундамен өлшенеді. Ол өткінші сипаттамасы графигінің кез келген нүктесі арқылы жүргізілген жанаманың шығыстағы шаманың қалыптасқан мәнінің сызығымен қиылысқан нүктесіне дейінгі ұзындығының абсциссалар (уақыт) өсіне түсірілген проекциясының масштабтағы сан мәніне тең болады (2.13,а-сурет). Уақыт тұрақтысы апериодикалық звеноның инерциялығын көрсетеді. Уақыт тұрақтысының сан мәні шығыстағы шама өзінің $x_2 = kx_1$ қалыптасқан мәніне қаншалықты тез жететінін сипаттайды. Әдетте бұл уақыт ұзақтығы $3T$ -ге тең болады деп қабылданады.

Кезі келгенде айта кететін жәй – жоғарыда қарастырылып өткен идеал немесе инерциясыз звено T уақыт тұрақтысы есепке алынбайтындай мардымсыз кішкене болған звено болып табылады. Идеал звено инерциялығы жоқ, кірісінде x_1 сигналы әсер еткен мезетте шығысында лезде $x_2 = kx_1$ шамасын беретін, звено болып табылады. Математика тұрғысынан алғанда, бұл – звено динамикасының (2.57) теңдеуі (2.59) өрнегінен, шамасы мардымсыз кішкене болғандықтан, T уақыт тұрақтысын алып тастағанда келіп шығады.

Бірінші тәртіпті апериодикалық звеноның $w(t)$ салмақ функциясы (2.13,б-сурет) өткінші функциясының дифференциалына тең:

$$w(t) = \frac{k}{T} e^{-t/T} \cdot 1(t). \quad (2.62)$$

Звеноның жиілік беріліс функциясы

$$W(i\omega) = \frac{k}{1+i\omega T}. \quad (2.63)$$

Звеноның амплитудалық-фазалық сипаттамасы диаметрі k беріліс коэффициентіне тең болған жарты шеңбер түріндегі қисықсызық болып шығады (2.13,в-сурет).

Амплитудалық жиілік сипаттамасы (2.13,г-сурет)

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}, \quad (2.64)$$

фазалық сипаттамасы (2.13,д-сурет)

$$\varphi(\omega) = -\arctg \omega T. \quad (2.65)$$

Амплитудалық жиілік сипаттама графигінен кіші жиіліктегі тербелістер шығыстағы және кірістегі шамаларының амплитудаларының қатынастары k беріліс коэффициентінің мәніне жақын болатынын, ал жоғарғы жиіліктермен тербеліс кезінде аталған қатынастардың мәндері тез төмендеп кететінін көреміз. Бұл жоғарғы жиіліктегі тербелістер звенодан өте кішкентай амплитудалармен өтетінін, іс жүзінде тіпті өтпей қалады деп айтуға болатынын көрсетеді. T уақыт тұрақтысының сан мәні неғұрлым кішкене болса, соғұрлым звеноның инерциялығы кішкене және $A(\omega)$ амплитудалық жиілік сипаттамасының қисықсызығы ұзынырақ созылған болады. Бұл звеноның жиіліктерді өткізу алқабы кең болатынын көрсетеді. Звеноның шығысындағы шаманың кірісіндегісіне карағанда қалыс қалуы 90° -қа ұмтылады (2.13,а-суретті қара).

Екінші тәртіпті апериодикалық звено. Звеноның дифференциалдық теңдеуі төмендегі түрде жазылады:

$$T_2^2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + T_1 \frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1. \quad (2.66)$$

Бұл звено үшін $T_2^2 p^2 + T_1 p + 1 = 0$ сипаттаушы теңдеуінің түбірлері ақиқат мәнді болуы керек. Бұл шарт $T_1 \geq 2T_2$ болғанда орындалады. Теңдеуді операторлық түрде жазсақ, онда

$$(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1)x_2 = kx_1, \quad (2.67)$$

немесе

$$(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)x_2 = kx_1. \quad (2.68)$$

Мұндағы $T_{3,4} = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - T_2^2}$.

Звеноның беріліс функциясы

$$W(p) = \frac{k}{(1+T_3 p)(1+T_4 p)}. \quad (2.69)$$

(2.69) тендеуі екінші тәртіпті апериодикалық звено жалпы беріліс коэффициенті k , уақыт тұрақтылары T_3 және T_4 болған тізбектеліп жалғанған екі бірінші тәртіпті апериодикалық звеноларға эквивалентті болатынын көрсетеді.

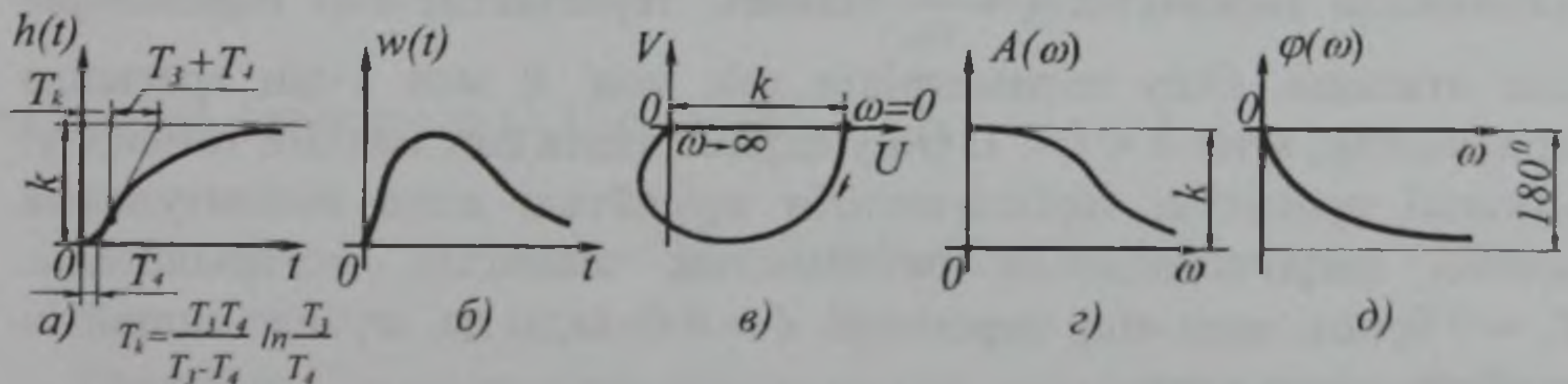
Звеноның өткінші және салмақ функциялары (2.14 – сурет):

$$h(t) = k \left(1 - \frac{T_2}{T_2 - T_4} e^{-t/T_2} + \frac{T_4}{T_2 - T_4} e^{-t/T_4} \right) \cdot 1(t), \quad (2.70)$$

$$w(t) = \frac{k}{T_2 - T_4} (e^{-t/T_2} - e^{-t/T_4}) \cdot 1(t). \quad (2.71)$$

Звеноның жиілік беріліс функциясы

$$W(i\omega) = \frac{k}{(1+i\omega T_2)(1+i\omega T_4)}. \quad (2.72)$$



2.14 – сурет

Звеноның амплитудалық-фазалық сипаттамасы абсциссалар өсіндегі координатасы k беріліс коэффициентіне тең болған

нүктеден басталып, екі квадрантты қамтып, координата басына ұмтылатын қисықсызық түрінде келіп шығады (2.14, в-сурет).

Амплитудалық жиілік сипаттамасы (2.14, г-сурет)

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1+\omega^2 T_3^2} \sqrt{1+\omega^2 T_4^2}}, \quad (2.73)$$

фазалық сипаттамасы (2.14, д-сурет)

$$\varphi(\omega) = -\arctg \omega T_3 - \arctg \omega T_4. \quad (2.74)$$

Звеноның амплитудалық жиілік сипаттамасының түрі бірінші тәртіпті апериодикалық звенонікіне ұқсас болады, ал фазалық жылжуы -180° -қа ұмтылады (2.14, д-сурет).

Тербетуші звено. Бұл звено екінші тәртіпті апериодикалық звено тәрізді (2.66) дифференциалды теңдеуімен бейімделеді. Бірақ звено тербетуші болуы үшін сипаттаушы $T_2^2 p^2 + T_1 p + 1 = 0$ теңдеуінің түбірлері кешен сан болуы керек. Бұл шарт $T_1 < 2T_2$ болғанда орындалады. Екінші тәртіпті апериодикалық звенолардың теңдеуіндегі T_1 және T_2 уақыт тұрақтыларының ара қатынасы үлкен рөл ойнайды. Егер T_1 -дің сан мәні T_2 -ден үлкен болса, онда апериодикалық өткінші процес орын алады. Егер керісінше T_1 -дің сан мәні T_2 -ден кіші болса, өткінші процес тербеліс түрінде болады. Екінші тәртіпті звенолардағы T_1 тұрақтысы звеноның меншікті тербелісінің өшуін (демпфирленуін), ал, T_2 тербелістің өршуін сипаттайды. Сондықтан, осы екі шаманың арасындағы өзара қатынасын көрсететін $\zeta = \frac{T_1}{2T_2}$ шамасы тербелістің *өшу параметры* деп аталады. Өшу параметрінің сан мәні 0 мен 1-дің арасында орналасқан, яғни $0 < \zeta < 1$. Өшу параметрінің сан мәнінің төмендеуі өткінші процестің тербелушілігін күшейтеді және амплитудалық жиілік сипаттамасының резонанстық шамасын жоғарылатады. $T_1 = 0$ болса, онда өшу параметрі $\zeta = 0$ болады да, жүйеде өшпейтін тербеліс орын алады.

Өшу параметрін (2.66) теңдеуіне енгізсек, тербетуші звеноның динамикасының теңдеуі

$$(T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1)x_2 = kx_1, \quad (2.75)$$

немесе

$$\left(\frac{p^2}{q^2} + \frac{2\zeta p}{q} + 1\right)x_2 = kx_1 \quad (2.76)$$

түрінде келіп шығады. Мұндағы $T = \frac{2T_2^2}{T_1}$ – уақыт тұрақтысы, $q = 1/T$ – еркін тербелістің бұрыштық жиілігі.

Тербетуші звеноның беріліс функциясы

$$W(p) = \frac{k}{1+2\zeta Tp+T^2p^2} = \frac{k}{1+\frac{2\zeta p}{q}+\frac{p^2}{q^2}} \quad (2.77)$$

(2.75) дифференциалды теңдеуін шешу үшін оның сипаттаушы $T^2p^2 + 2\zeta Tp + 1 = 0$ теңдеуінің түбірлерін тауып алу керек. Бұл теңдеудің шешімі:

$$p_{1,2} = -\frac{\zeta}{T} \pm i\frac{1}{T}\sqrt{1-\zeta^2}. \quad (2.78)$$

Түбірлердің $\gamma = \frac{\zeta}{T}$ шынайы бөлігі *өткінші процестің өшу коэффициенті*, ал, $\lambda = \frac{1}{T}\sqrt{1-\zeta^2}$ жорымал бөлігі *өшетін тербелістің жиілігі* болып табылады.

Звеноның дифференциалды теңдеуінің шешімі ретінде табылатын өткінші функциясы (2.15,а-сурет)

$$h(t) = k \left[1 - e^{-\gamma t} \left(\cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \sin \lambda t \right) \right] \cdot 1(t), \quad (2.79)$$

ал, салмақ функциясы (2.15,б-сурет)

$$w(t) = \frac{kq^2}{\lambda} e^{-\gamma t} \sin \lambda t \cdot 1(t). \quad (2.80)$$

Графикте T уақыт тұрақтысының сан мәнін өткінші тербеліс процесін көрсететін қисықсыздыққа жанамаланған экспонентіне жанама түзу сызық жүргізу арқылы тауып алуға болады (2.15,а-сурет). Бұл шама экспонентадағы жанаманың нүктесі мен жанаманың шығыстағы сигналдың жаңадан қалыптасқан мәнінің түзу сызығымен қиылысқан нүктесі ара қашықтығының уақыт өсіне

түсірілген проекциясына тең болады. Осыдан кейін өткінші және салмақ функциялары графиктерінен λ және γ шамаларының сан мәндерін де тауып алуға болады:

$$\gamma = \frac{\lambda}{\pi} \ln \frac{A_1}{A_2} = \frac{\lambda}{\pi} \ln \frac{B_1}{B_2}. \quad (2.81)$$

Звеноның жиілік беріліс функциясы

$$W(i\omega) = \frac{k}{1+i\omega 2\zeta T - \omega^2 T^2} = \frac{k}{1+i\frac{\omega 2\zeta}{q} - \frac{\omega^2}{q^2}}, \quad (2.82)$$

амплитудалық жиілік сипаттамасы (2.15, з-сурет)

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1-\omega^2 T^2)^2 + 4\zeta^2 \omega^2 T^2}}, \quad (2.83)$$

фазалық жиілік сипаттамасы (2.15, д-сурет)

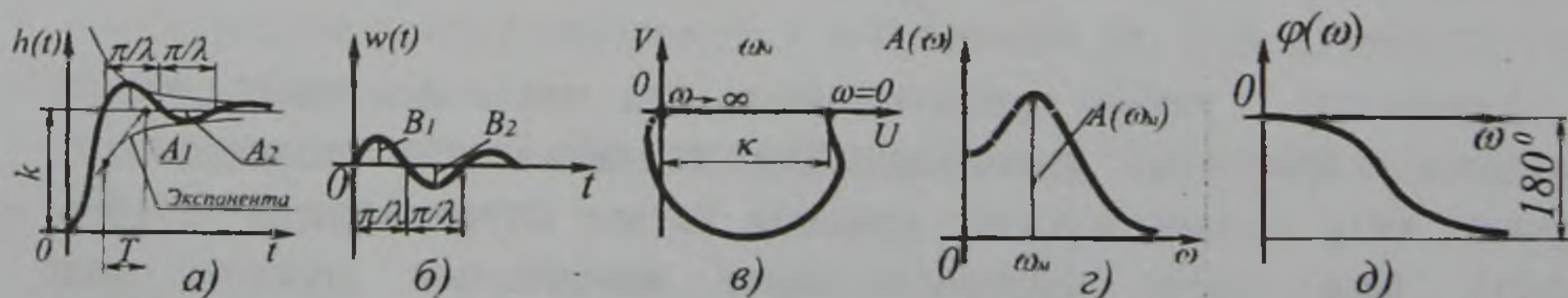
$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\zeta\omega T}{1-\omega^2 T^2}. \quad (2.84)$$

Амплитудалық жиілік сипаттама $A(\omega)$ өзінің ең үлкен резонанстық

$$A(\omega_m) = \frac{k}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.85)$$

мәнімен сипатталынады. А.ж.с-ның осы максимал мәніне сәйкесті жиілік

$$\omega_m = q\sqrt{1-2\zeta^2}. \quad (2.86)$$



2.15 – сурет

Консервативті звено. Бұл звено демпфирлеуі жоқ, яғни $\zeta = 0$ болған тербетуші звено болып табылады, Оның оперторлық түрде жазылған теңдеуі

$$(T^2 p^2 + 1)x_2 = kx_1 \quad (2.87)$$

түріне енеді.

Звеноның беріліс функциялары:

$$W(p) = \frac{k}{1+T^2 p^2} = \frac{k}{1+p^2/q^2}, \quad (2.88)$$

$$W(i\omega) = \frac{k}{1-\omega^2 T^2} = \frac{k}{1-\omega^2/q^2}. \quad (2.89)$$

Звеноның демпферленуі жоқ болғандықтан, оның өткінші сипаттамасы амплитудасы тұрақты kx_1 -ге тең, жиілігі q болған өшпейтін периодикалық тербеліс түрінде келіп шығады (2.16,а-сурет):

$$h(t) = k(1 - \cos qt) \cdot 1(t). \quad (2.90)$$

Бұл функцияны дифференциалдасак, онда салмақ функциясы (2.16,б-сурет)

$$w(t) = kq \sin qt \cdot 1(t). \quad (2.91)$$

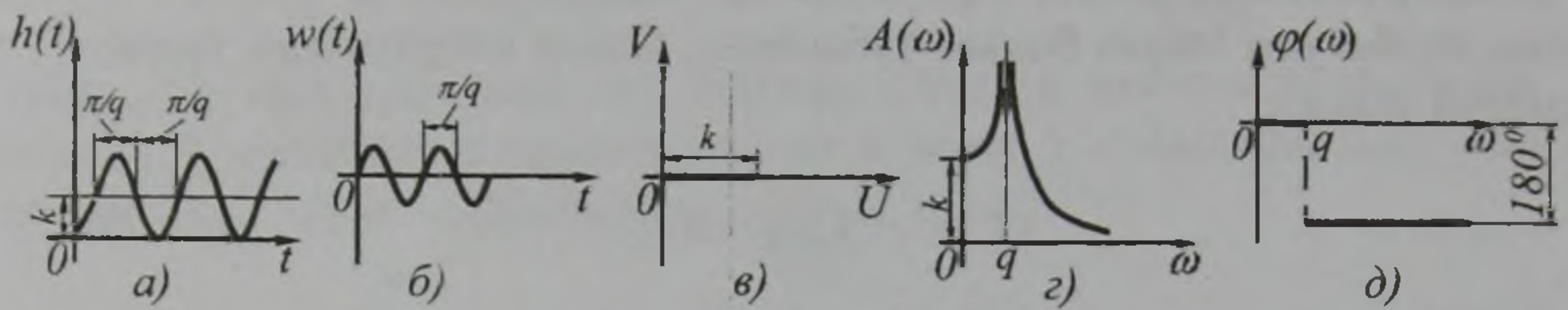
Звеноның амплитудалық жиілік сипаттамасы

$$A(\omega) = \frac{k}{|1-\omega^2 T^2|}, \quad (2.92)$$

ал, фазалық сипаттамасы $\varphi = 0^\circ$ ($0 < \omega < q$ болғанда) және $\varphi = -180^\circ$ ($\omega > q$ болғанда).

Кірістегі шаманың жиілігі $\omega = q$ болғанда жиілік беріліс функциясының модулі шексізге айналып кетеді, ал, фазасы 180° -қа секіріп өтеді (2.16,г-сурет).

Амплитудалық-фазалық сипаттамасы абсциссалар (шынайы) өсінің бойында және $0 < \omega < q$ болғанда осы өстің оң жағында орналасқан болады.



2.16 – сурет

Жоғарыда қарастырылып өткен апериодикалық звенолар инерциялық болғандықтан, шығыстағы шаманың әртүрлі болған кешігуі орын алады. Кей жағдайларда шығыстағы шамасы кешігіп, бірақ қандай да бір τ уақыты өткеннен кейін кірістегі шаманың түрін идеал кайталап шығаратын звенолар да кездеседі. Басқаша айтқанда, мұндай звенолар өзінің шығысында кірістегі шаманы *таза кешіктіріп* шығарады (2.17–сурет). Бұл звеноның динамикасының теңдеуі төменгі түрде жазылып шығарылады:

$$x_2 = kx_1(t - \tau) . \quad (2.93)$$

2.5.2 Дифференциалдаушы және интегралдаушы звенолар

Автоматтық жүйелерде *дифференциалдаушы және интегралдаушы* деп аталатын звенолар да жиі қолданылады.

Дифференциалдаушы идеал звено шығысында кірістегі шаманың уақыт бойынша таза туындысын шығарып береді, яғни

$$x_2 = k \frac{dx_1}{dt} . \quad (2.94)$$

Звеноның өткінші сипаттамасы 2.18,а–суретте көрсетілген. (2.96) теңдеуіне сәйкес звеноның кірісінде x_1 шамасы лезде секіріп берілсе, онда $x_1 = 0$ болғанда және ол өзінің жаңа мәніне тең болғанында, $x_2 = 0$ болып қала береді. Тек $t = 0$ нүктесінде, x_1 -дің секіріп өзгеруі мезетінде $\frac{dx_1}{dt}$ нөлге тең болып қалмайды. Ол осы мезетте шексізге жетіп, лезде қайтадан нөлге дейін төмендейді, яғни өткінші сипатама ілездік импульс түрінде болып шығады. Суретте оның өзгеруі стрелкалармен көрсетілген.

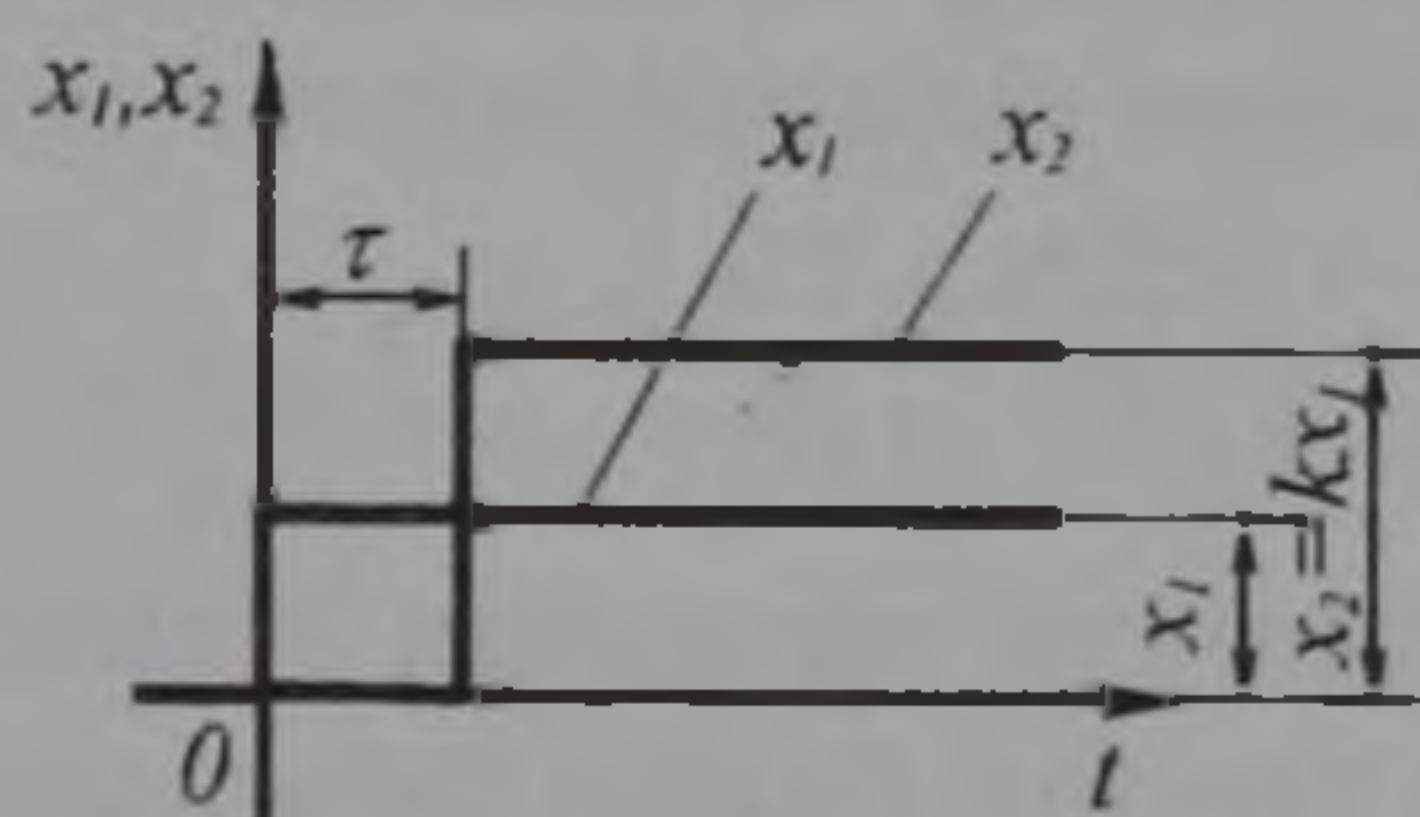
Кірісіндегі шаманың уақыт бойынша таза туындысын шығарып беретін дифференциалдаушы идеал құрылымды іс жүзінде жасап шығару кез келген уақытта мүмкін емес. Іс жүзінде әрбір құрылымның уақыт тұрақтысымен сипатталатын инерциялық қасиеті бар. Сондықтан *дифференциалдаушы инерциялы (бәсеңдетіп дифференциалдаушы) звено* төмендегі теңдеумен бейімделеді:

$$T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = k \frac{dx_1}{dt}. \quad (2.95)$$

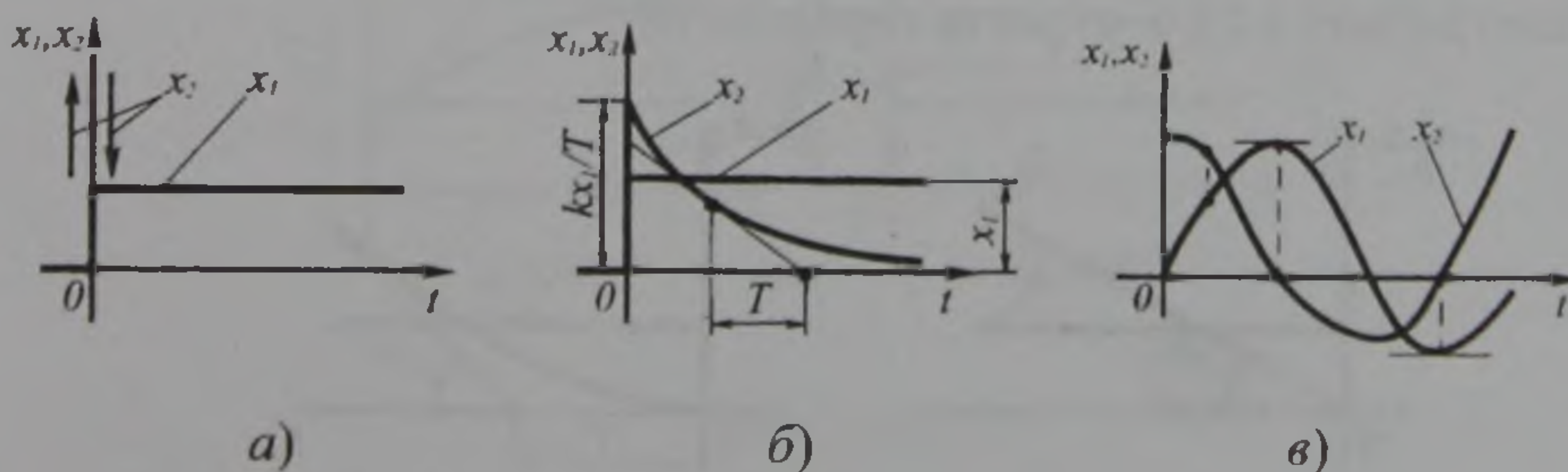
Дифференциалдаушы инерциялы звеноның өткінші сипаттамасы 2.18,б –суретте көрсетілген. Бұл сипаттама (2.97) теңдеуінің шешімі болып табылады:

$$x_2 = \frac{kx_1}{T} e^{-t/T}. \quad (2.96)$$

Суреттен $T = 0$ болғанда график лездік импульске айналып кететінін анық көруге болады.



2.17 – сурет



2.18 – сурет

Дифференциалдаушы идеал звеноның өткінші функциясы оның жұмысын көрнекі түрде сипаттамайды. Сондықтан, түсініктірек болу үшін 2.18,в –суретте кірістегі x_1 шамасының қалай болса солай өзгеруі кезіндегі шығыстағы x_2 шамасының графигі көрсетілген.

Интегралдаушы идеал звено шығысындағы шаманы кірісіндегі шаманың уақыт бойынша интегралына пропорционал етіп шығаратын звено болып табылады. Оның теңдеуі

$$x_2 = \int x_1(t)dt. \quad (2.97)$$

Бұл теңдеуді төмендегі түрде де жазуға болады:

$$\frac{dx_2}{dt} = kx_1. \quad (2.98)$$

Интегралдаушы идеал звеноның өткінші сипаттамасы, (2.97) теңдеуіне сәйкес, қисайған $x_2(t)$ түзу сызық түрінде шығады (2.19,а- сурет).

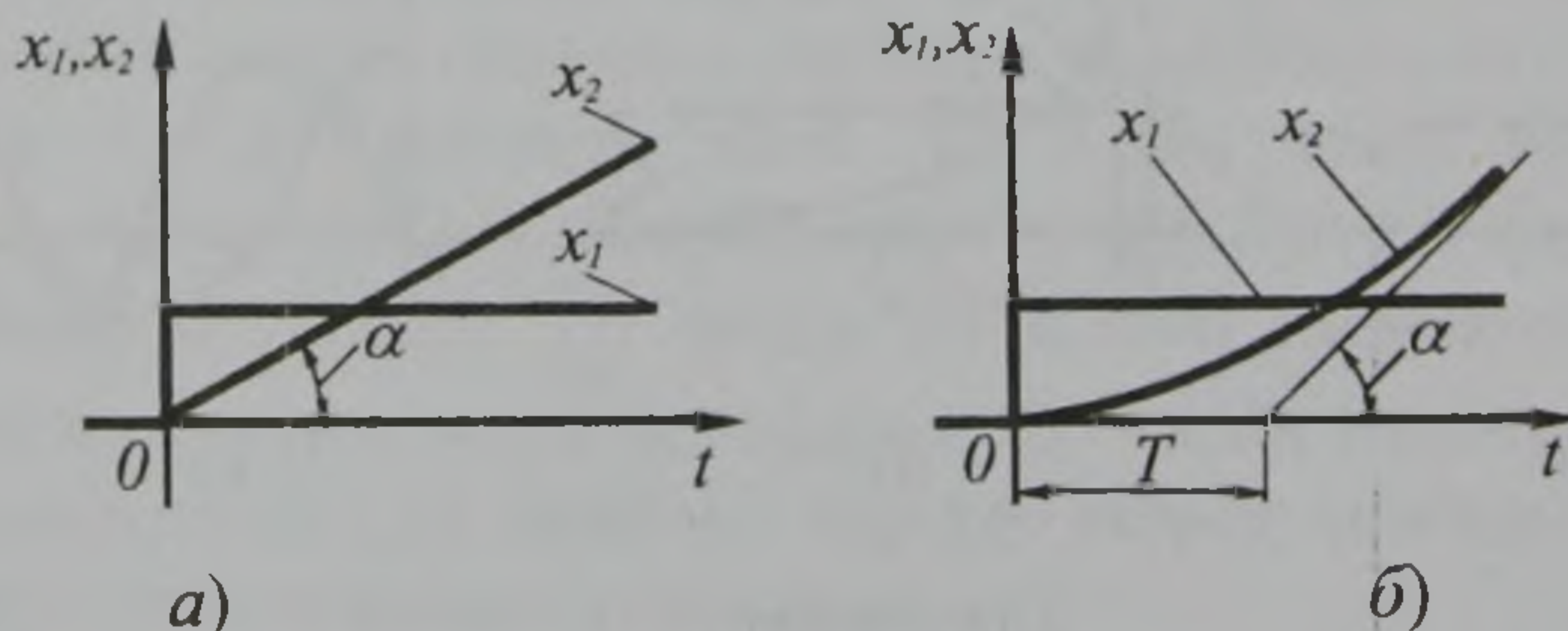
Интегралдаушы инерциялы (бәсеңдетіп интегралдаушы) звено динамикасының теңдеуі:

$$T \frac{d^2 x_2}{dt^2} + \frac{dx_2}{dt} = kx_1. \quad (2.99)$$

Интегралдаушы инерциялы звеноның өткінші сипаттамасының теңдеуі (2.99) теңдеуінің шешімі болып табылады, яғни

$$x_2 = kx_1 t - kx_1 T(1 - e^{-t/T}), \quad (2.100)$$

ал, оның графигі 2.19,б–суретте көрсетілген.



2.19 – сурет

Қарастырылған звенолармен қатар автоматтық жүйелерде теңдеулеріне туынды және интеграл енгізілген апериодикалық звенолар да қолданылады. Туынды енгізілген апериодикалық звеноның теңдеуі

$$T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = k_1 x_1 + k_2 \frac{dx_1}{dt}. \quad (2.101)$$

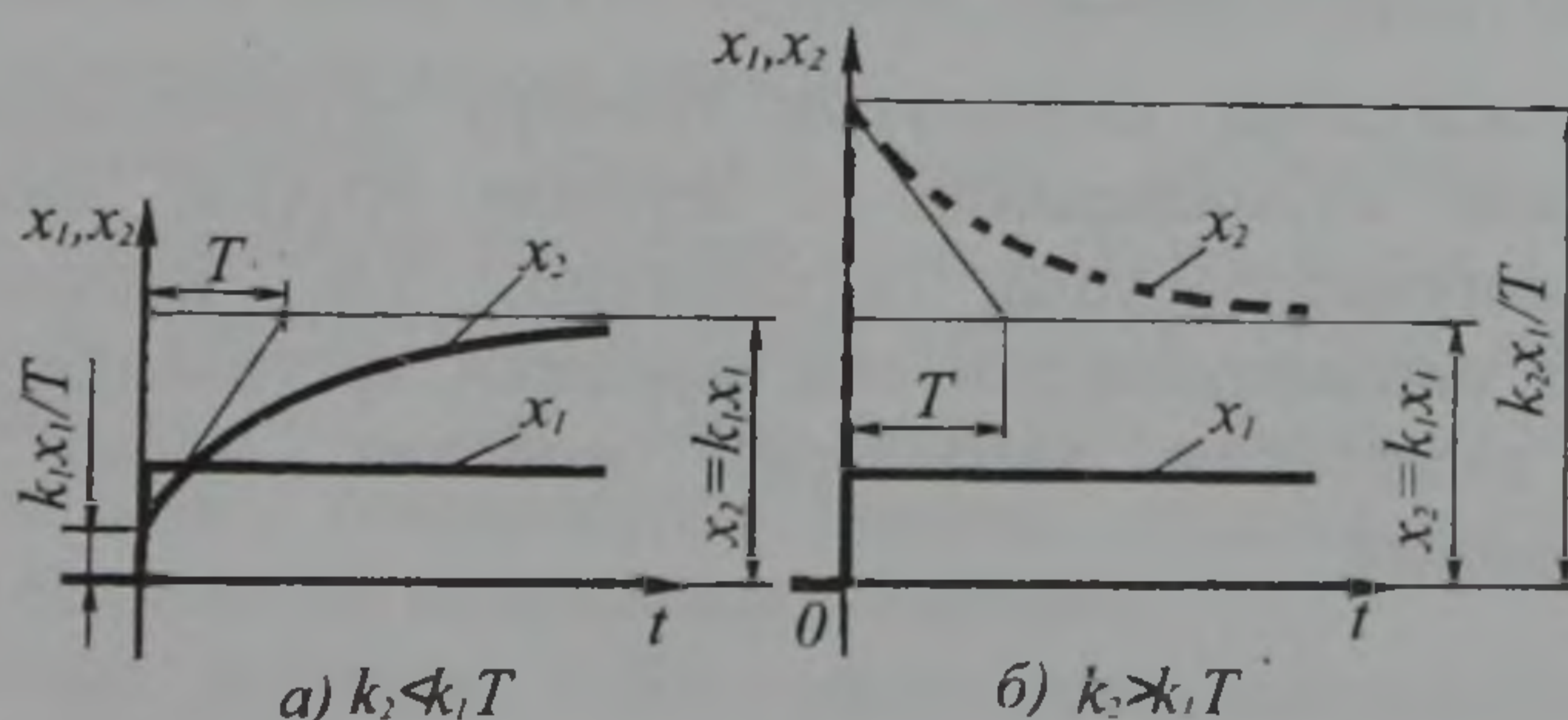
Звеноның өткінші сипаттамасы (2.101) теңдеуінің шешімі түрінде табылады:

$$x_2 = k_1 x_1 \left[1 - \left(1 - \frac{k_2}{k_1 T} \right) e^{-t/T} \right]. \quad (2.102)$$

Звеноның өткінші сипаттамасының түрі T уақыт тұрақтысының сан мәніне, k_1 және k_2 коэффициенттерінің қатынасына тәуелді болады. 2.20 – суретте өткінші процес қисықсызықтарының $k_2 < k_1 T$ және $k_2 > k_1 T$ болғандағы сипаттары көрсетілген. Егер $k_2 = k_1 T$ болса, онда идеал звеноның өткінші сипаттамасы келіп шығады. Демек, бұл жағдай (2.101) теңдеуінің екі жағында орналасқан туындылары тең болып, жоғалып кетуіне сәйкес келеді.

Интеграл енгізілген апериодикалық звеноның теңдеуі

$$T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = k_1 x_1 + k_3 \int x_1(t) dt. \quad (2.103)$$



2.20 – сурет

Бұл теңдеуді дифференциалдап, басқаша мына түрде жазып шығуға болады:

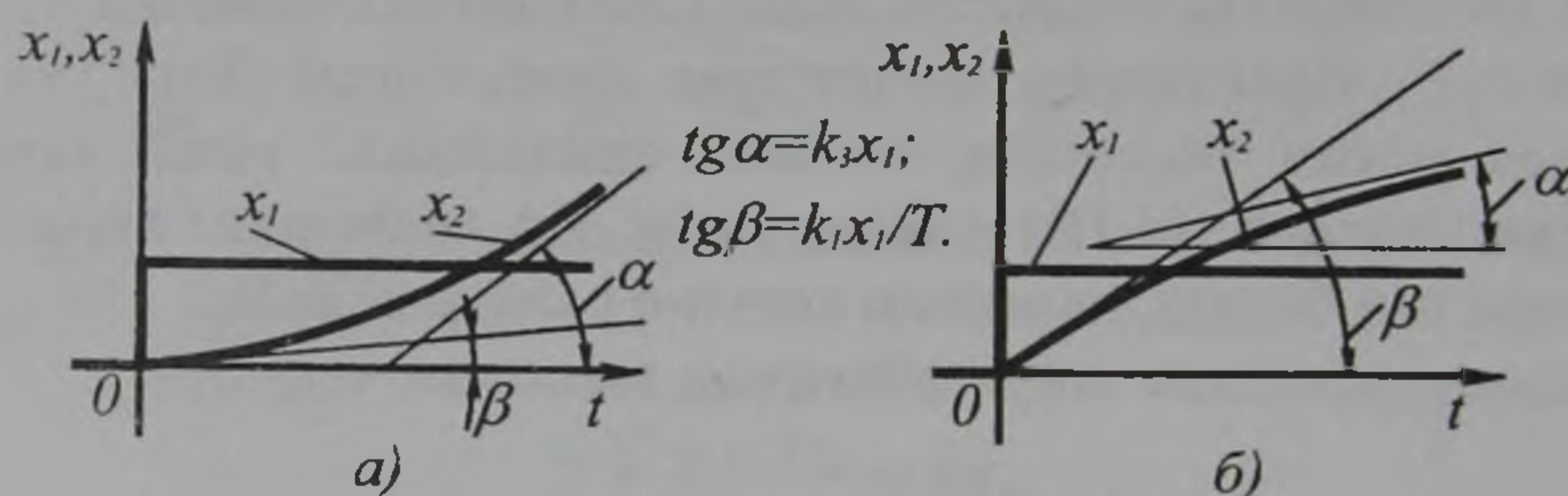
$$T \frac{d^2 x_2}{dt^2} + \frac{dx_2}{dt} = k_1 \frac{dx_1}{dt} + k_3 x_1. \quad (2.104)$$

Звеноның өткінші сипаттамасының теңдеуі:

$$x_2 = k_3 x_1 t - k_3 x_1 T \left(1 - \frac{k_1}{k_3 T}\right) (1 - e^{-t/T}). \quad (2.105)$$

2.21-суретте осы звеноның өткінші процесі қисықсызықтарының $k_1 < k_3 T$ және $k_1 > k_3 T$ болғандағы сипаттары көрсетілген. Ал, $k_1 = k_3 T$ болғанда звено интегралдаушы идеал звеноға айналып кетеді.

Егер (2.99) және (2.104) теңдеулерін салыстырып карасак, онда интеграл енгізілген апериодикалық звено интегралдаушы инерциялы звеноға эквивалентті екенін көреміз.



2.21 – сурет

Қазіргі жағдайда автоматтық басқару жүйелерінде, электр тізбектері мен схемаларында іс жүзінде әртүрлі элементтерді (мысалы, корректорлаушы, күшейтуші, т.б. құрылымдарды) пайдаланып, параметрлерінің сан мәндерін әртүрлендіру арқылы қасиеттері өзгертілген звеноларды жобалап, жасап шығарып қолдануға болады.

3 СТРУКТУРАЛЫҚ СХЕМАЛАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТҮРЛЕНДІРУ

Автоматтық басқарушы жүйенің (АБЖ) әрбір элементар звеносының немесе бүкіл жүйенің жұмысының динамикасы дифференциалдық теңдеулермен бейнеленіп жазылады. Жоғарыда біз АБЖ және оның элементтерінің жұмысын зерттеу барысында теңдеулерін сараптау үшін операциялық есептеу қолданылады дегенбіз. Осының нәтижесінде АБЖ-нің, немесе оның звеносының дифференциалдық теңдеуі өзгертіліп, операторлық түрінде жазылады. Операциялық есептеу теңдеулерді математикалық зерттеуді ықшамдап, есептеу процесін жеңілдетіп, олардың шешімдерін, классикалық жолмен емес, әлдеқайда карапайым жолмен тауып алуға мүмкіндік береді.

Егер элементар звеноның теңдеуі операторлы түрде жазылған болса, онда шығудағы сигналдың кірістегі сигналға қатынасына сәйкес келетін шама автоматты реттеуші жүйелері теориясында қолданылатын өте маңызды ұғым – $W(p)$ беріліс функциясына тең болады.

Автоматтық басқару жүйесінің статикалық және динамикалық қасиеттерін аналитикалық зерттеу реттеуіштің сапасын жақсарту, жасап шығарып, орнату және пайдалануға ұсыну уақытын біршама қысқартады. Бұл зерттеулер, жүйеде реттеу процестерінің қолайлы болуын қамтамасыз ететін мақсатпен орындалатын, жүйенің орнықтылығын есептеу, өткінші процестердің түрлерін анықтау және звенолардың және бүкіл жүйенің параметрлерін тағайындап алу жұмыстарының қатарына жатады.

Осы жұмыстарды орындау үшін автоматтық жүйенің процестерін бейнелейтін теңдеулер белгілі болуы керек. Сондықтан әрбір берілген автоматтық жүйенің теңдеуін дұрыс құрастырып алудың маңызы өте зор. Осы мақсатта АБЖ теориясында дифференциалдық теңдеулерді график түрінде бейнелейтін структуралық схемалар кеңінен қолданылады.

Автоматтық реттеуші жүйе тұйықталған динамикалық жүйе болып табылады. Бірақ, оны зерттеп шығу мақсатында оны тұйықталмаған түрінде қарастырған қолайлы. Ол үшін жүйенің негізгі әсер ететін контурының бір жерін үзіп тастау керек болады. Бұл жағдайда үзілген байланыстың бір жағы жүйенің бір

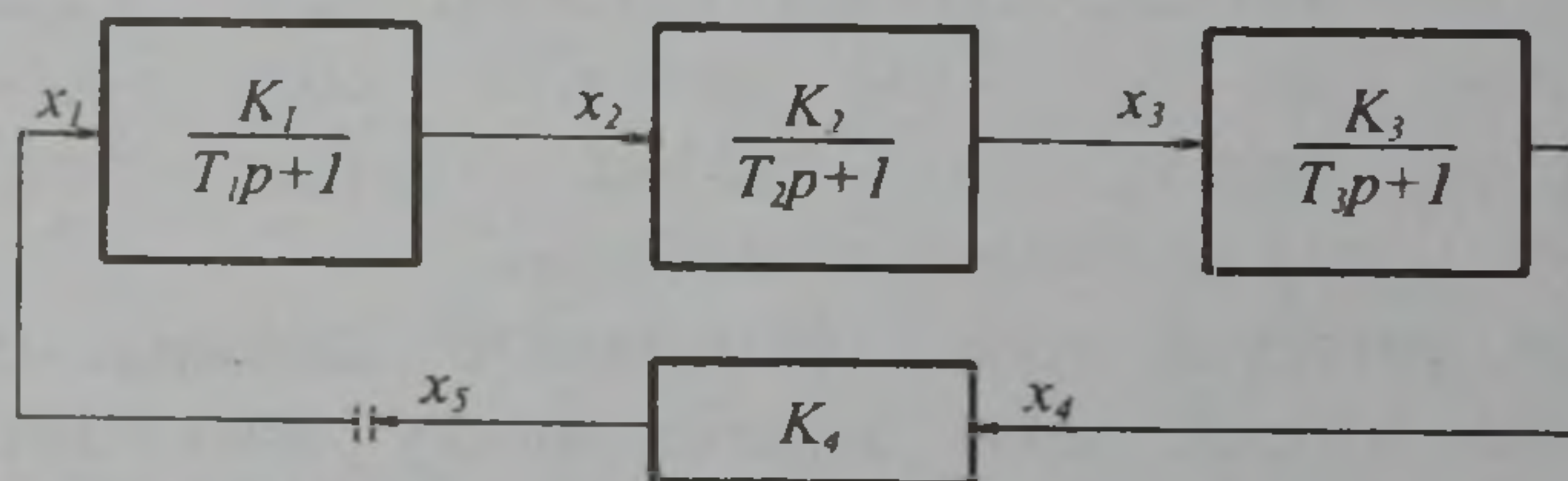
элементінің кірісімен, ал екінші жағы екінші элементтің шығысымен жалғасқан болып шығады. Сонда осы байланыстың үзілген жақтарының бірін тұйықталмаған жүйенің кірісіндегі, екіншісін шығысындағы сигнал деп қарастырамыз. Мысалы, 3.1-суретте көрсетілген жүйені қарастырайық. Жүйе тізбектеліп жалғанған үш периодикалық және бір идеалды звенодан тұрады. Жүйенің бір байланысын үзіп тастасақ, ол тұйықталмаған жүйеге айналады. Жүйенің құрамына кіретін звенолар T_1, T_2, T_3 уақыт тұрақтыларымен және K_1, K_2, K_3, K_4 коэффициенттерімен сипатталынған. Звенолардың беріліс функциялары белгілі болғандықтан жүйенің координаталары арасындағы байланыстар төмендегі тендеулер жүйесі арқылы өрнектеледі:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \frac{K_1}{T_1 p + 1} x_1, \\ x_3 &= \frac{K_2}{T_2 p + 1} x_2, \\ x_4 &= \frac{K_3}{T_3 p + 1} x_3, \\ x_5 &= K_4 x_4. \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Бұл тендеулерден шығысындағы x_5 шамасының кірістегі x_1 шамасынан тәуелділігі төмендегідей болып шығады

$$x_5 = \frac{K_1 K_2 K_3 K_4}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} x_1.$$

Бұл тұйықталмаған жүйенің теңдеуі болып табылады. Теңдеуді өзгертіп, $T_1 T_2 T_3 p^3 x_5 + (T_1 T_2 + T_2 T_3 + T_1 T_3) p^2 x_5 + (T_1 + T_2 + T_3) p x_5 + x_5 = K x_1$ түрінде жазамыз. Мұндағы $K = K_1 K_2 K_3 K_4$ тұйықталмаған жүйенің беріліс коэффициенті болып табылады.



3.1- сурет

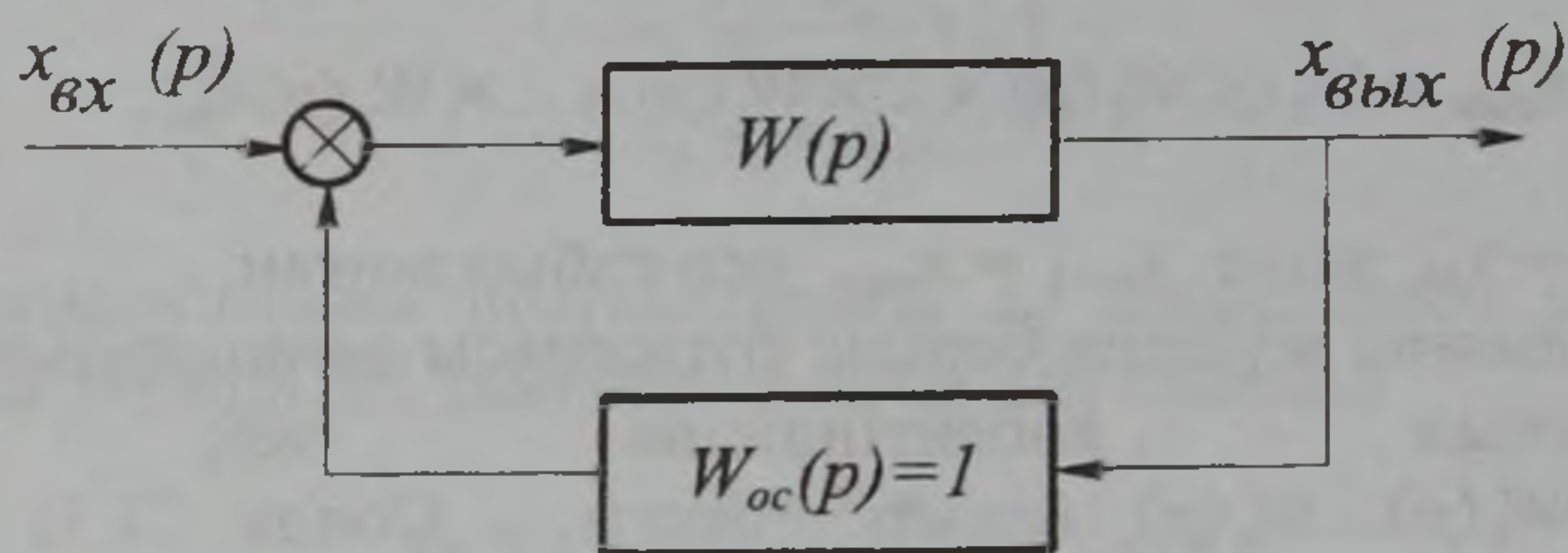
$$x_{\text{вых}} = -W(p)x_{\text{вх}} \quad (3.4)$$

тұйықталмаған жүйенің теңдеуі болып табылады.

Енді жүйенің үзілген жерін қайтадан жалғасақ, онда $x_{\text{вых}} = x_{\text{вх}} = x$ болады. Сонда (3.4) теңдеуінен $[1 + W(p)]x = 0$ болатынын табамыз.

$[1 + W(p)]$ өрнегі тұйықталған жүйенің сипаттаушы теңдеуі болып табылады. Оның түбірлері жүйенің орнықтылығын анықтайды.

Тұйықталған жүйенің сипаттаушы теңдеуін табудың екінші жолы да бар. Бұл жағдайда беріліс функциясы $W(p)$ болған жүйені тұйықтау дегеніміз оны беріліс коэффициенті $W_{oc}(p) = 1$ болған қатаң кері байланысы бар ретінде қарастыру болып табылады (3.3-сурет).

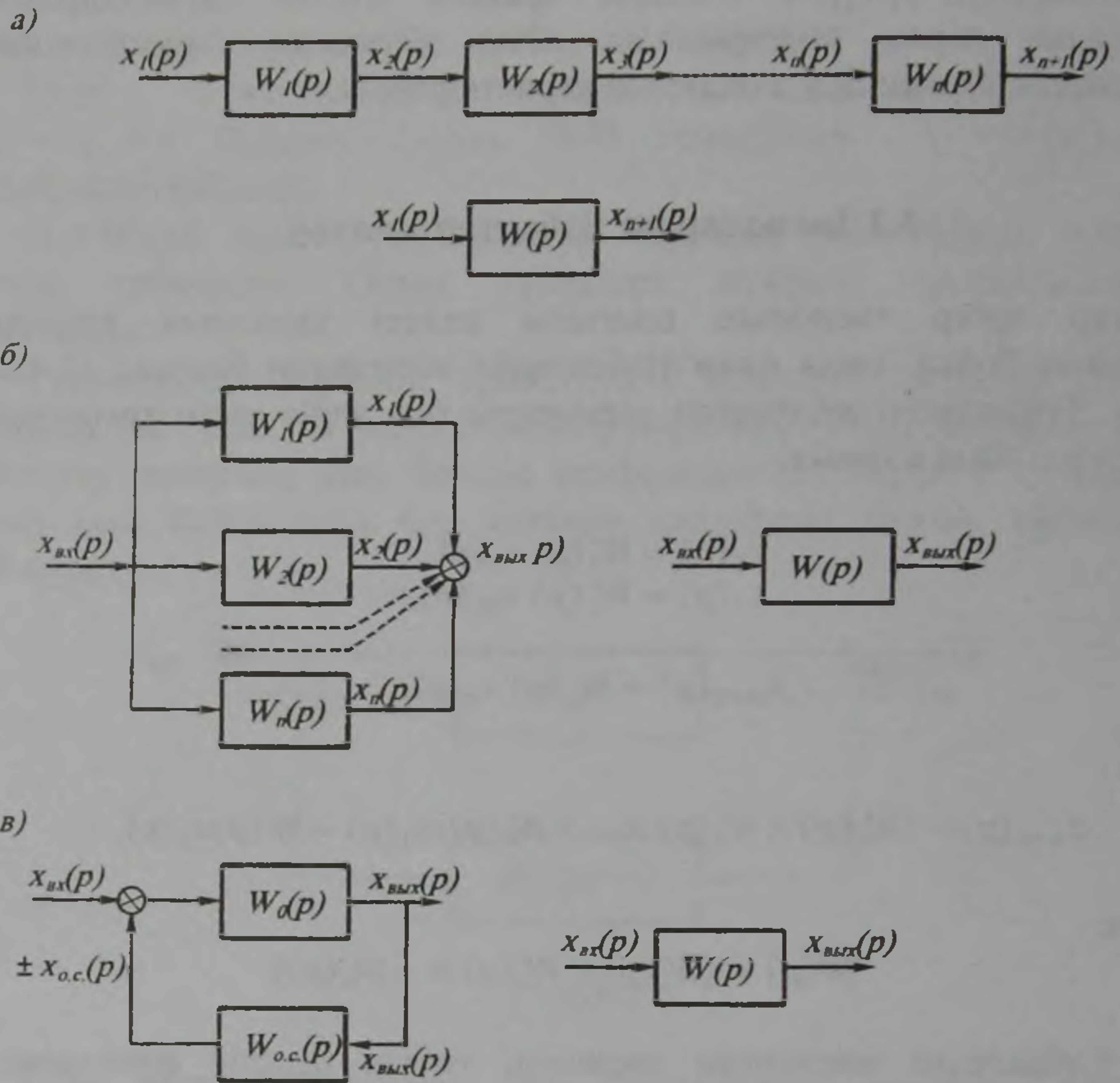


3.3 – сурет

Теріс кері байланысы бар тұйықталған жүйенің беріліс функциясы $\Phi(p) = \frac{x_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{W(p)}{1 + W(p)W_{oc}(p)}$. Бірақ, $W_{oc}(p) = 1$ болғандықтан, $\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)}$. Оның бөлімін нөлге теңестірсек $1 + W(p) = 0$ түріндегі сипаттаушы теңдеу келіп шығады.

Автоматтық жүйенің элементтерінің бөлініп алынған әртүрлі тізбектерін немесе өздерін бірін біріне тізбектеп, параллел және кері байланыстыра жалғап, структуралық схемасын сызып шығара аламыз. АБЖ-нің беріліс функциясын, демек, теңдеуін, қосымша математикалық есептеусіз-ақ, оның сызылып шығарылған структуралық схемасын түрлендіру жолымен оңай тауып алуға болады.

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p).$$



3.4- сурет

3.3 Звеноларды кері байланыстырып жалғау

Кері байланыс звеноның шығуын оның кірісімен жалғайды (3.4, в-сурет). Кері байланысы бар звеноның теңдеуі

$$x_{\text{вых}}(p) = W_0(p)[x_{\text{вх}}(p) + x_{o.c.}(p)].$$

Кері байланыстың теңдеуі

$$x_{o.c.}(p) = W_{o.c.}(p)x_{\text{вых}}(p).$$

Егер кері байланыс теріс болса, кері байланыстың шығыстағы сигналы звеноның кірістегі сигналынан алынады, егер кері байланыс оң болса, кірістегі сигналға қосылады:

$$x_{\text{ВЫХ}}(p) = W_0(p)[x_{\text{ВХ}}(p) \pm W_{0.c.}(p)x_{\text{ВЫХ}}(p)].$$

Бұдан

$$x_{\text{ВЫХ}}(p) = \frac{W_0(p)}{1 \pm W_0(p)W_{0.c.}(p)} x_{\text{ВХ}}(p),$$

немесе

$$W(p) = \frac{x_{\text{ВЫХ}}(p)}{x_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{W_0(p)}{1 \pm W_0(p)W_{0.c.}(p)}.$$

Бөлшектің бөлімінің жоғарғы таңбасы кері, төменгі таңбасы оң кері байланысқа сәйкес келеді.

3.1-кестесінде структуралық схемаларды типтік түрлендіру кезіндегі беріліс функциялары арасындағы байланыстар көрсетілген. Осы ережелерді колданып, автоматтық жүйелердің немесе звеноларының структуралық схемаларын түрлендіріп, олардың беріліс функцияларын тауып алуға болады. Мысалы, 3.5-суретіндегі структуралық схеманы түрлендіру барысы төмендегіше орындалған:

бірінші кадамда 5-ші звеноның кірісіне келетін сигналдың шығу нүктесі 3-ші звеноның кірісіне ауыстырылған (схеманың жоғарыдан төмен қарай есептегендегі қатарларын карап отыр). Сонда схемада 5-ші звеномен тізбектеліп жалғанған қосымша 3-ші звено пайда боды;

екінші кадамда тізбектеліп жалғанған 3-ші және 5-ші звенолар, беріліс функциясы $W_6 = W_3 W_5$ болған, 6-шы звеномен алмастырылды;

үшінші кадамда теріс кері байланысқан 2-ші және 6-шы звенолар, беріліс функциясы $W_7 = \frac{W_2}{1 + W_2 W_6}$ болған, 7-ші звеномен алмастырылды;

төртінші кадамда тізбектеліп жалғанған 1-ші және 7-ші звенолар, беріліс функциясы $W_8 = W_1 W_7$ болған, 8-ші звеномен алмастырылды;

бесінші кадамда теріс кері байланысқан 4-ші және 8-ші звенолар, беріліс функциясы $W_9 = \frac{W_8}{1 + W_8 W_4}$ болған, 9-шы звеномен алмастырылды. Ал, бұл звено 3-ші звеномен тізбектеліп жалғанған

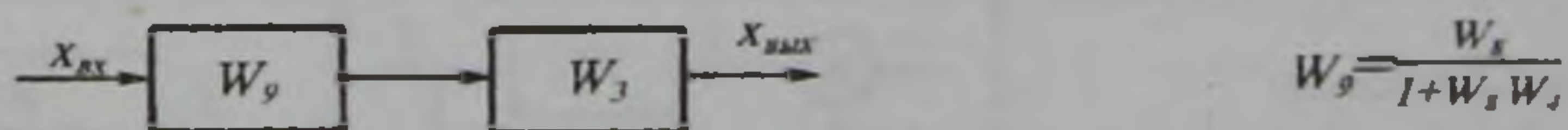
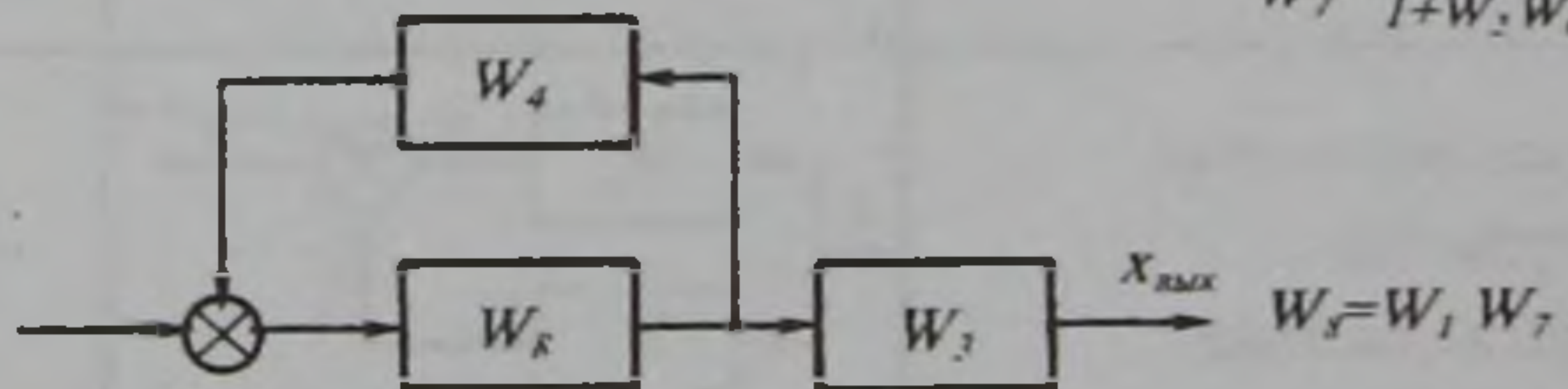
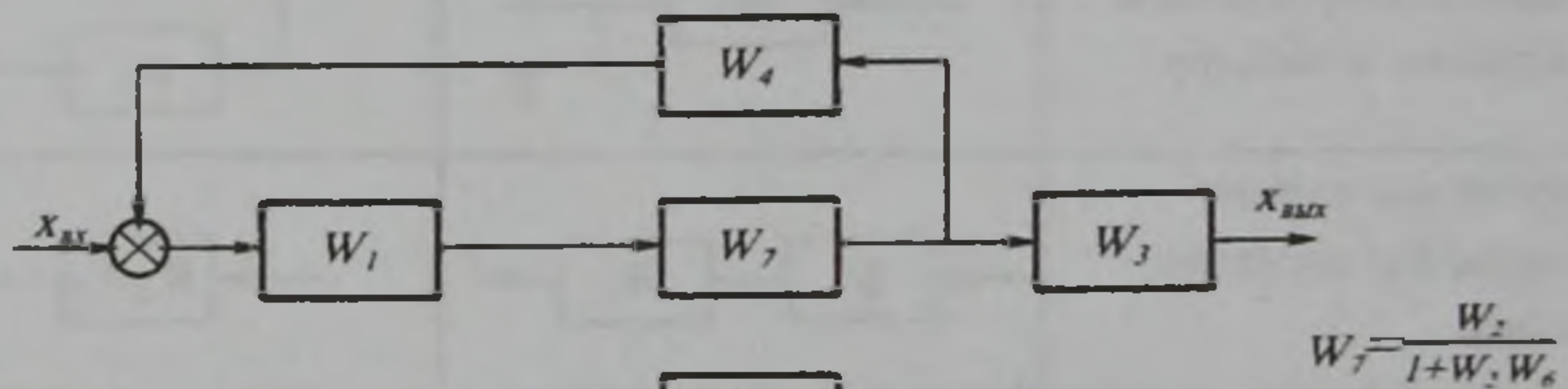
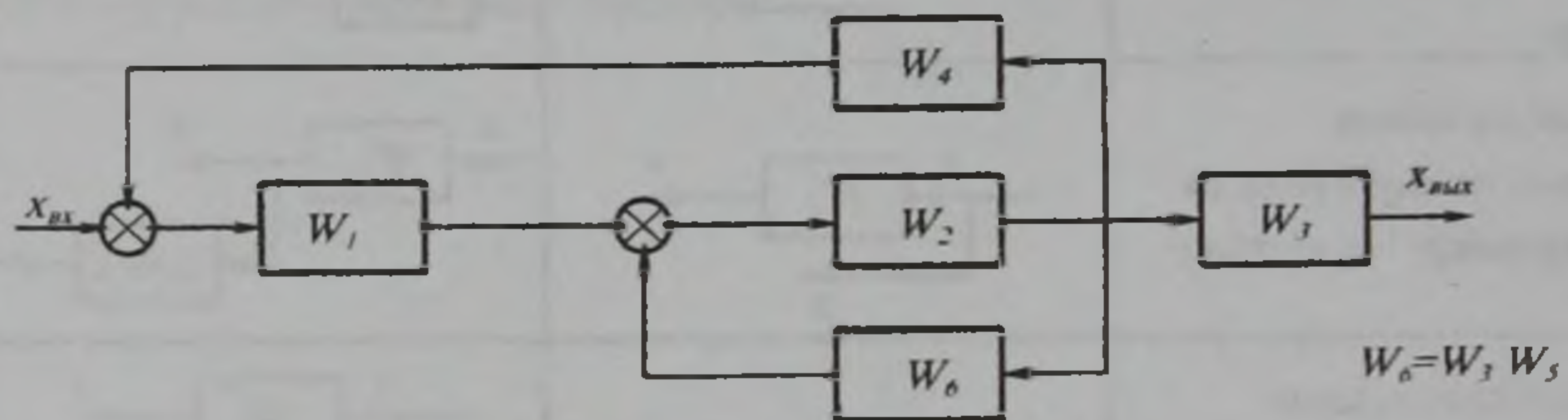
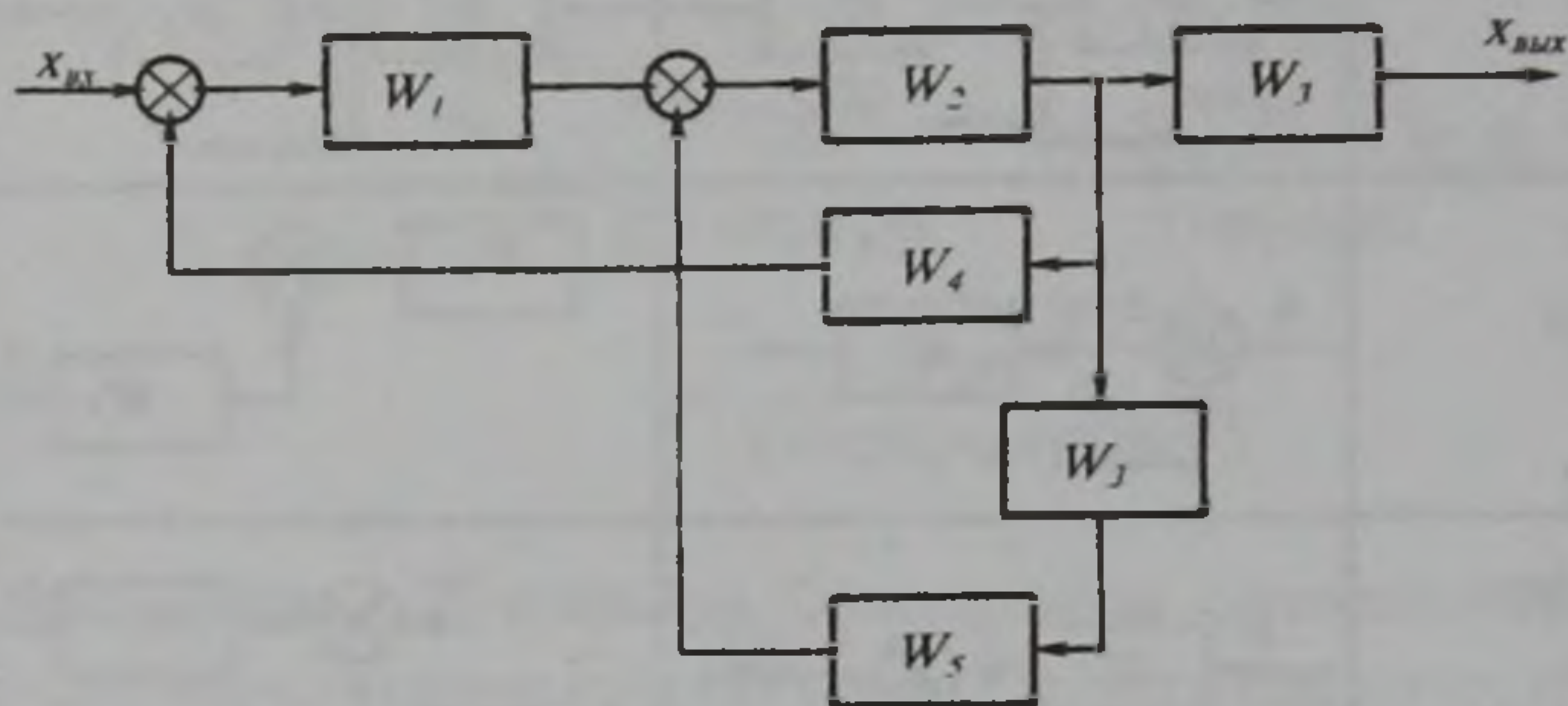
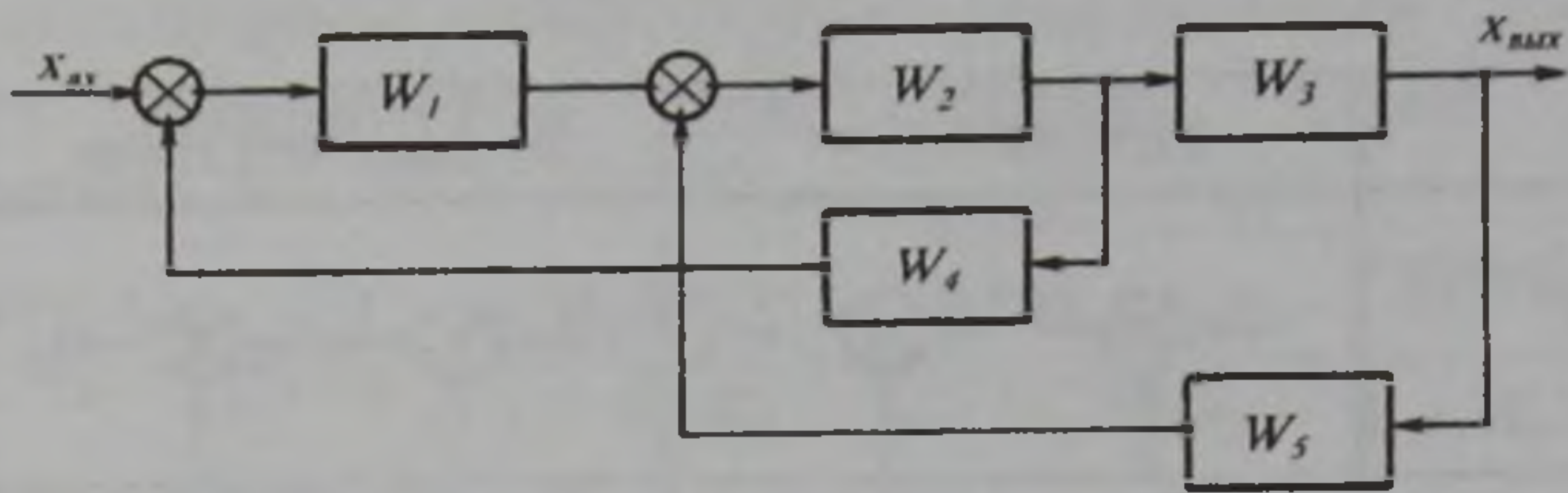
болып шықты. Демек, беріліс функциясы осы екі звеноның беріліс функцияларының көбейтіндісіне тең болатын 10-шы звено бүкіл жүйеге эквивалентті болып шықты. Сонда жүйенің беріліс функциясы

$$\begin{aligned}
 W_{10} = W_3 W_9 &= \frac{W_3 W_8}{1 + W_4 W_8} = \frac{W_3 W_1 W_7}{1 + W_4 W_1 W_7} = \frac{W_1 W_3 \frac{W_2}{1 + W_2 W_5}}{1 + W_1 W_4 \frac{W_2}{1 + W_2 W_6}} = \\
 &= \frac{W_1 W_3 \frac{W_2}{1 + W_2 W_2 W_5}}{1 + W_1 W_4 \frac{W_2}{1 + W_2 W_2 W_5}} = \frac{\frac{W_1 W_2 W_3}{1 + W_2 W_2 W_5}}{\frac{1 + W_2 W_2 W_5 + W_1 W_2 W_4}{1 + W_2 W_2 W_5}} = \\
 &= \frac{W_1 W_2 W_3}{1 + W_1 W_2 W_4 + W_2 W_2 W_5}
 \end{aligned}$$

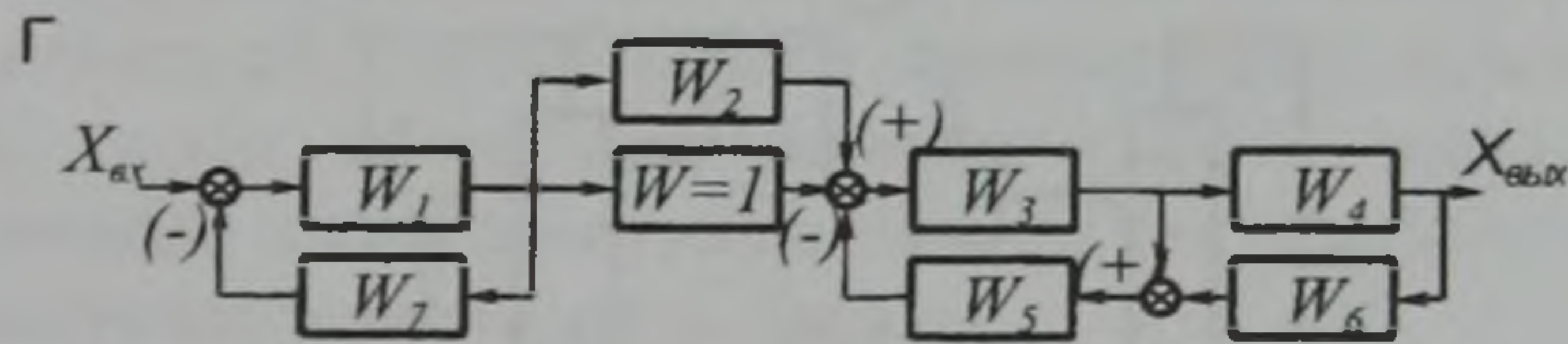
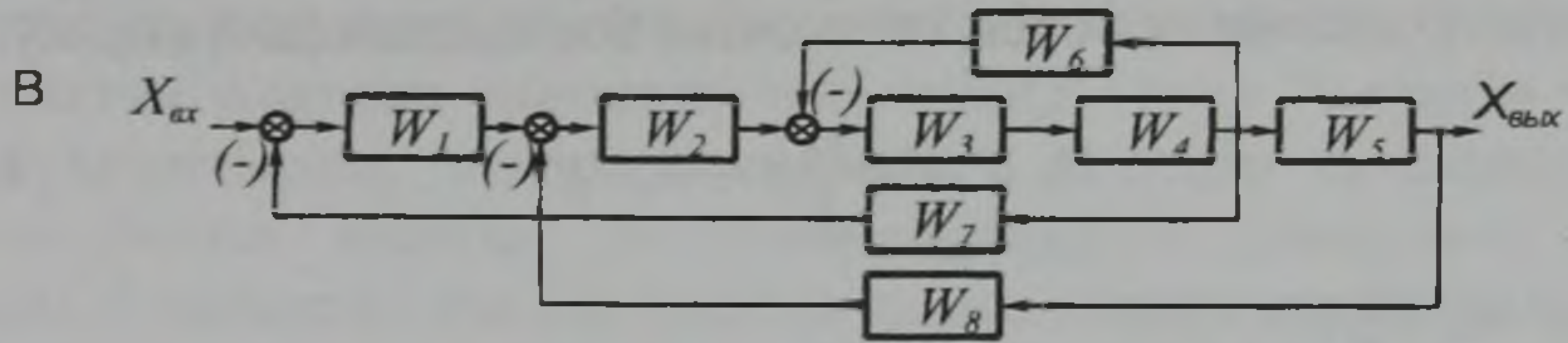
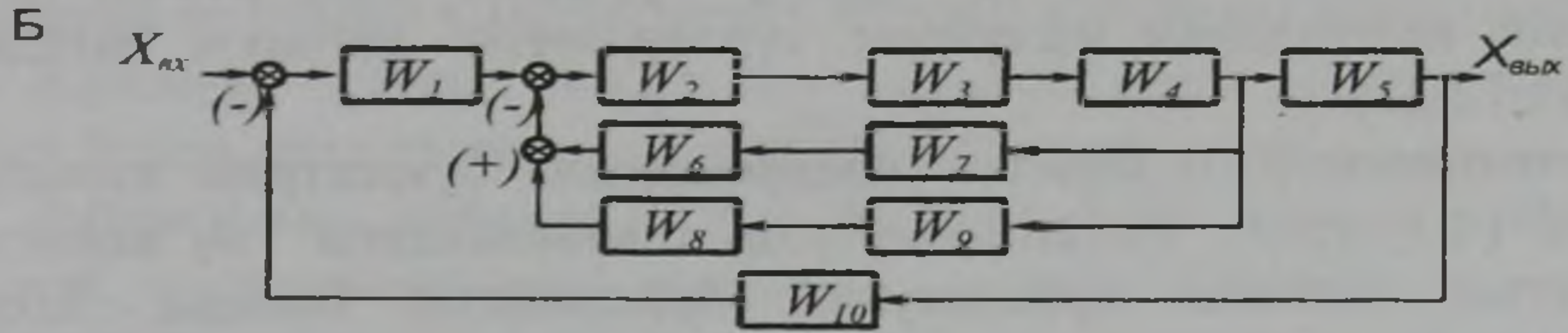
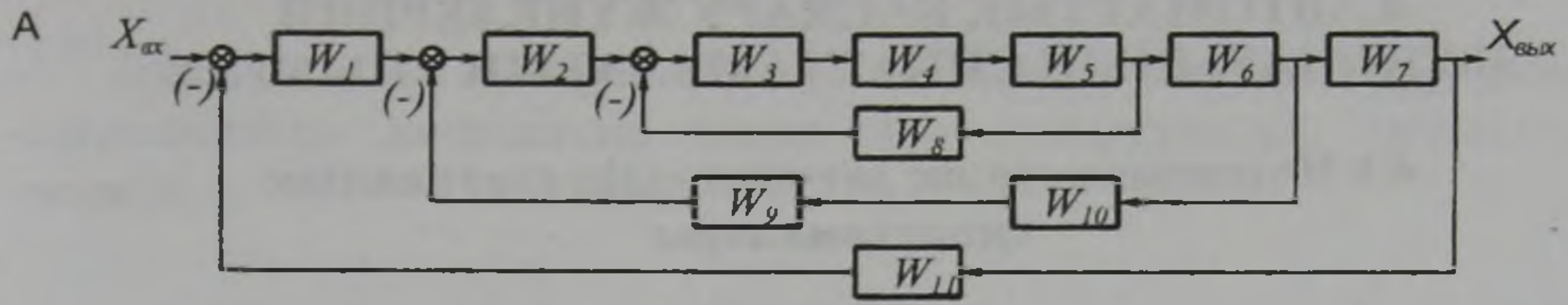
Тапсырма. Жоғарыда баяндалған ережелерді қолданып, 3.6-суретінде көрсетілген структуралы схемаларды түрлендіріп, беріліс функцияларын жазып шығарыңыз.

3.1-кесте – Структуралық схемаларды типтік түрлендірудің ережелері

Ережесі	Берілген тізбек	Эквивалентті тізбек
Сигналдардың қосылу нүктесін ауыстыру		
Сигналдардың шығу нүктесін ауыстыру		
Звеноның кірісіндегі сигналдардың қосылу нүктесін оның шығысына ауыстыру		
Звеноның шығысындағы сигналдардың қосылу нүктесін оның кірісіне ауыстыру		
Звеноның кірісінен сигналдың алыну нүктесін оның шығуына ауыстыру		
Звеноның шығысынан сигналдың алыну нүктесін оның кірісіне ауыстыру		
Тізбектеліп жалғанған звеноларды бір звеномен алмастыру		
Параллель жалғанған звеноларды бір звеномен алмастыру		
Кері байланыстан арылу		



3.5- сурет



3.6 – сурет

4 АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЗВЕНОВАРЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ

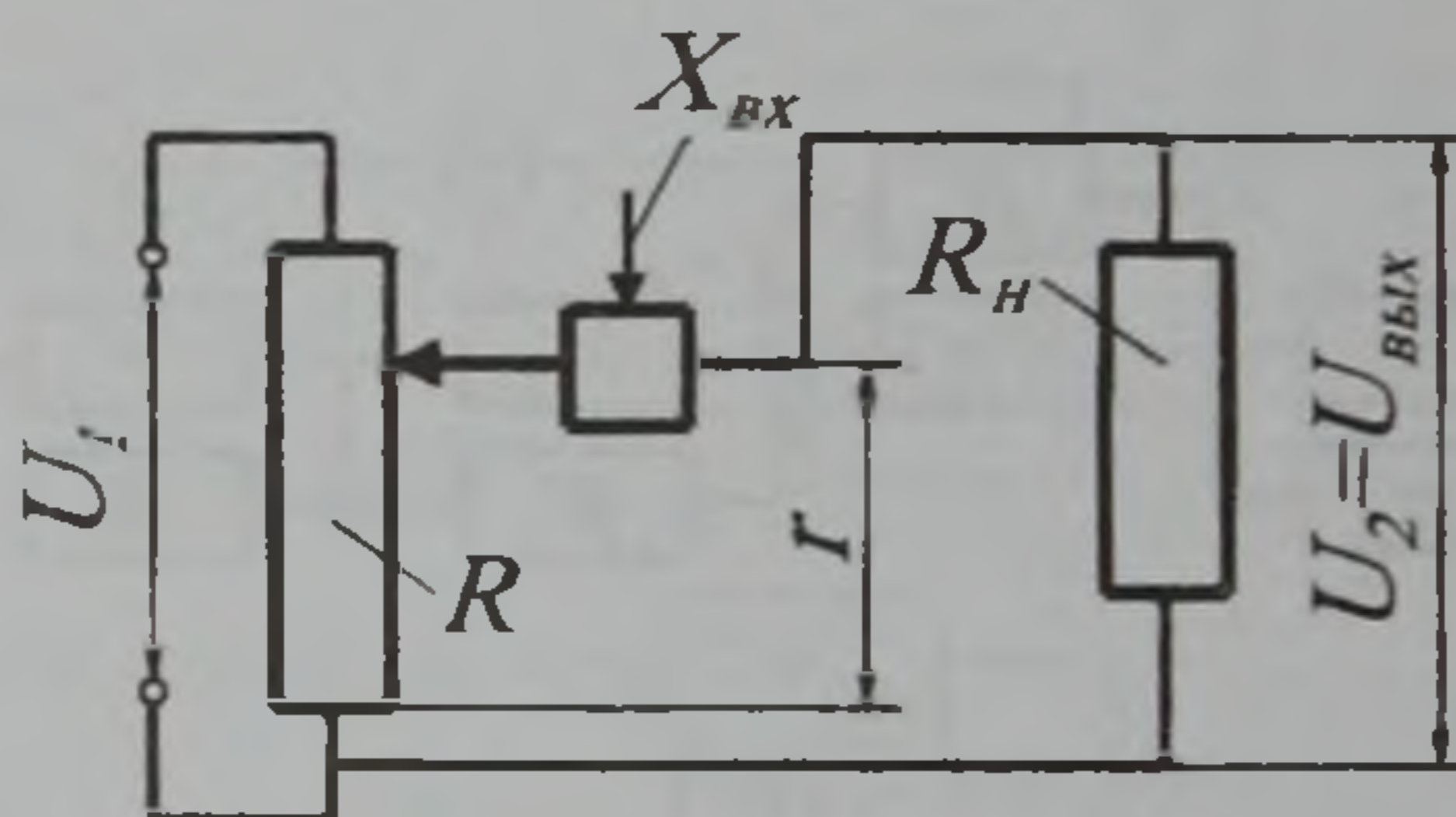
4.1 Потенциометрлік датчиктердің статикалық сипаттамалары

Реостаттық немесе потенциометрлік датчик (потенциометр) деп өлшенуші шаманы (ығысу, бұрылу бұрышы, т.б.) реостаттың электрлік кедергісінің өзгерісіне түрлендіретін датчикті айтады [1,4,8,11,12,23].

Потенциометрдің кірістегі клеммаларына U_1 электрлік кернеуі беріледі (4.1-сурет). Потенциометрдің шығысындағы U_2 кернеуі реостаттың тиегінің орналасуына байланысты болады. Егер потенциометр жүктелмеген, яғни оның шығуындағы клеммаларына R_H кедергісі қосылмаған болса, онда оның бос қалпындағы кернеуі

$$U_2 = ir = \frac{U_1}{R} r = k_n U_1. \quad (4.1)$$

Мұндағы $k_n = \frac{r}{R}$.



4.1 – сурет

Схеманың статикалық сипаттамасы деп шығудағы $U_{\text{ВЫХ}}$ кернеуінің реостат тиегінің $X_{\text{ВХ}}$ ығысуынан тәуелділігін айтады. Әдетте R_H жүктеуші кедергісі потенциометрмен тізбектеліп жалғанбайды. Өйткені бұл жағдайда схеманың статикалық сипаттамасы түзу сызықты болмайды. $R_H \geq R$ болғанда ғана (R – потенциометрдің кедергісі) аталған сипаттама түзу сызықты болып шығады (4.2-суретіндегі 1 қисықсызығы). Бұл шарт орындалмаса, онда потенциометрдің сипаттамасы түзусызықты болып шықпайды (4.2-суретіндегі 2 қисықсызығы).

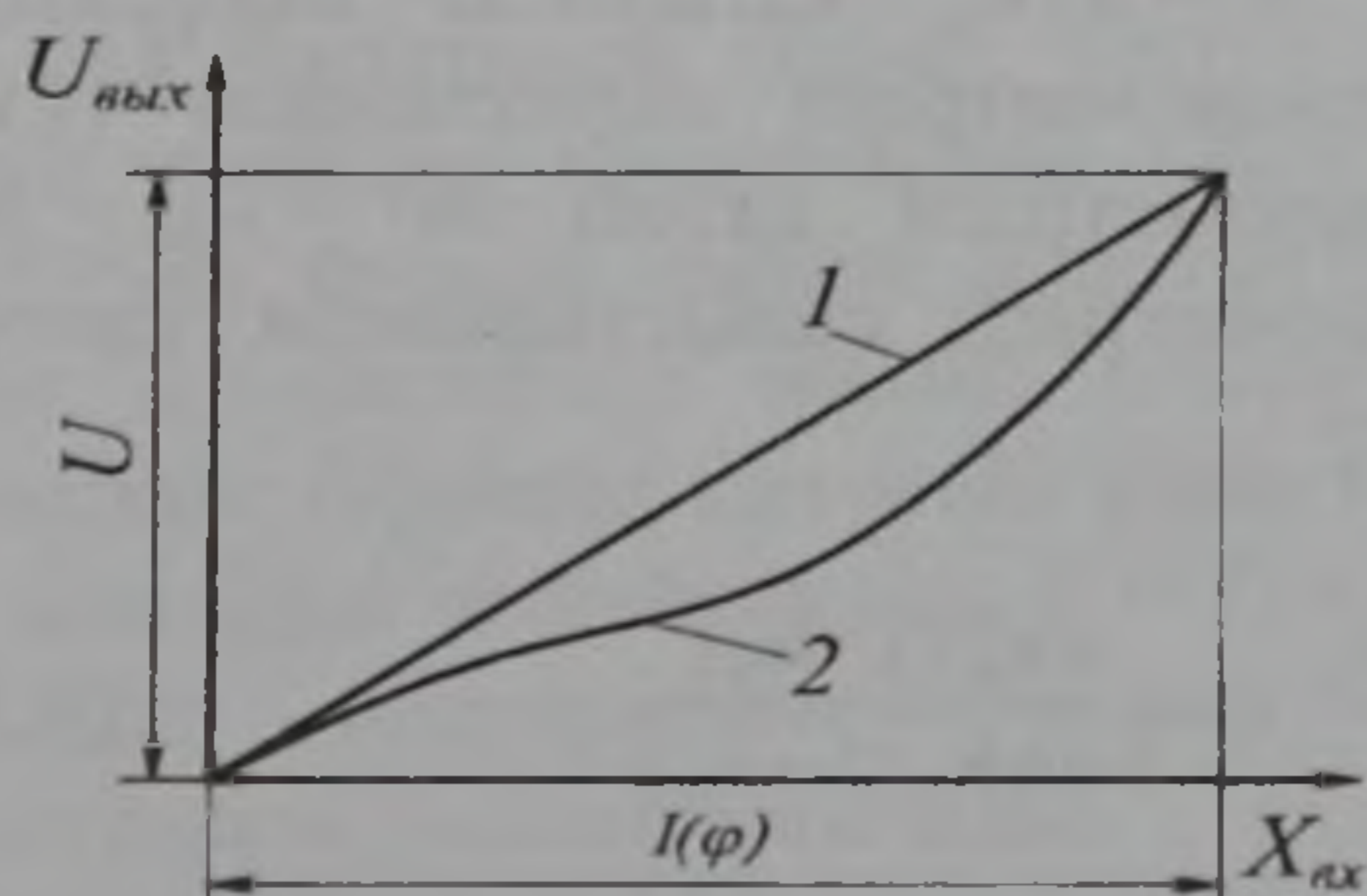
Динамикалық көрсеткіштері бойынша қарастырғанда потенциометр инерциясыз звено деп қабылданады. Звеноның теңдеуі

$$U_{\text{ВЫХ}} = kX_{\text{ВХ}} . \quad (4.2)$$

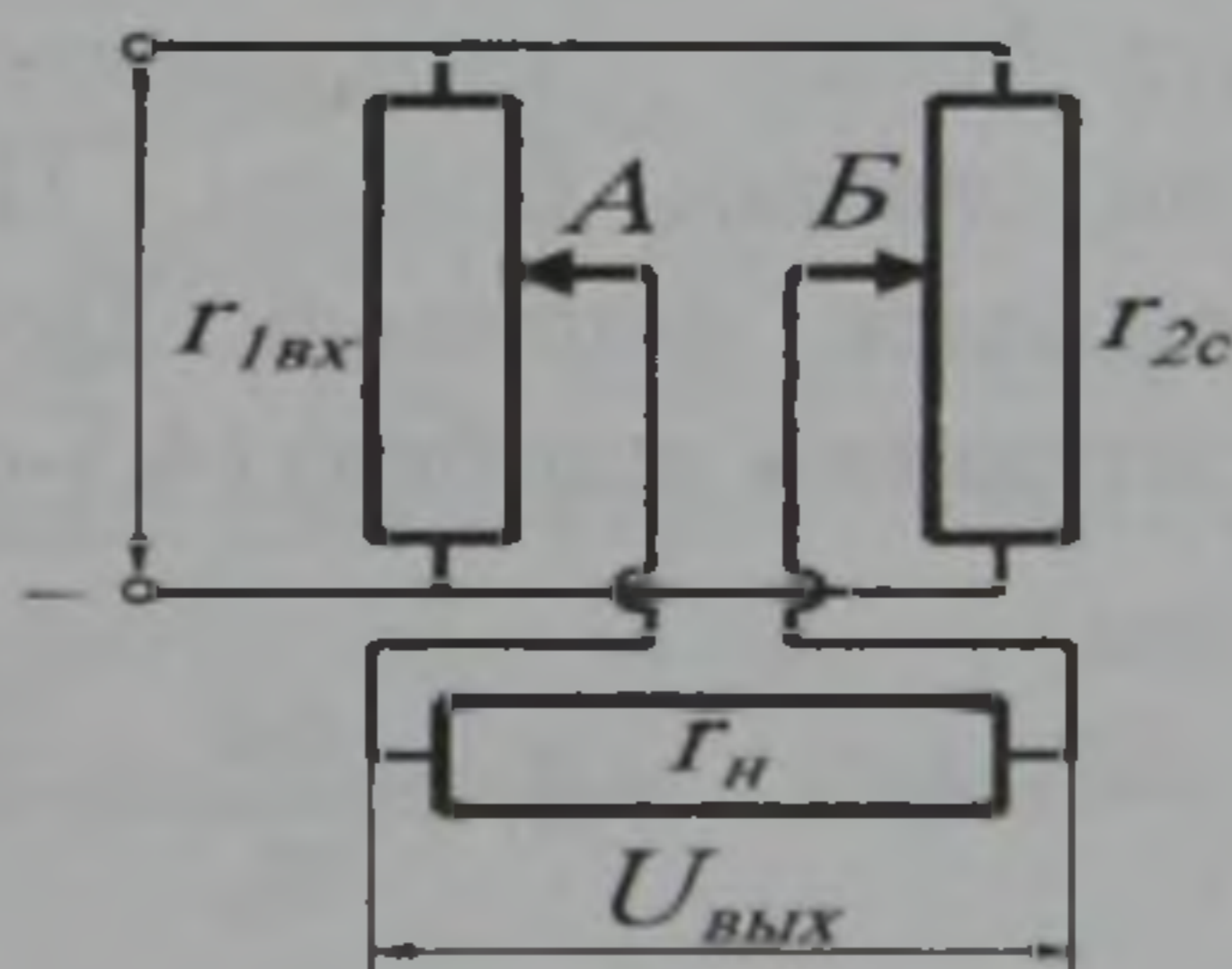
Мұндағы k – беріліс коэффициенті; өлшемі вольт/мм (вольт/град).

Жүктеуші кедергі индуктивті немесе оның сыйымдылығы үлкен болса, онда схемада өткінші процес орын алады.

Автоматтық жүйелерде $r_{1\text{ВХ}}$ потенциометрі сезгіш элемент ретінде, $r_{2\text{С}}$ потенциометрі тапсырғыш ретінде бірі бірімен өткелді (көпірлік) схемасында (мостовая схема) жалғанады (4.3-сурет). Суретте тиектің екеуі де тең потенциалды нүктелерде орналасқан. Сондықтан олардың арасында ток өтпейді. Егер А тиегін төмен қарай ығыстырсақ, оның потенциалы Б тиегінің потенциалынан өзгеше болып шығады да, потенциалдардың айырмасы пайда болады. Сондықтан ток бір тиектен екінші тиекке қарай өтеді. Егер А тиегін жоғары қарай қозғасақ, онда $r_{\text{Н}}$ жүктеуші кедергісінен өтетін токтың бағыты қарама қарсы жаққа өзгереді. Осылайша Б тиегін реттелінуші шамаға сәйкес орналастырып алып (тапсырма беріп), А тиегін объектімен байланыстырсақ, онда объектінің жұмысы кезінде оның шығуында қателік (келіспеушілік) сигналы (сигнал рассогласования) пайда болады.



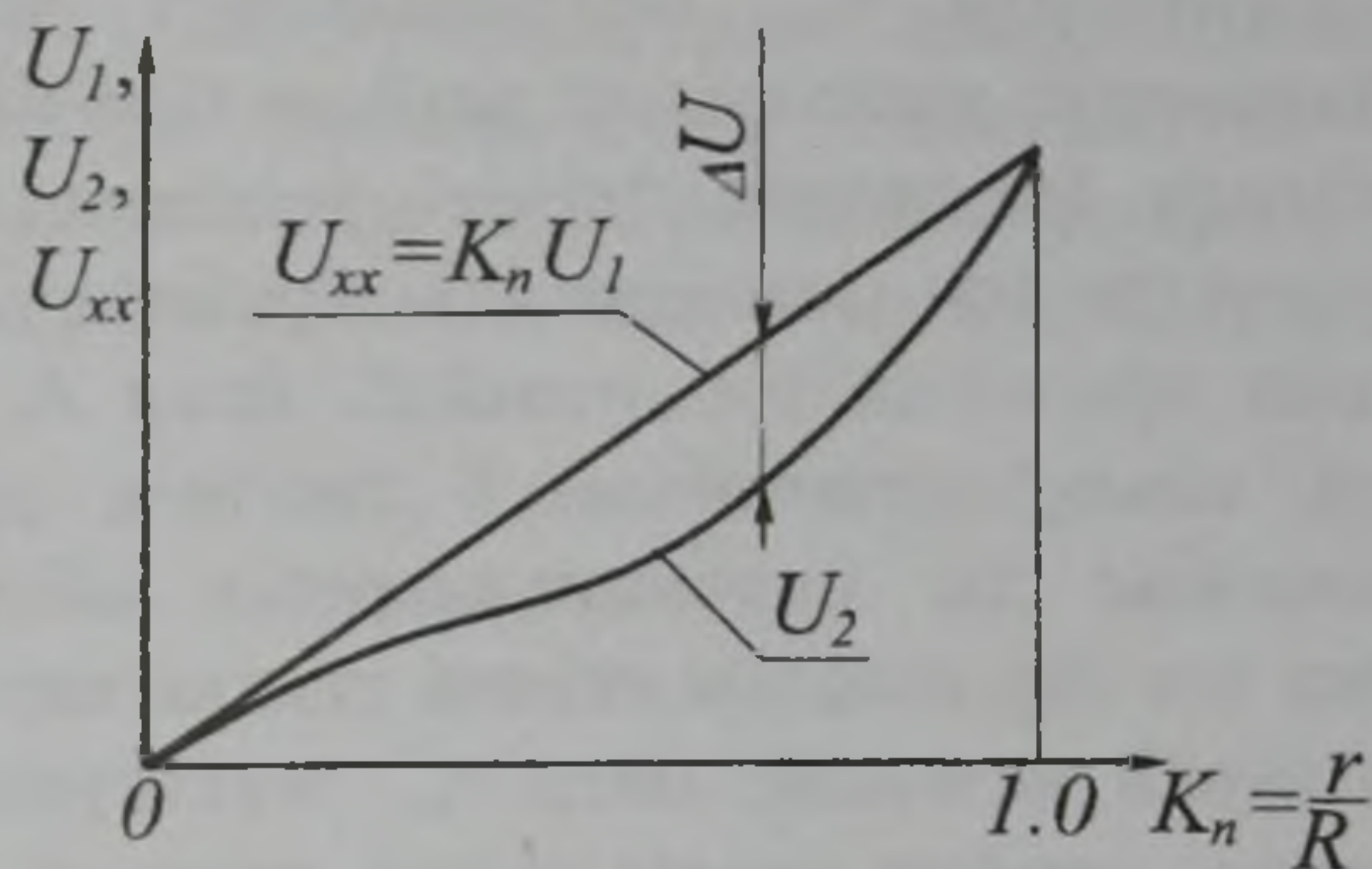
4.2 – сурет



4.3 – сурет

4.1.1 Потенциометрлердің дәлдік қателері

Автоматтық жүйелердің элементтерінің сипаттамалары түзусызықты болғаны жақсы. Потенциометрдің сипаттамасы объектінің жұмысы кезінде өзгереді. 4.4 – суретте k_n коэффициентінің шамасына байланысты шығыстағы U_{xx} (жүктелмеген кезде) және U_2 (жүктелген кезде) кернеулерінің қалай өзгертіндігі көрсетілген.



4.4 – сурет

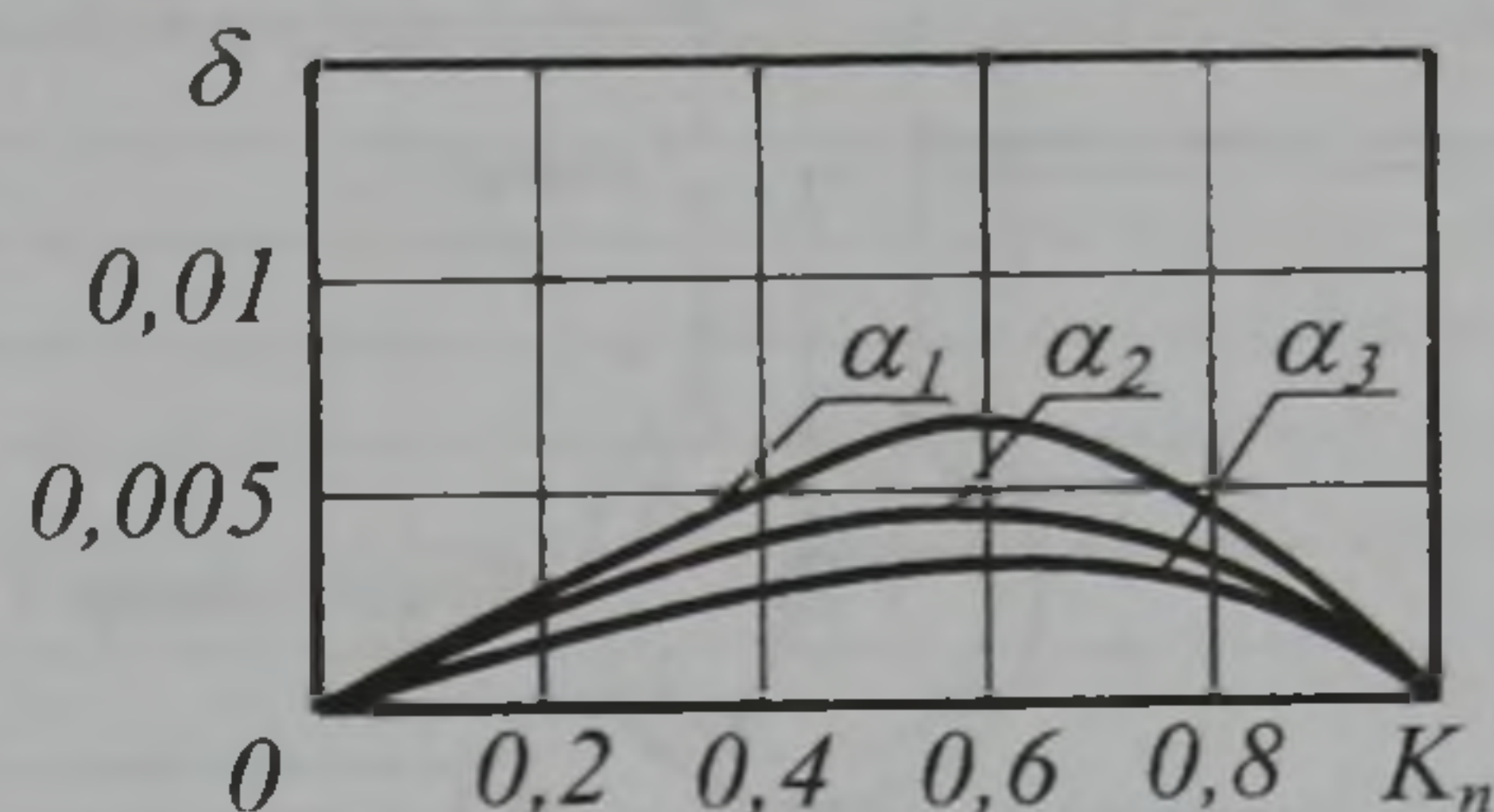
Потенциометрдің бос жұмысы кезінде U_{xx} кернеуі түзу сызық бойынша өзгереді, ал жүктелген кезде R_n кедергісіндегі кернеу қисықсызықты болып шығады. $\alpha = R/R_n$ қатынасы неғұрлым кішкене болса, солғұрлым потенциалдың сипаттамасы түзу сызыққа жақын болады. Потенциометрдің қатесі $\Delta U = U_{xx} - U_2$ айырмасымен өлшенеді. Потенциометрдің салыстырмалы қатесі (относительная ошибка) (4.5-сурет)

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_1} = \frac{U_{xx} - U_2}{U_1} = \frac{\alpha k_n^2 (1 - k_n)}{1 + \alpha k_n (1 - k_n)} \quad (4.3)$$

α шамасының әртүрлі мәніне байланысты потенциалдың салыстырмалы қатесінің жүйенің жүктелу мөлшеріне тәуелділігінің графигі 4.5– суретте көрсетілген. Шамамен алғанда, потенциалдың салыстырмалы қатесінің максимал сан мәні

$$\delta_{max} = 0,15\alpha = 0,15\frac{R}{R_{II}} \quad (4.4)$$

$k_n \approx \frac{2}{3}$ мәніне сәйкес болатыны анықталған.

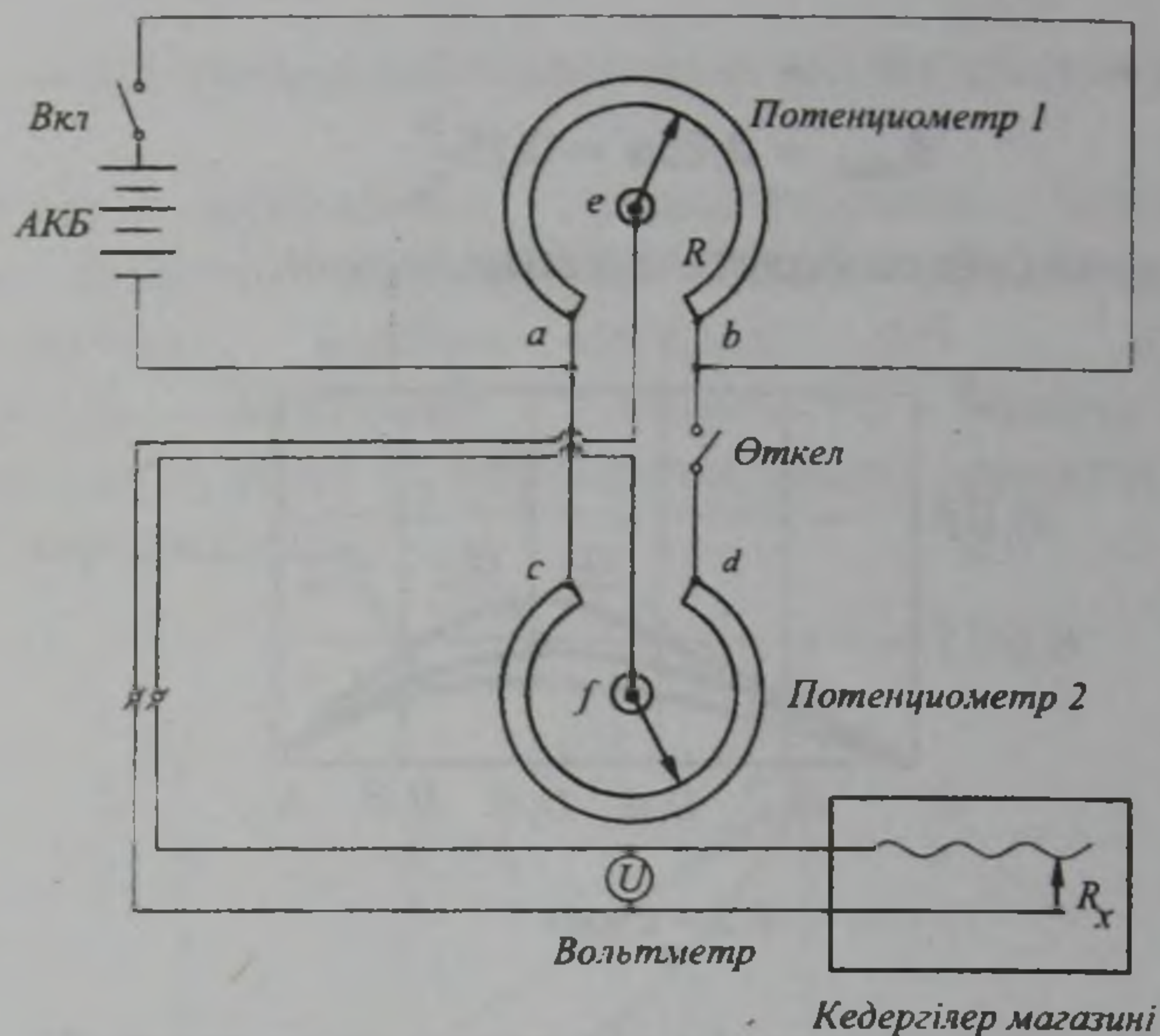


4.5 – сурет

4.1.2 Потенциометрдің сипаттамасын тәжірибе жүзінде анықтау

Потенциометрдің және өткелді схеманың сипаттамасын түсіріп алу үшін 4.6-суретінде көрсетілген электр схемасы құрастырылады.

Кернеуі 12В болған аккумулятор батареясы «АКБ» клеммасына жалғанады. «Өткел» және «Вкл» тумблерлері қосылған қалпына келтіріледі. U кернеуін өлшеу үшін тізбекке вольтметр және кедергілер қорабы жалғанады. Кедергілер қорабын 100000 Ом мәніне реттеп қою керек. 2 потенциалометрінің тиегін сағат тілінің сол жақ бағытында бұрап, шеткі қалыпына келтіріп қою керек. «Вкл» тумблері қосылғаннан кейін потенциалометрдің тиегін әрбір $\alpha = 25^\circ$ -қа бұрған сайын вольтметрмен өлшенген кернеудің сан мәнін 4.1-кестесіне жазып отыру керек. Осы операцияны R_x кернеуінің бірнеше сан мәні үшін қайталап шығу керек. Кестедегі сан мәндерді пайдаланып, $U = f(\alpha)$ графигін салып шығу керек. Салынып шығарылған график потенциалометрдің статикалық сипаттамасы болып табылады.



4.6 – сурет

(4.4) формуласы бойынша салыстырылмалы қатенің сан мәні есептеп шығарылып, кестеге енгізіледі. Өткел схемасының сипаттамасын салып шығу үшін екінші тумблердің «Өткел», 1 потенциометрінің 130° қалыпы жағдайында 2 потенциометрін бұрауышпен орталық қалыпы жағдайына қою керек (вольтметр нөлді көрсетеді). Содан кейін 1 потенциометрінің тиегін әр ретте 20° -қа бұрып отырып, вольтметрдің көрсеткен кернеу мәндерін 4.2-кестесіне жазып шығу керек. Осы операцияны R_x кернеуінің бірнеше сан мәні үшін қайталап шығу керек. Содан кейін кестедегі сан мәндерді пайдаланып $U = f(\alpha)$ графигін салып шығу керек.

4.1-кестесі – Потенциометрдің статикалық сипаттамасын салу үшін есептеу нәтижелерінің кестесі

α	$R_x = 1000 \text{ Ом}$	$R_x = 10000 \text{ Ом}$	$R_x = 100000 \text{ Ом}$	$R_x = \infty \text{ Ом}$
град	$U, \text{В}$	$U, \text{В}$	$U, \text{В}$	$U, \text{В}$
0				
25				
50				
...				
...				
250				
275				
$\delta \cdot 100\%$				

4.2- кестесі – Өткел схемасының сипаттамасын салу үшін есептеу нәтижелерінің кестесі

α , град	$R_x = 1000 \text{ Ом}$	$R_x = 10000 \text{ Ом}$	$R_x = 100000 \text{ Ом}$	$R_x = \infty \text{ Ом}$
	$U, \text{ В}$	$U, \text{ В}$	$U, \text{ В}$	$U, \text{ В}$
$130^\circ(0^\circ)$				
$150^\circ(20^\circ)$				
$170^\circ(40^\circ)$				
$190^\circ(60^\circ)$				
$210^\circ(80^\circ)$				
$210^\circ(100^\circ)$				

4.2 Автоматтық жүйелердегі өткінші процестердің графиктерін сызу

Автоматтық басқару жүйесін есептеу барысында, оның орнықтылығы қамтамасыз етіліп, структурасы және параметрлерінің сан мәндері тағайындалып болғаннан кейін, кейбір жағдайларда жүйеге типті сыртқы ауытқытушы әсер еткізіп, өткінші процестің графигін салып шығып, талдау орындалады.

Өткінші процесті анықтау тәсілдерін екі топқа бөлуге болады. Оның бірінші тобына басқару жүйесінің дифференциалдық теңдеулерін шешуінің әртүрлі әдістері (аналитикалық, графикалық, графика-аналитикалық т.б.) кіреді. Бұл жағдайда көбінесе Лаплас түрлендірулері қолданылады. Екінші топқа автоматты басқару жүйелерінің жиілік сипаттамаларын қолдану әдістері кіреді. Бұл жағдайда өткінші процестің қисықсызығын салып шығуда жиілік сипаттамалары қолданылады.

Операторлық тәсілді қолдану автоматты басқару жүйесінің теңдеулерін құруды көп жеңілдетеді. Әдетте бұл жағдайда жүйенің жеке звеноларының беріліс функцияларын анықтап, структуралық схемаларын түрлендіру жұмыстарын орындау керек болады.

Тұйықталған автоматты жүйенің беріліс функциясы анықталғаннан кейін оның шығысындағы шаманың бейнесі $x_{\text{вых}}(p) = \Phi(p)x_{\text{вх}}(p)$ түрінде жазылады. Бұл жерде $\Phi(p)$ – тұйықталған жүйенің беріліс функциясы.

Типтік сыртқы ауытқыту әсері ретінде көбінесе уақыт бойынша өзгертін бірлік функциясы қолданылады

$$x_{\text{вх}} = 1(t) = \begin{cases} 1, & \text{егер } t \geq 0, \\ 0, & \text{егер } t < 0. \end{cases}$$

Бірлік функциясының Лаплас бейнесі $x_{\text{вх}}(t) \equiv x_{\text{вх}}(p) = \frac{1}{p}$.

Бірлік функциясынан басқа сыртқы ауытқытушы әсер ретінде төмендегі функциялар қолданылады:

операторлық бейнесі $\Theta_{\text{вх}}(p) = \frac{\Omega}{p^2}$ болған $\Theta_{\text{вх}} = \Omega t$ сызықты функциясы (мұндағы $\Omega = \text{const}$ болғанда);

операторлық бейнесі $\Theta_{\text{вх}}(p) = \frac{\varepsilon}{p^3}$ болған уақыттың квадраттық функциясы $\Theta_{\text{вх}}(t) = \frac{\varepsilon}{2} t^2$ (мұндағы $\varepsilon = \text{const}$ болғанда);

операторлық бейнесі $\Theta_{\text{вх}}(p) = \frac{Ab}{p^2 + b^2}$ болған уақыттың синустық функциясы $\Theta_{\text{вх}}(t) = A \sin bt$ (мұндағы $A = \text{const}$, $b = \text{const}$ болғанда).

Егер жүйенің $\phi(p)$ беріліс функциясы белгілі және кірістегі әсері берілген болса, онда өткінші процесті анықтау үшін $x_{\text{вых}}(p)$ операторлық бейнесі бойынша $x_{\text{вых}}(t)$ түп нұсқасын жазып шығару керек болады. Бұл жағдайда бастапқы шарттары анық болуы керек. Шығу сигналының түп нұсқасын табу үшін операторлық бейнелердің кестелері қолданылады.

1-мысал. Кірісінде бірлік функциясы әсер еткен жағдайда апериодикалық звеноның өткінші процесін анықтау.

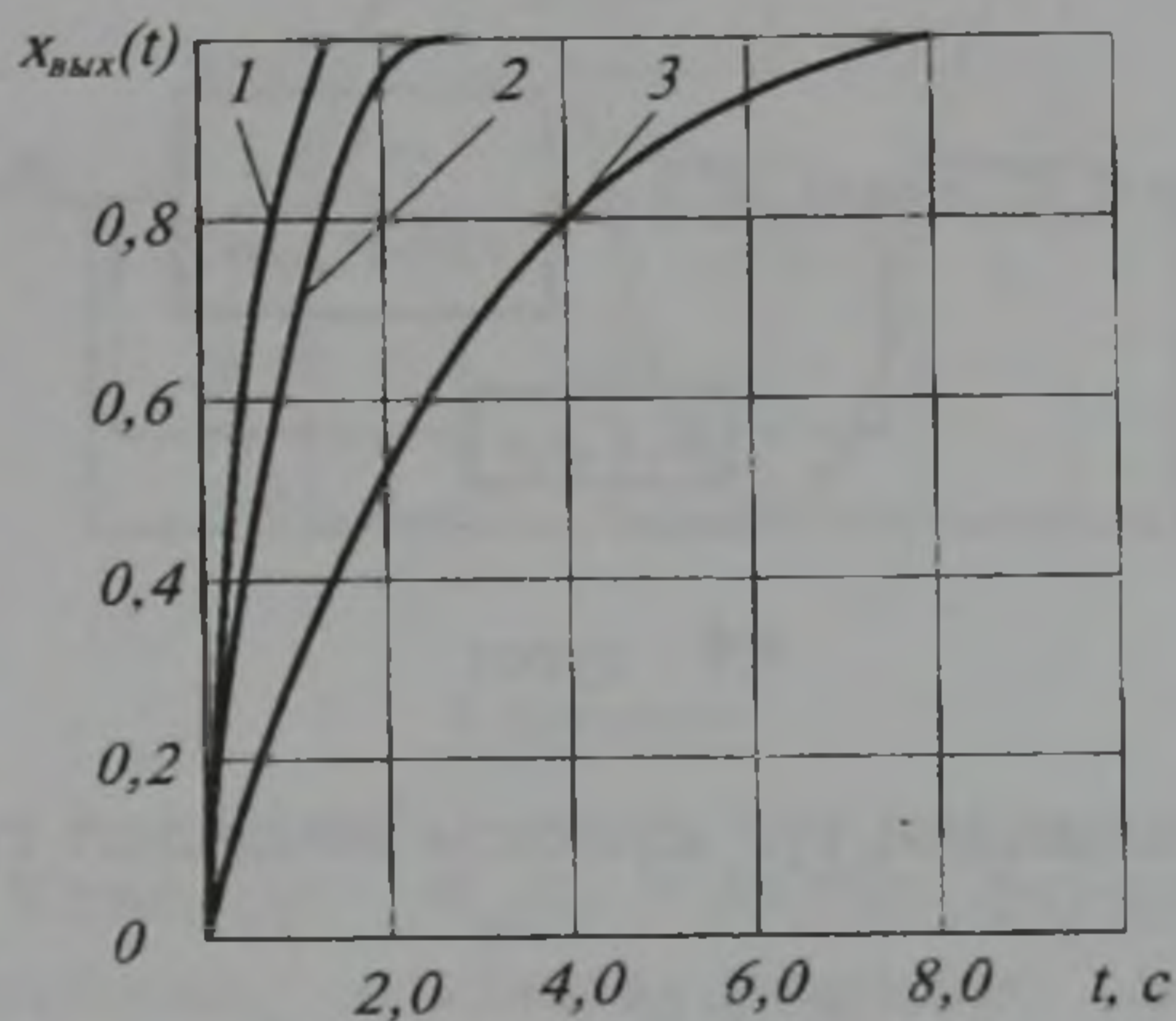
Звеноның беріліс функциясы $\frac{x_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{1+Tp}$. Кірістегі сигнал уақыттың бірлік функциясы, яғни $x_{\text{вх}}(t) = 1(t) \cdot x_{\text{вх}} = 1(t)$. Уақыт тұрақтысының сан мәндері $T = 0,05; 0,5; 2,5$ және $k = 1$ болсын.

$x_{\text{вх}}(t) = 1(t)$ бірлік функциясының Лаплас бейнесі, $x_{\text{вх}}(p) = \frac{1}{p}$, ал шығу функциясының бейнесі қарапайым өрнек $x_{\text{вых}}(p) = \frac{k}{(1+Tp)}$ түрінде келіп шығады. Сонда, Лаплас түрлендіруі кестесінен табылған шығыстағы сигналдың түп нұсқасы $x_{\text{вых}}(t) = k(1 - e^{-t/T})$ түрінде табылады.

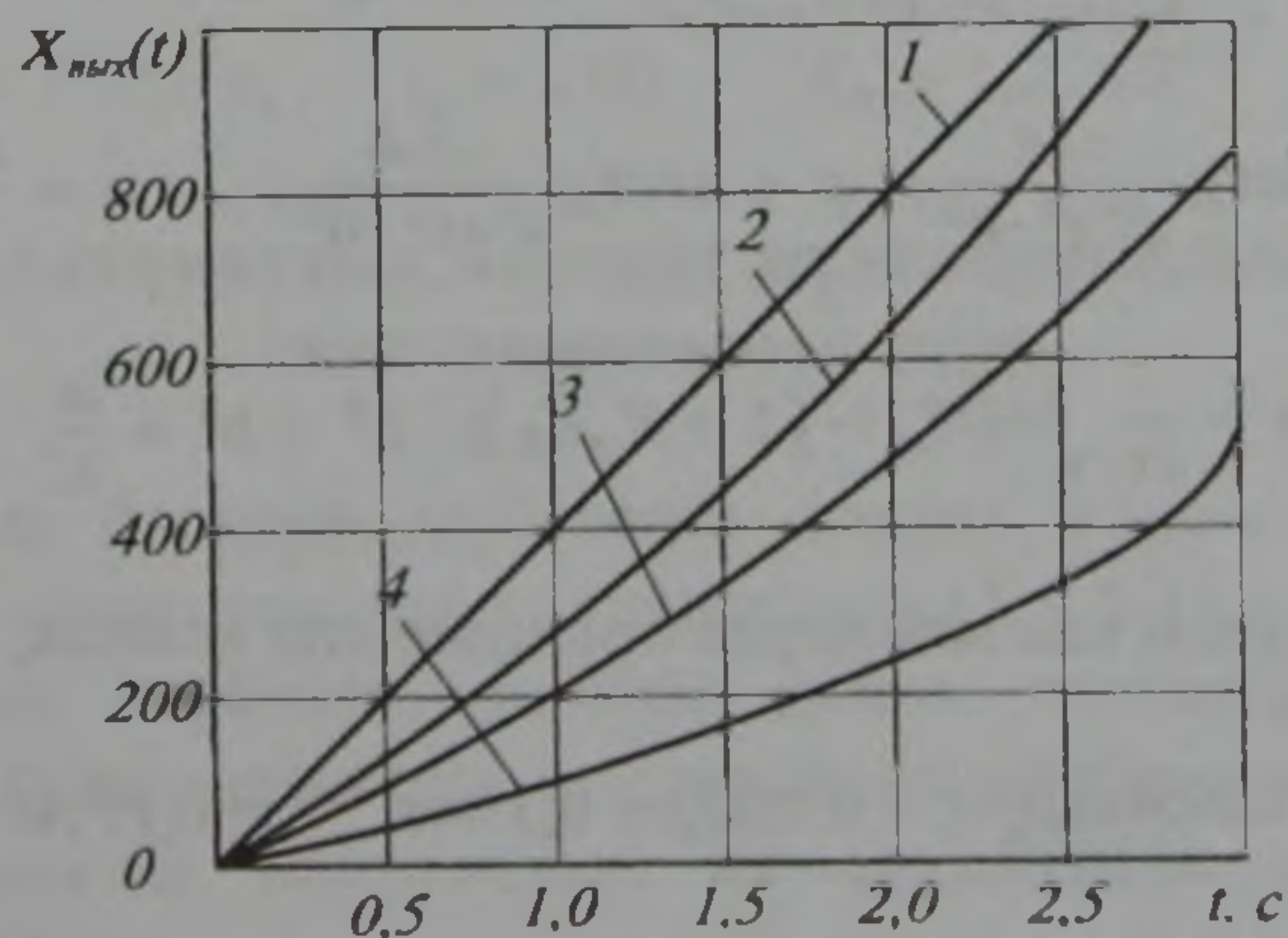
4.7– суретінде T тұрақтысының берілген мәндеріне сәйкесті табылған өткінші процестердің қисықсызықтары көрсетілген.

2-мысал. Кірісінде сызықтық функция $x_{\text{вх}}(t) = at$ әсер еткен жағдайда апериодикалық звеноның өткінші процесін анықтау. Звеноның параметрлері: $k = 10$, $a = 40 \frac{1}{c}$, $T = 0,05; 0,5; 2,5$ с.

Лаплас түрлендіруі кестесінен кірістегі сигналдың бейнесін $x_{\text{вх}}(p) = \frac{a}{p^2}$ түрінде табамыз. Сонда шығыстағы сигналдың бейнесі $x(p) = \frac{ka}{(\tau p + 1)p^2}$ болып шығады. Бұдан Лаплас түрлендіруі кестесінен шығыстағы сигналдың түп нұсқасы $x_{\text{вых}}(t) = akt - akT(1 - e^{-t/T})$ түрінде табылады. 4.8– суретінде T тұрақтысының берілген мәндеріне сәйкесті табылған өткінші процестердің қисықсызықтары көрсетілген.



4.7– сурет: 1 – $T = 0,05$ с; 2 – $T = 0,5$ с; 3 – $T = 2,5$ с.

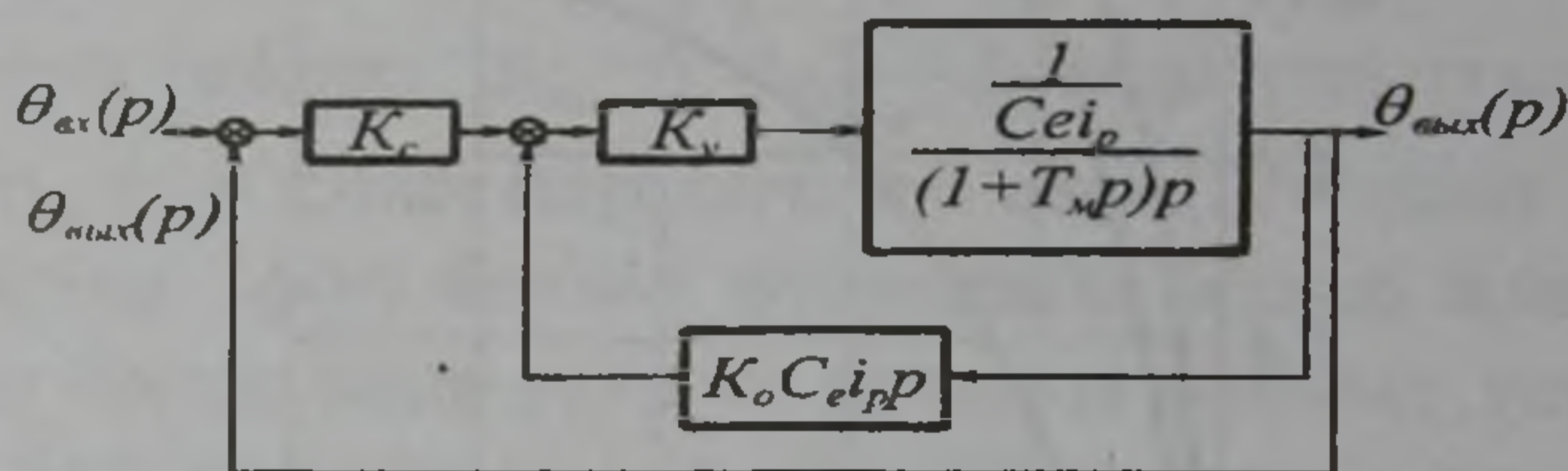


4.8– сурет: 1 – $kx_{\text{вх}}(t)$; 2 – $T=0,05$ с; 3 – $T=0,5$ с; 4 – $T=2,5$ с.

3-мысал. Кірісінде $\Theta_{\text{вх}}(t) = A \sin \Omega t$ функциясы әсер еткен қадағалаушы жүйенің (4.9 – сурет) өткінші процесін анықтау. Кірістегі сигналдың параметрлері: $A = 1$, $\Omega = 8$ рад/с. Қадағалаушы жүйенің параметрлерінің сан мәндері мынадай:

$$K_c = 50 \frac{\text{в}}{\text{рад}}, \quad K_y = 400, \quad C_\theta = 0,6 \frac{\text{в}}{\text{рад/с}}, \quad T_m = 0,02 \text{ с}, \quad i_p = 250, \\ K_0 = 10^{-4} \dots$$

$\sin \Omega t \equiv \frac{\Omega}{p^2 + \Omega^2}$ болғандықтан қадағалаушы жүйенің шығыстағы шамасының бейнесі. $\Theta(p) = \frac{D \Omega}{[T_m p^2 + (1 - K_y K_0) p + D](p^2 + \Omega^2)}$. Мұндағы $D = \frac{K_c K_y}{C_\theta i_p}$



4.9 – сурет

Шығыстағы сигналдың түп нұсқасы төмендегі түрде табылады:

$$\Theta(t) = \frac{a^2 + b^2}{\sqrt{(a^2 + b^2 - \Omega^2)^2 + 4a^2 \Omega^2}} \sin(\Omega t - \lambda) + \\ + \frac{(a^2 + b^2)}{b \sqrt{(a^2 + b^2 - \Omega^2)^2 + 4a^2 \Omega^2}} \cdot e^{at} \sin(\beta t \pm \varphi).$$

$$\text{Мұндағы } \lambda = \arctg \frac{2a\Omega}{a^2 + b^2 - \Omega^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{-2ab}{a^2 + b^2 - \Omega^2}; \quad a = \frac{1 + K_y K_0}{2T_m};$$

$$b = \frac{1}{2T_m} \sqrt{4DT_m - (1 + K_y K_0)}; \quad a^2 + b^2 = \frac{D}{T_m}.$$

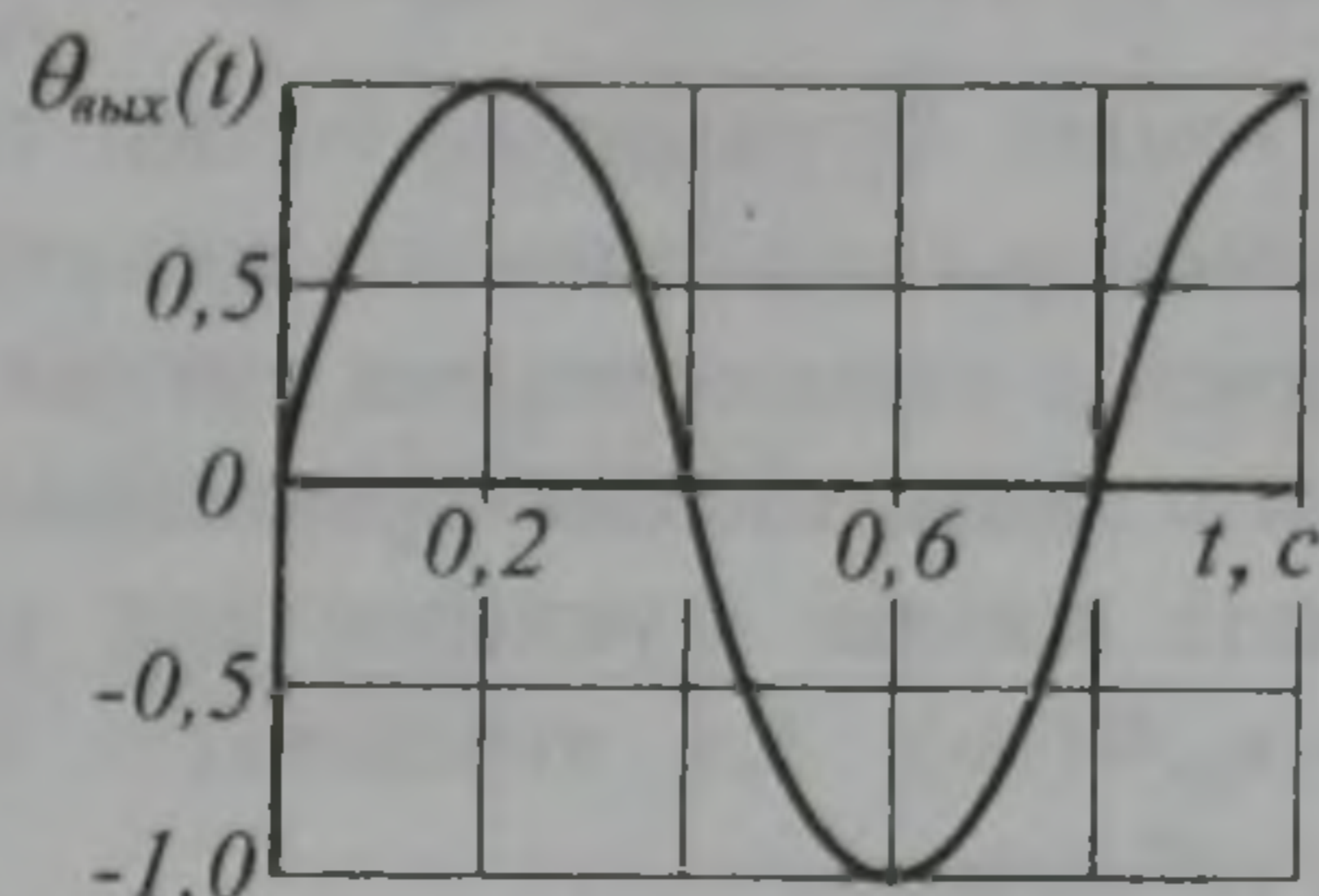
Параметрлердің сан мәндерін орындарына қойсақ,

$$\Theta_{\text{вх}}(t) = 1,024 \sin(8t - 0,063) + 0,106 e^{-26t} \sin(77,4t - 3,79).$$

4.3–кестесіндегі $\Theta_{\text{вх}}(t)$ шамасының есептеп шығарылған сан мәндері бойынша салынған өткінші процестің графигі 4.10-суретте көрсетілген.

4.3–кесте – Есептеу нәтижелері

t, c	$\theta_{\text{вых}}(t)$	t, c	$\theta_{\text{вых}}(t)$
0	0	0,20	1,021
0,005	0,0008	0,35	0,401
0,01	0,0076	0,50	-0,73
0,05	0,341	0,60	-1,02
0,10	0,682	0,80	0,0552



4.10–сурет

Тапсырма. Кірісінде $\theta_{\text{вх}}(t) = A \sin \Omega t$ функциясы әсер еткен қадағалаушы жүйенің өткінші процесін анықта. Жүйенің параметрлері:

$$A = 1, \theta = 10 \frac{\text{рад}}{c}, K_c = 40 \frac{\text{В}}{\text{рад}}, K_y = 500, C_e = 0,8 \frac{\text{В}}{\text{рад} \cdot c}, T_m = 0,015 c, i_p = 200, K_o = 1,2 \cdot 10^{-4}.$$

4.3 Автоматтық басқару жүйелерінің жиілік сипаттамаларын құру

Автоматтық басқару жүйелерін анализ және синтез жасауда жиілік сипаттамалар кеңінен қолданылады [1,4,8,11,12,23].

Автоматтық жүйенің, немесе оның звеноларының жиілік сипаттамаларының өрнектері операторлық түрде жазылған беріліс функциясындағы p операторын $i\omega$ көбейтіндісімен алмастыру жолымен табылады.

Тұйықталған, немесе тұйықталмаған жүйенің жиілік сипаттамасын оның кірісіне амплитудасын өзгертпей, жиілігін

нөлден шексізге дейін өзгертіп, гармоникалық сигналмен әсер етіп, тауып алуға болады. Әлбетте, тәжірибе жүзінде гармоникалық сигналдың жиілігін барлық диапазонда өзгертіп шығу техникалық мүмкіншіліктермен шектелетіні белгілі.

Сызықты автоматтық жүйенің кірісіне $x_{вх} = x_{вх.маx} \sin \omega t$ гармоникалық сигнал әсер етсе, онда өткінші процесс аяқталғаннан кейін оның шығысында жиілігі кірістегі сигналдікімен бірдей, амплитудасы мен фазасы өзгеше болған $x_{вых} = x_{вх.маx} \sin(\omega t + \varphi)$ түріндегі гармоникалық сигнал келіп шығады. $\frac{x_{вых.маx}}{x_{вх.маx}} e^{i\varphi(\omega)} = \Phi(i\omega)$ қатынасы комплексті жиілік функциясы болып табылады және ол жүйенің комплексті күшейту коэффициенті деп аталады.

Демек, жүйенің кірісіне гармоникалық сигнал әсер еткен болса, онда оның шығысындағы қалыптасқан гармоникалық шама кірістегі функцияның комплексті жиілік функциясына көбейтіндісіне тең болады, яғни $x_{вых} == x_{вх} \Phi(i\omega)$. Ал, комплексті жиілік функциясы беріліс функциясынан табылады.

$\Phi(i\omega)$ өрнегі ақиқат $P(\omega)$ және жорамал $iQ(\omega)$ бөліктерінен тұрады деп қарастырылады, яғни

$$\Phi(i\omega) = U(\omega) + iV(\omega) = A(\omega)e^{i\varphi(\omega)}.$$

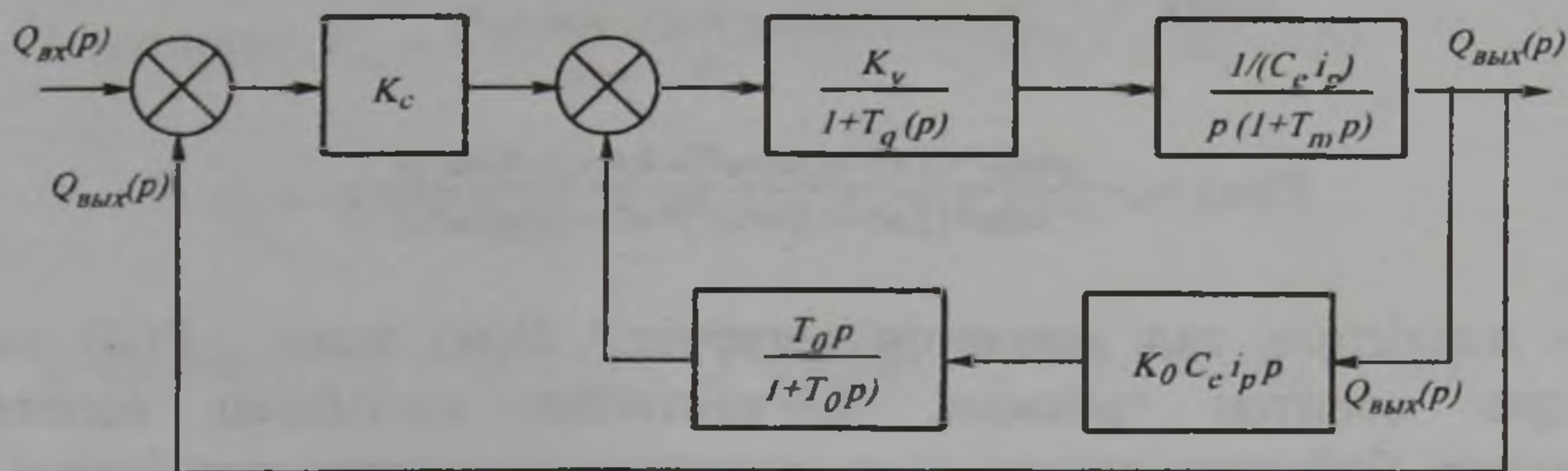
Мұндағы $A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$ – амплитудалық жиілік сипаттамасы, $\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}$ – фазалық жиілік сипаттамасы болып табылады.

Комплексті айнымалы шамасы жазықтығында $\Phi(i\omega)$ функциясы амплитудасы A , фазасы φ болған вектор болып табылады. ω жиілігі нөлден шексізге дейін өзгерген кезде $\Phi(i\omega)$ векторларының амплитудасы мен фазасы өзгеріп отырады, ал векторлардың шеткі ұштары комплексті айнымалы шама жазықтығында тұйықталған жүйенің амплитудалық фазалық сипаттамасы деп аталатын қисықсызығын (жиілік функциясының векторларының ұштарының геометриялық орны) сызып шығады.

Мысал. Структуралық схемасы 4.11-суретінде көрсетілген қадағалаушы жүйенің амплитудалық-фазалық сипаттамасын салып шығу керек.

Жүйенің параметрлері:

$$K_c = 0,87 \frac{\text{В}}{\text{град}}, T_q = 0,12 \text{ с}, T_m = 0,25 \text{ с}, C_e = 0,0106 \frac{\text{В}}{\text{град/с}}, i_p = 1,65, K_0 = 0,2, T_0 = 0,1 \text{ с}, K_y = 100.$$



4.11-сурет

Жүйенің беріліс функциясы

$$W(p) = \frac{D(1+T_0p)}{p + [T_q + T_m + T_0(1+K_yK_0)]p^2 + (T_qT_m + T_mT_0 + T_qT_0)p^3 + T_qT_mT_0p^4}$$

Мұндағы

$$D = \frac{K_c K_y}{C_e i_p} = \frac{0,87 \cdot 100}{0,0106 \cdot 165} \frac{1}{\text{с}}$$

$p = i\omega$ деп алып және параметрлердің сан мәндерін қойсақ,

$$W(i\omega) = \frac{A(i\omega)}{D(i\omega)}$$

$$\begin{aligned} \text{Мұндағы } A(i\omega) &= D(1 + iT_0\omega) = 49,8 \cdot (1 + i0,1\omega), \\ B(i\omega) &= i\omega - \omega^2 [T_q + T_mT_0(1 + K_yK_0)] - i\omega^3 (T_qT_m + T_mT_0 + T_qT_0) \\ &\quad + T_qT_mT_0\omega^4 = i\omega - \omega^2 [0,12 + 0,25 + 0,1(1 + 100 + 0,2)] - \\ &\quad - i\omega^3 (0,12 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 0,1 + 0,12 \cdot 0,1) + 0,12 \cdot 0,25 \cdot 0,1\omega^4. \end{aligned}$$

Теңдеуді ықшамдағаннан кейін

$$W(i\omega) = \frac{49,8 (1 + i0,1\omega)}{i\omega - 2,47\omega^2 - i 0,067\omega^3 + 0,003\omega^4}$$

болып шығады.

Оның ақиқат және жорамал бөліктері:

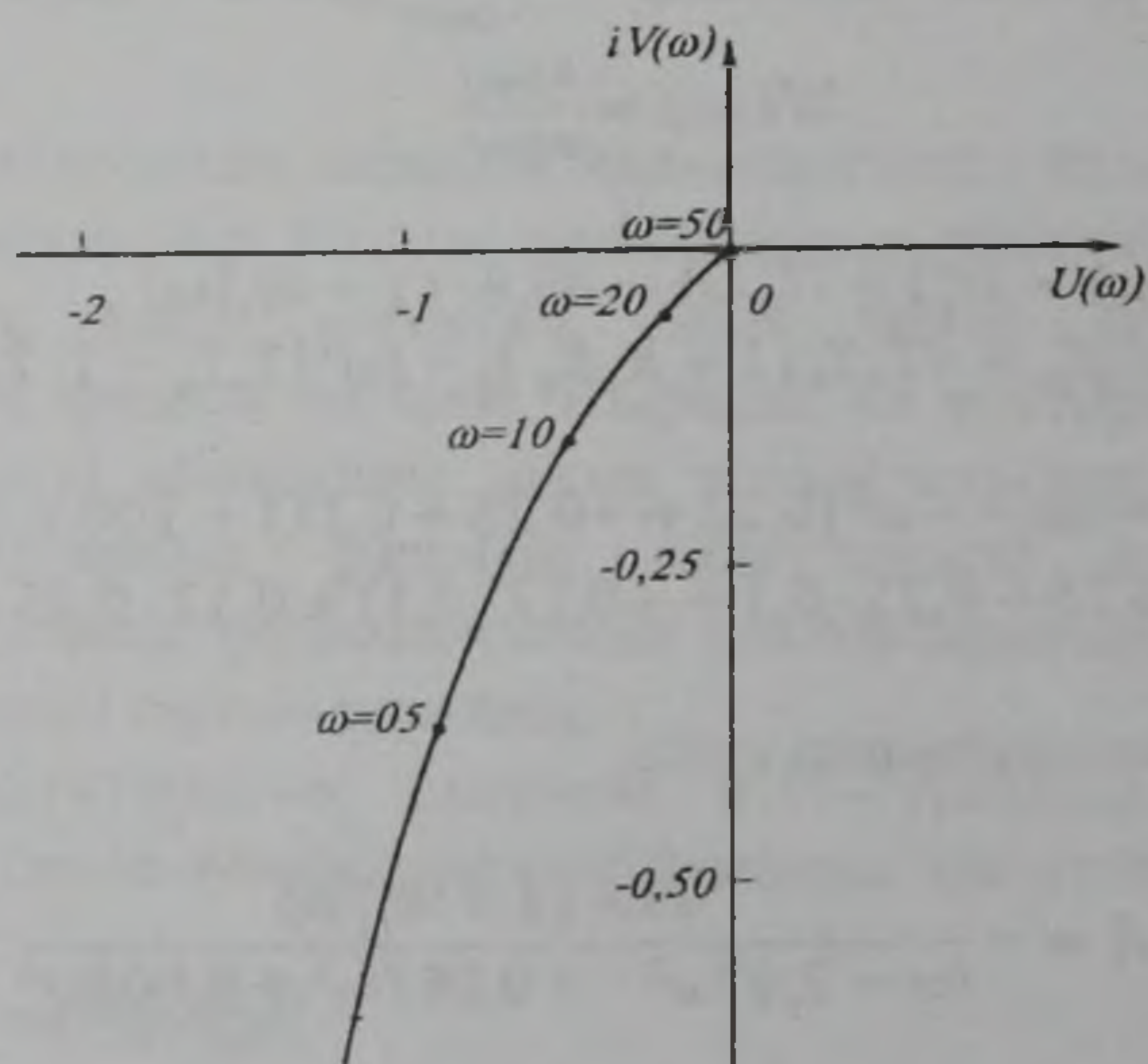
$$U(\omega) = \frac{-49,8(2,47-0,003\omega^2)+49,8(1-0,067\omega^2)}{\omega^2(2,47-0,003\omega^2)^2+(1-0,067\omega^2)},$$

$$V(\omega) = -\frac{49,8\omega^2(2,47-0,003\omega^2)+49,8(1-0,067\omega^2)}{\omega[\omega^2(2,47-0,003\omega^2)^2+(1-0,067\omega^2)]}.$$

ω жиілігінің сан мәндерін өзгертіп, $U(\omega)$ және $V(\omega)$ сан мәндерін есептеп табамыз. 4.4-кестесіне енгізілген есептеу нәтижелері бойынша сызылып шығарылған амплитудалық-фазалық сипаттама 4.12-суретінде көрсетілген.

4.4-кесте – Есептеу нәтижелері

ω	$U(\omega)$	$V(\omega)$
0	-118,3	$-\infty$
2	-4,83	-1,73
3	-2,23	-0,806
5	-0,855	-0,367
10	-0,270	-0,158
20	-0,146	-0,0475
50	$-0,92 \times 10^{-3}$	$-2,3 \times 10^{-3}$



4.12 – сурет

Тапсырма. Параметрлері төменде берілген 4.11-суретінде көрсетілген жүйенің амплитудалық-фазалық сипаттамасын сызып шығыңыз:

$$1\text{-вариант: } K_c = 0,60 \frac{\text{В}}{\text{град}}; T_q = 0,1 \text{ с}; T_m = 0,2 \text{ с}; K_y = 70;$$

$$C_e = 0,015 \frac{\text{В}}{\text{град/с}}; i_p = 150, K_o = 0,3; T_o = 0,15 \text{ с}.$$

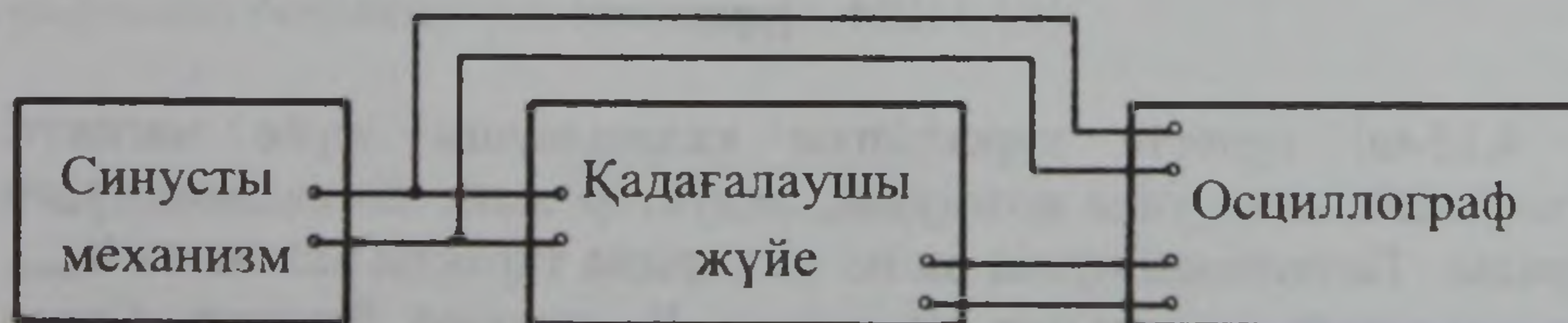
$$2\text{-вариант: } K_c = 0,70 \frac{\text{В}}{\text{град}}; T_q = 0,15 \text{ с}; T_m = 0,15 \text{ с}; K_y = 120;$$

$$C_e = 0,01 \frac{\text{В}}{\text{град/с}}; i_p = 170, K_o = 0,25; T_o = 0,2 \text{ с}.$$

4.4 Қадағалаушы жүйенің жиілік сипаттамасын тәжірибе жүзінде анықтау

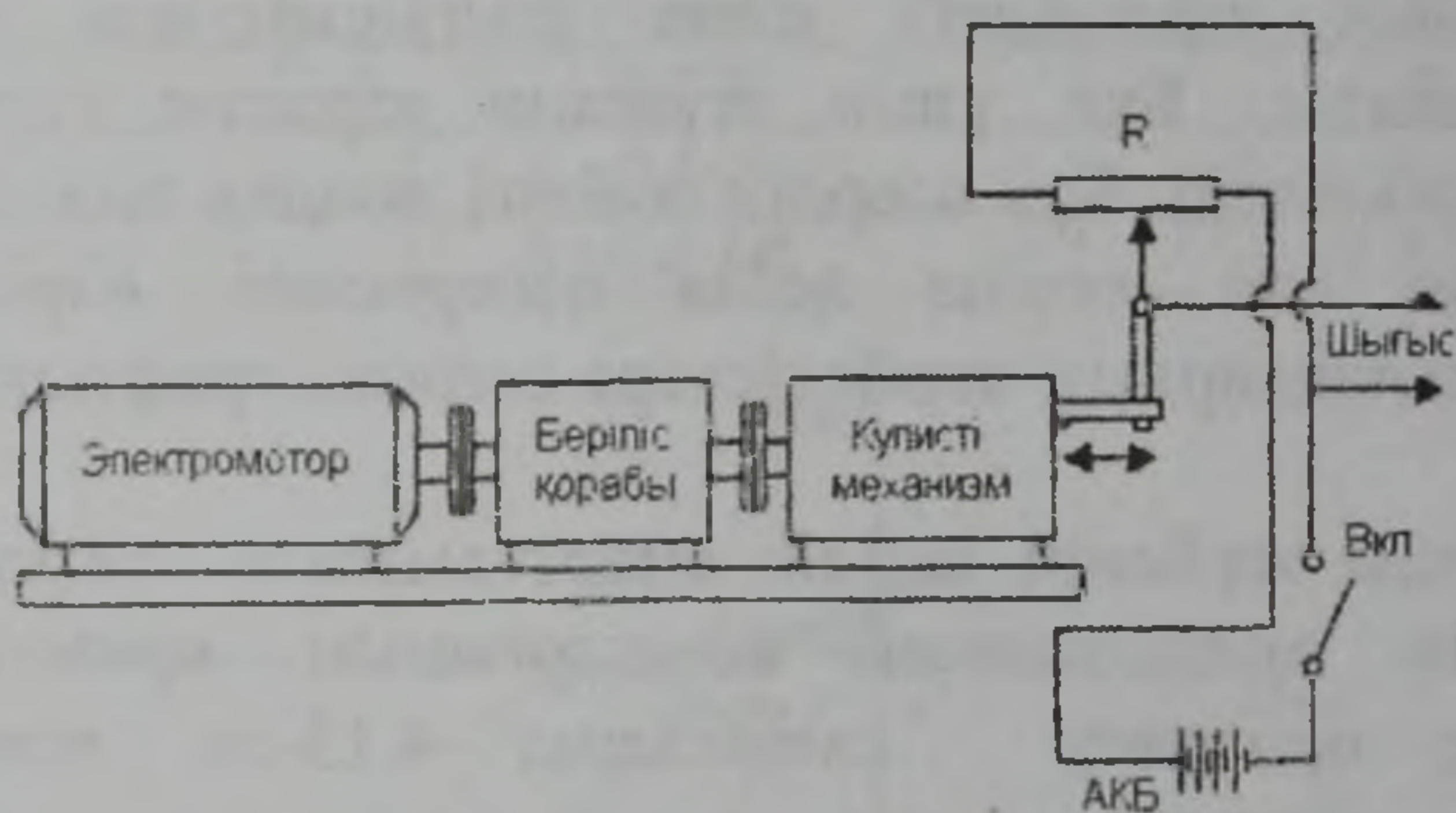
Алдын ала қалыптастырылып алынған жүйенің жиілік сипаттамаларын анықтау үшін жүйеде периодты тербелісті қоздырып, оның кірісіндегі және шығысындағы сигналдары жазылып алынады. Бұл үшін жүйенің кірісіне гармоникалық сигналмен әсер етіледі. Бұл әсердің жиілігі нөлден шексізге, немесе мүмкін болған сан мәніне дейін өзгертіледі. Кірістегі және шығыстағы сигналдардың тербелістері осциллографтың таспасына жазылады.

Қадағалаушы жүйенің жиілік сипаттамасын тәжірибе жүзінде анықтау үшін қолданылған қондырғының принципті және тораптарының орналасу схемалары 4.13-ші және 4.14-ші суреттерде көрсетілген.



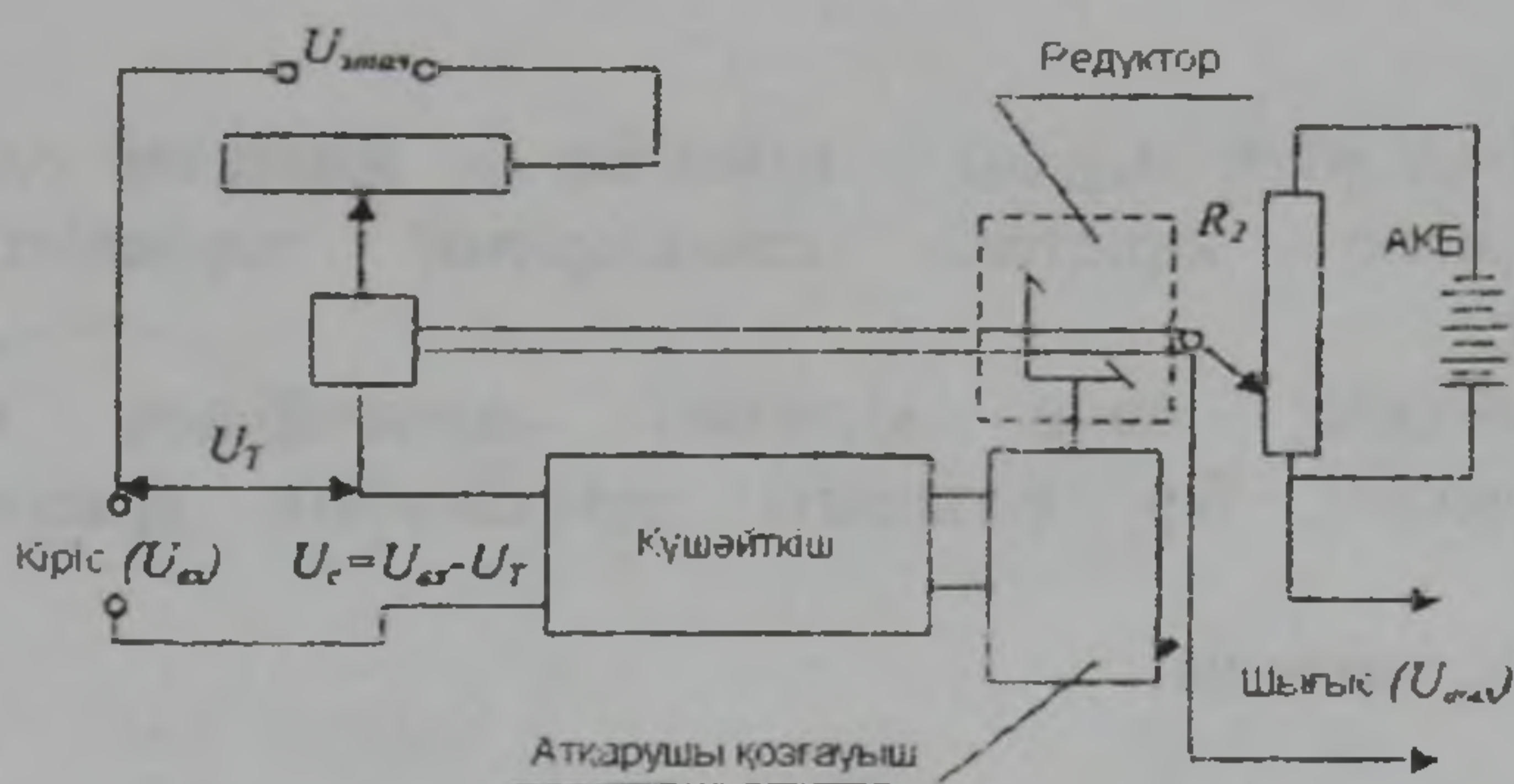
4.13-сурет

Синусты механизмнің (генератордың) кулисті құрылымына (4.14-сурет) электр қозғаушынан беріліс қорабы арқылы қозғалыс беріледі. Потенциометрдің кірісінде оның тиегінің қозғалу заңына сәйкес болған кернеу жазылып алынады. Бұл кернеудің өзгеру жиілігі қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығын және беріліс қорабының сатыларын өзгерту жолымен реттелініп отырылады. Шығыстағы кернеудің амплитудасы кулиса штогінің ысырылу шамасымен, яғни потенциометр тиегінің бұрылу бұрышымен, немесе потенциометрді қоректендіретін кернеуді өзгерту жолымен реттелініп отырады. Генератордың шығысы қадағалаушы жүйенің кірісімен және осциллограф гальвонометрімен тізбектеліп жалғасқан. Жиілік сипаттамасын жазып шығару үшін электр қозғауышын қоректендіретін кернеудің шамасын және редуктордың беріліс сатысын біртіндеп өзгертіп отыру керек. Кірістегі және шығыстағы шамалар осциллограф таспасына жазылып отырылады. Осылайша жазылып алынған осциллограммалардан тербелістердің амплитудаларын және фазаларын анықтап алуға болады.



4.14 – сурет

4.15-ші суретте көрсетілген қадағалаушы жүйе магнитті күшейткіш, атқарушы қозғауыш, редуктор және потенциометрден тұрады. Потенциометрдің шеткі ұштарына тұрақты эталонды $U_{\text{этал}}$ кернеуі, жүйенің кірісіне айнымалы $U_{\text{вх}}$ кернеуі беріледі. Сонда күшейткіштің кірісіне $U_c = U_{\text{вх}} - U_T$ қателік кернеуі әсер ететін болады. Бұл кернеу күшейтілгеннен кейін қозғауышқа беріледі. Қозғауыш білігі айналып, редуктор арқылы потенциометрдің тиегін U_c кернеуі нөлге тең болғанға дейін ысырады.



4.15 – сурет

Жүйенің кірісінде синус тәрізді сигнал әсер ететін болса, онда редуктордың өсі тербелісті қозғалыста болады. Редуктордың өсіне екінші потенциометрдің тиегі катаятылып бекітілген. Бұл потенциометрден шығатын сигнал осциллографқа жазылып алынып отырады.

Жүйенің амплитудалық-фазалық (АФЖС) және фазалық (ФЖС) жиілік сипаттамаларын анықтау үшін қадағалаушы жүйенің кірісіне $U = A \sin \omega t$ заңы бойынша өзгеріп отыратын сигнал беріледі. Мұнда $A = const$ тұрақты күйінде сақталып, ω жиілігі нөлден ω_{max} максимал шамасына дейін өзгертіледі. Сонда жүйенің шығысында әртүрлі тербеліс процестері орын алады.

Егер қолымызда осылайша тәжірибе жолымен түсіріліп алынған жүйеге әртүрлі жиілікпен әсер ететін қоздырушы шамалардың және жүйеден шығатын оларға сәйкесті сигналдардың осциллограммалары (4.16–сурет) жазылып алынған болса, онда жүйенің амплитудалық-фазалық жиілік сипаттамаларын анықтап алуға болады. Сипаттаманың модулі мен фазасы төмендегі формулалар бойынша анықталады [1,4,8,11,12]:

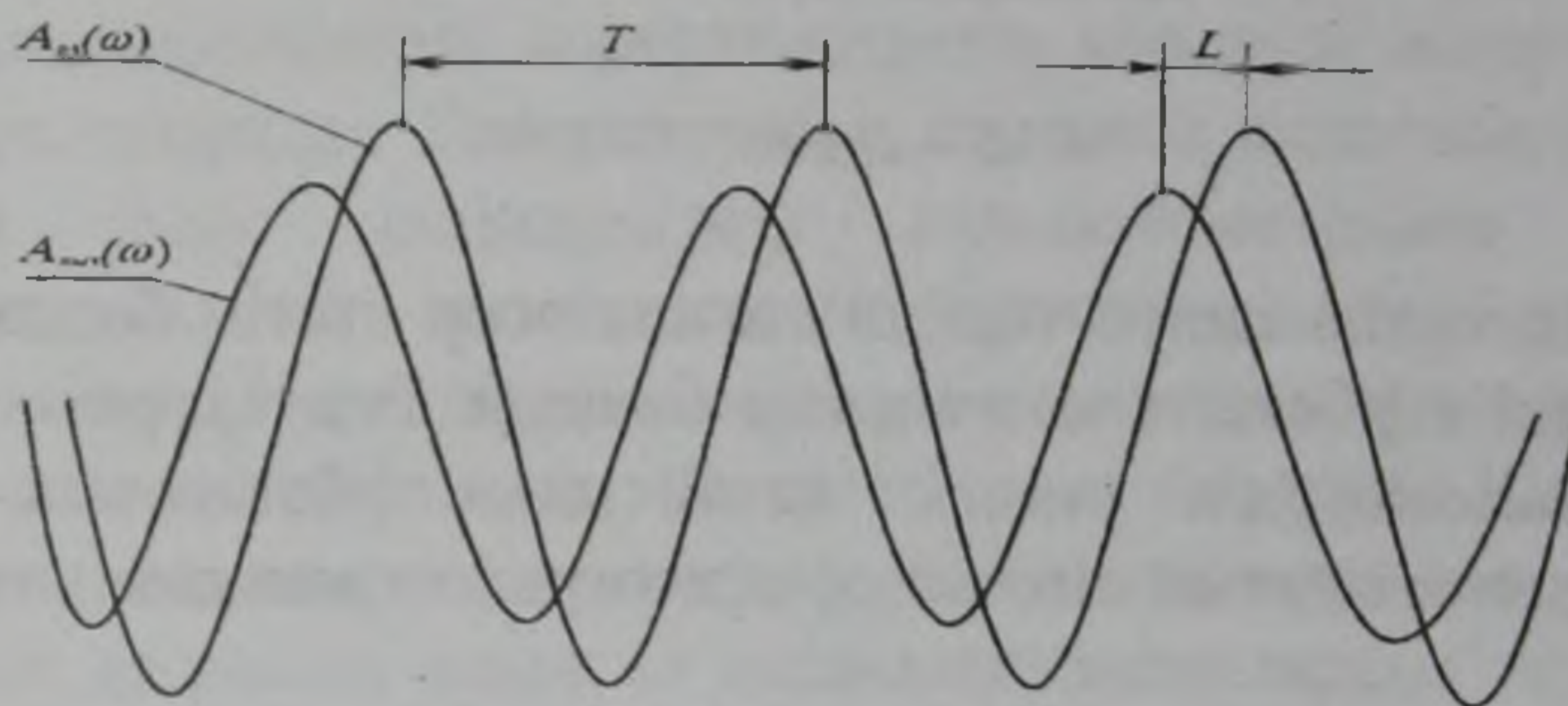
$$A(\omega_i) = \frac{A_{\text{вых}}(\omega_i)}{A_{\text{вх}}(\omega_i)},$$

$$\varphi(\omega_i) = \frac{L \cdot 2\pi}{T}.$$

Мұндағы $A_{\text{шыx}}(\omega_i)$ және $A_{\text{кx}}(\omega_i)$ – кайсыбір ω_i жиілігіне сәйкесті шығыстағы және кірістегі шамалардың тербелістерінің амплитудалары;

L – шығыстағы және кірістегі шамалардың өзгеру қисықсызықтарының бір фазадағы нүктелерінің арасындағы қашықтық;

T – тербеліс периоды.

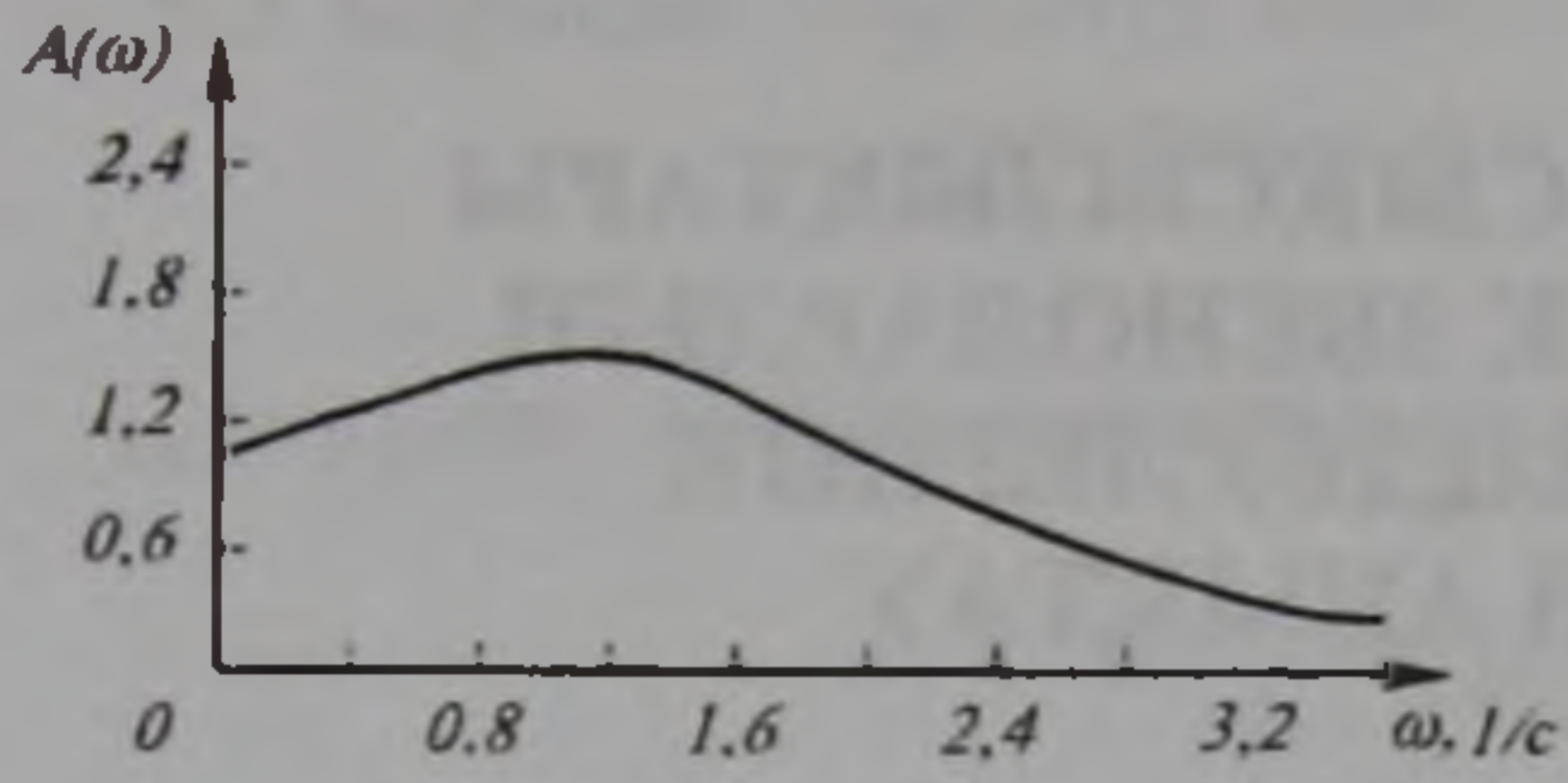


4.16 – сурет

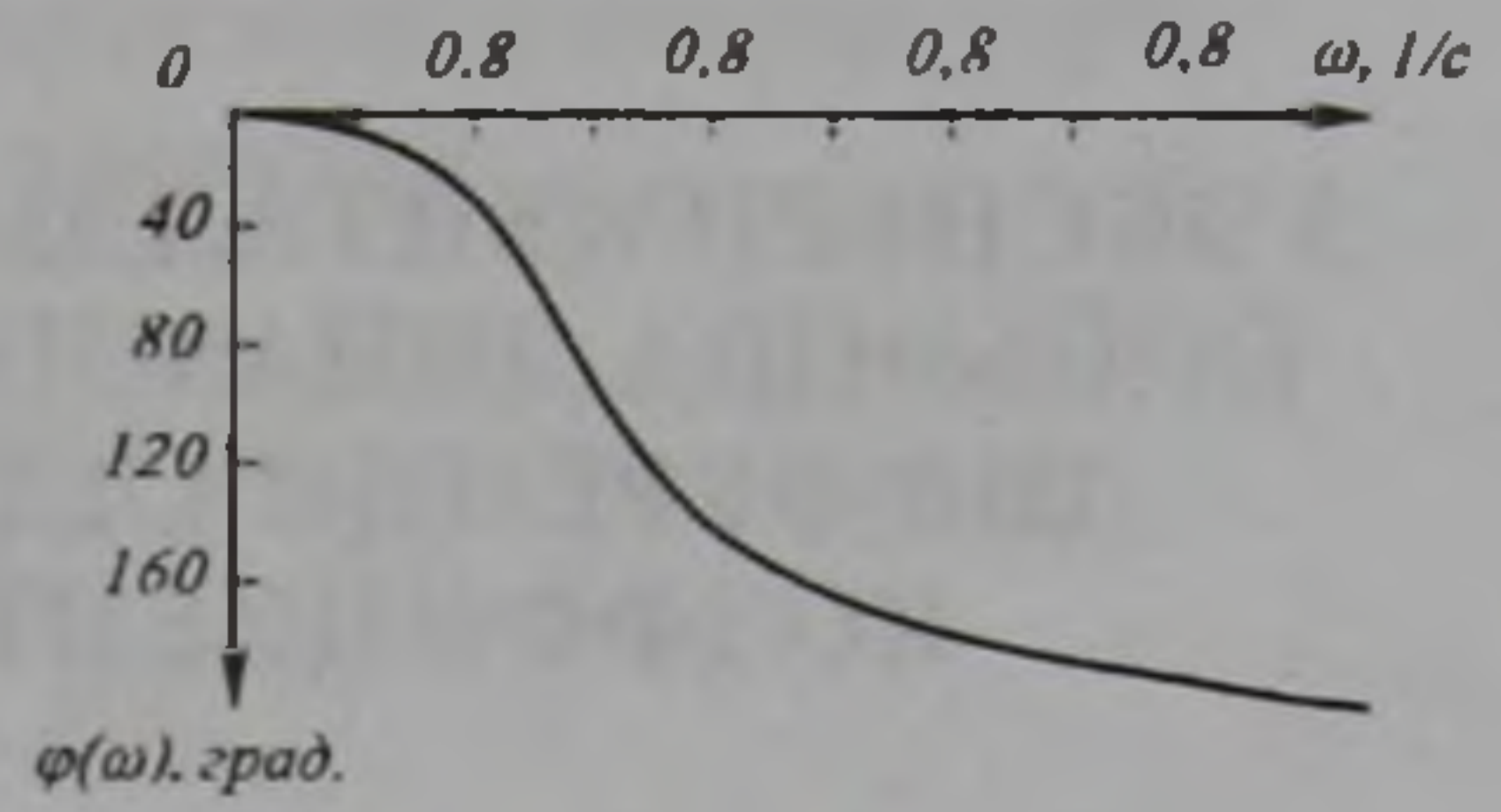
Шығыстағы шаманың амплитудасы мен фазасы қадағалаушы жүйенің қасиеттеріне және кірістегі сигналдың тербелісінің жиілігіне тәуелді болады. Кірістегі шаманың жиілігі неғұрлым үлкен болса, солғұрлым шығыстағы шаманың тербелісінің амплитудасы кіші болады. Сондықтан жиілік сипатамаларды тәжірибе жүзінде анықтау кезінде кірістегі сигналдың жиілігін шығыстағы сигналдың тербеліс сипаты анық көрінетін жағдайға дейін ғана өзгертеді. Егер кірістегі сигналдың тербелісінің жиілігі кайсыбір ω_i мәніне жеткен кезде шығыстағы шама өзгермейтін болса, онда тәжірибені әрі қарай жалғастырудың қажеттілігі болмайды. Бұл жағдайда объектіміз тербелісті жұтып қоятын фильтрдің ролін ойнайды.

Идеалды қадағалаушы жүйе өзінің шығысында кірісіндегі сигналды өзгертпей қайталап отыруы, яғни $A(\omega_i) = 1$, $\varphi(\omega_i) = 0$ болуы керек.

4.17 және 4.18–суреттерде қадағалаушы жүйенің салынып шығарылған амплитудалық және фазалық сипаттамалары көрсетілген, ал, салу кезінде керек болатын шамалардың сан мәндері 4.5–кестесіне енгізілетін болуы керек.



4.17 – сурет



4.18 – сурет

4.5-кесте – Осциллограммаларды ашып-шешудің нәтижелері

Осциллограмма нөмірі	$A_{вх}(\omega_1)$	$A_{вых}(\omega_1)$	$K = A_{0,вых} =$ $= A_{вх} / A_{вых}$	T	T	L	$A(\omega_1) =$ $= \frac{K A_{вх}(\omega_1)}{A_{вх}(\omega_1)}$	$\omega = 2\pi/t$	$\omega = 1/T$	$\varphi(\omega) = 2\pi L/T$	$\varphi(\omega_1) = 180/\pi$
	мм	мм		мм	с	мм		рад/с	град/с	рад	рад
											град

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫҚ ҚИСЫҚСЫЗЫҚТАРЫ БОЙЫНША ДИНАМИКАЛЫҚ ЗВЕНЛАРДЫҢ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕРІНІҢ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІН АНЫҚТАУ

Басқарудың сапасын анықтайтын факторлардың қатарына өткінші процестің сипаты жатады. Өткінші процес автоматты агрегаттың жұмыс режимінің талаптарына сәйкес болуы үшін басқару жүйесінің керекті динамикалық қасиеттері қамтамасыз етілуі керек.

Тұйықталған автоматтық жүйенің теңдеуі динамикалық звеноларының теңдеулерінің жиынтығы болып табылады. Белгілі бір сыртқы ауытқу әсер еткен жағдайда тұйықталған жүйенің динамикасын бейнелейтін әрбір теңдеуіне өткінші процестің белгілі бір сипаты сәйкес келеді. Кейбір жағдайларда зерттеу нәтижесінде жазылып алынған процестердің қолда бар қисықсызықтарын пайдаланып, құрылымдарды (звеноларды) бейнелейтін дифференциалды теңдеулерін жазып шығару мүмкін болып отырады.

Автоматтық жүйені, немесе кез келген механикалық құрылымды есептеуге қажет болатын мәліметтерді анықтап алу үшін тәжірибе жолымен табылған өткінші процестерінің қисықсызықтарын пайдалануға болады. Осындай механикалық жүйелер қатарына машина-трактор агрегатын жатқызуға болады. Трактор ілмегіндегі жүк күшімен толық жүктелген машина-трактор агрегатының, орнынан жылжып, қарқынды қозғалысы кезінде қозғаушының, сол сыяқты трансмиссия біліктерінің айналу жылдамдықтарының өзгеру сипаттары өткінші процеске өте жақын болатыны көптеген тәжірибелік жұмыстар нәтижесінде анықталған [14,16,17,19,20,28]. Агрегат орнынан жылжып, қарқынды қозғалысының жалпы ұзақтығы 4...5 секундтен аспайды, ал, трактор ілмегіне түсетін жүк күшінің, сол секілді, қозғауыш білігіне әсер ететін кедергі моментінің әсер ету сипаты секіріп өзгертін сыртқы ауытқуға ұқсас болып келеді. Сондықтан, тәжірибелік жолмен жазылып алынған қисықсызықтарды зерттеп, құрылымның теңдеулерінің аналитикалық өрнектерін жазып шығарып алу жолын оқып, үйренуді қолда бар машина трактор агрегаттарының қарқынды қозғалысының тәжірибе жүзінде жазылып алынған қисықсызықтарын пайдаланып, қарастырып шығатын боламыз.

5.1 Бірінші тәртіпті звено теңдеуінің коэффициенттерін тәжірибе жолымен анықтау

Динамикалық звенолардың көпшілігін

$$T \frac{dx_{\text{бых}}}{dt} + x_{\text{бых}} = K x_{\text{вх}} \quad (5.1)$$

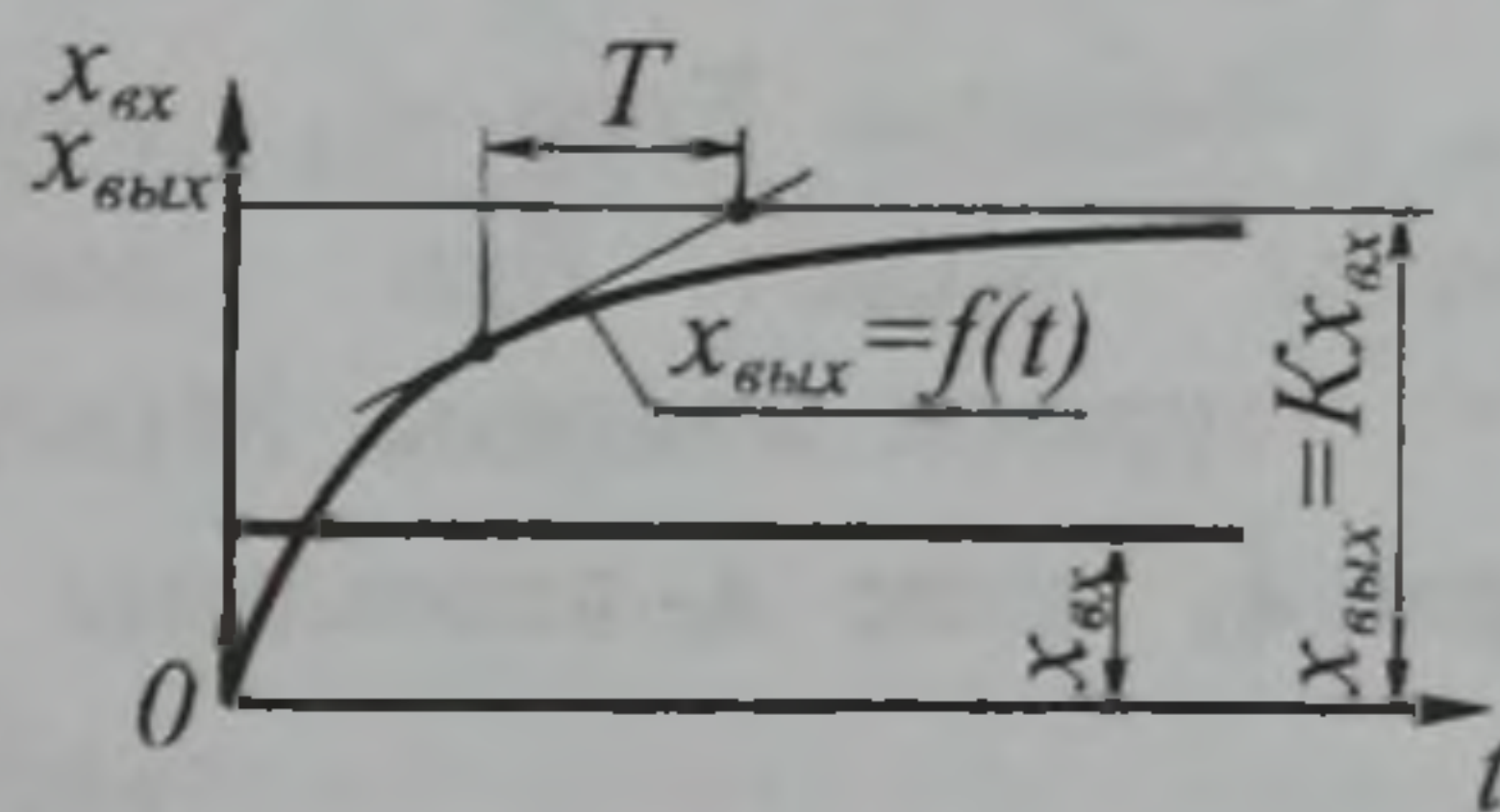
түріндегі бірінші тәртіпті дифференциалдық теңдеумен бейнелетін периодикалық (инерциялы, статикалық т.б.) звеноларға жатқызуға болады. Егер K күшейту коэффициенті мен T уақыт тұрақтысының сан мәндері белгілі болса, онда дифференциалды теңдеу толығымен анықталған болады.

(5.1) теңдеуінің шешімі экспонента болып табылады:

$$x_{\text{бых}} = K x_{\text{вх}} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (5.2)$$

Бұл жағдайда $x_{\text{вх}}$ сыртқы әсері секіру тәрізді сипатта болады. Мұндай сыртқы ауытқытудың әсеріне шығысындағы $x_{\text{бых}}$ сигналының өзгеруі, басқаша айтқанда уақыттық сипаттамасы, сәйкес келеді.

5.1-суретте шығыстағы шаманың өзгеру қисықсызығы $x_{\text{бых}} = f(t)$ көрсетілген. Бұл қисықсызық уақыт функциясы—экспонента болып табылады. Сонымен қатар суретте кірістегі $x_{\text{вх}}(t)$ шамасының өзгеру сипаты,



5.1-сурет

шығыстағы шаманың қалыптасқан $K x_{\text{вх}}$ сан мәні, T уақыт тұрақтысының физикалық мағналары көрсетілген. Күшейту коэффициенті шығыстағы және кірістегі сигналдардың қалыптасқан сан мәндерінің қатынастарына тең болады, яғни

$$K = \frac{x_{\text{вых}}}{x_{\text{вх}}} \quad (5.3)$$

T уақыт тұрақтысы шығыстағы шаманың тұрақты максимал жылдамдықпен өзгеріп отырып, бастапқы мәнінен қалыптасқан мәніне дейін өзгеруінің шартты уақыты болып табылады.

Машина-трактор агрегатының қарқынды қозғалысының қисықсызығы экспонента болған бірінші тәртіпті звено үшін T уақыт тұрақтысының сан мәнін қисықсызықтың кез келген нүктесінен жанама сызық жүргізіп, тауып алуға болады.

Сөйтіп, егер жазылып алынған қисықсызық экспонента болса, онда K және T коэффициенттерінің сан мәндерін оңай тауып ала аламыз.

Табылған теңдеудің қанағаттандыруарлық деңгейін анықтау үшін K және T коэффициенттерінің сан мәндерін (5.2) теңдеуіне қойып, қисықсызықтарды сызып шығу керек. Егер салыстырылып отырған қисықсызықтар арасындағы айырма үлкен деп табылса, онда K және T коэффициенттерінің сан мәндерін өзгертіп, салыстыруды қайталау керек болады.

5.2 Екінші тәртіпті звено теңдеуінің коэффициенттерін тәжірибе жолымен анықтау

Екінші тәртіпті звеноның кірісінде секіру тәрізді сыртқы ауытқыту кенеттен әсер етті делік. Звеноның теңдеуі, $T_p^2 \frac{d^2 x_{\text{вых}}}{dt^2} + T_k \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + \delta x_{\text{вых}} = x_{\text{вх}}$, немесе операторлық түрде $(T_p^2 p^2 + T_k p + \delta)x_{\text{вых}} = x_{\text{вх}}$ болады. Егер $x_{\text{вх}}$ кенеттен әсер еткен тұрақты шама болса, онда бұл теңдеудің шешімі $x_{\text{вых}} = \frac{x_{\text{вх}}}{\delta} + A_1 e^{\lambda_1 t} + A_2 e^{\lambda_2 t}$ түрінде шығады. Мұндағы A_1 және A_2 – интегралдау тұрақтылары, λ_1 және λ_2 шамалары $T_p^2 \lambda^2 + T_k \lambda + \delta = 0$ сипаттаушы теңдеуінің түбірлері, яғни $\lambda_{1,2} = \frac{-T_k \pm \sqrt{T_k^2 - 4\delta T_p^2}}{2T_p^2}$.

Төмендегі жағдайларды қарастырайық.

A. $\delta > 0$, $T_k^2 < 4\delta T_p^2$ болсын делік.

Бұл жағдайда сипаттама теңдеуінің түбірлері кешенді болады, яғни $\lambda_{1,2} = -\beta \pm i\Omega$. Мұндағы Ω – өшетін тербелістің жиілігі.

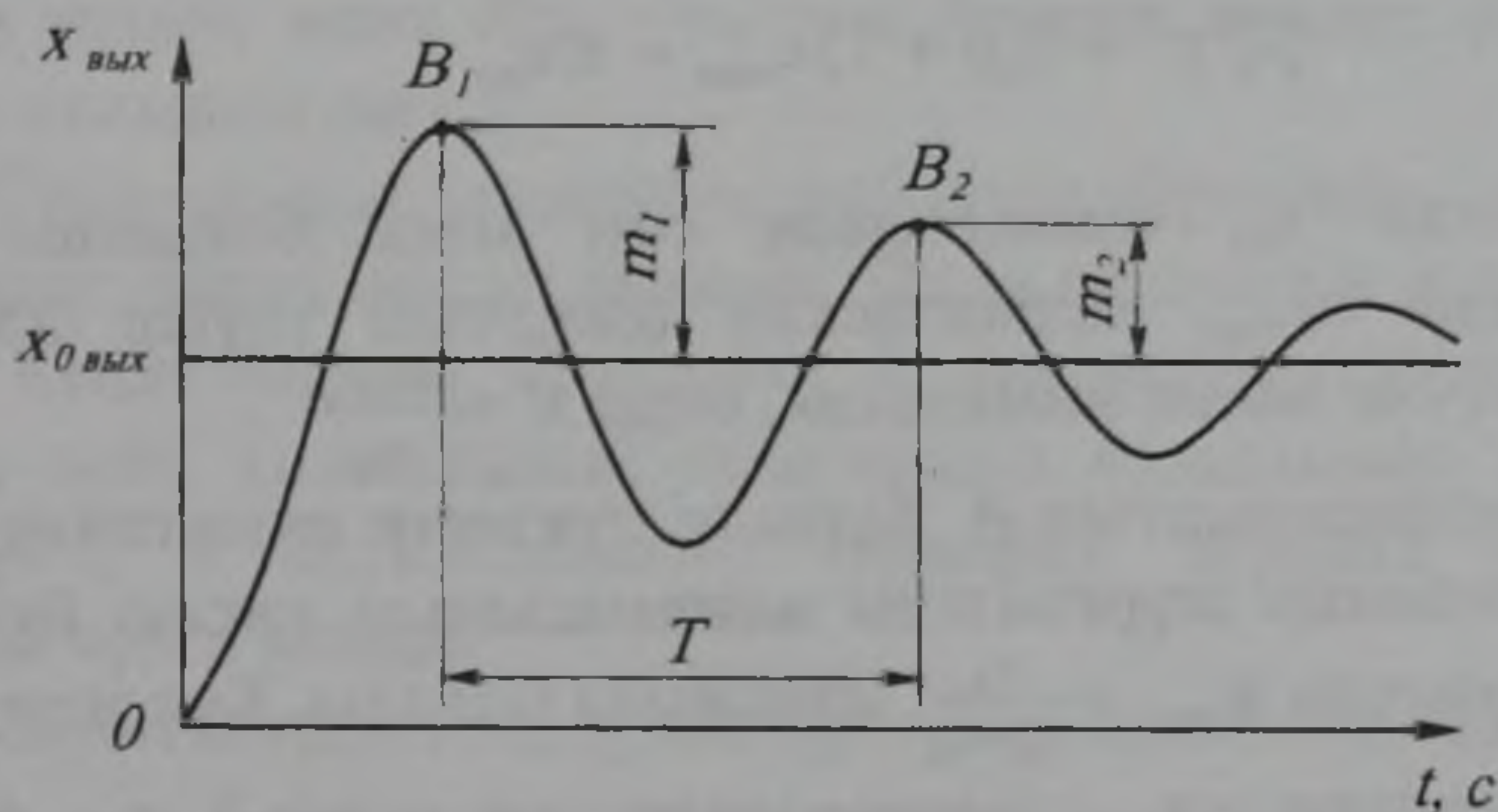
$$\Omega = \frac{\sqrt{4\delta T_p^2 - T_k^2}}{2T_p^2}; \quad (5.4)$$

$$\beta = \frac{T_k}{2T_p^2} \quad (5.5)$$

Өткінші процестің теңдеуі төмендегі түрде шығады:

$$x_{\text{вых}} = \frac{x_{\text{вх}}}{\delta} + [A_1 \sin \omega t + A_2 \cos \omega t] e^{1-\beta t}.$$

5.2-суретте тәжірибе жүзінде жазылып алынған өткінші процестің осциллограммасы көрсетілген [14,17,20]. Бұл қисықсызық звеноның сипаттаушы теңдеуінің комплексті түбірлерінің ақиқат бөлігі теріс сандар болған жағдайдағы екінші тәртіпті жүйенің өткінші процесі екенін көрсетеді. Белгілі болған $x_{\text{вх}}$ шамасының сан мәні бойынша және осциллограммадан $x_{\text{вых}}$ қалыптасқан шамасын тауып алып, δ коэффициентінің (реттеуіштің статизмін) сан мәнін анықтаймыз. Сонда $\delta = \frac{x_{\text{вых}}}{x_{0 \text{ вых}}}$. Осциллограммадағы екі көршілес B_1 және B_2 экстремумдарының арақашықтығы тербелістің T периодына тең болады, жиілігі $\Omega = \frac{2\pi}{T}$. B_1 және B_2 нүктелеріндегі тербеліс амплитудаларын (m_1 және m_2) өлшеп тауып, β - нің сан мәнін анықтаймыз. Сонда $\beta = \frac{1}{T} \ln \frac{m_1}{m_2}$.

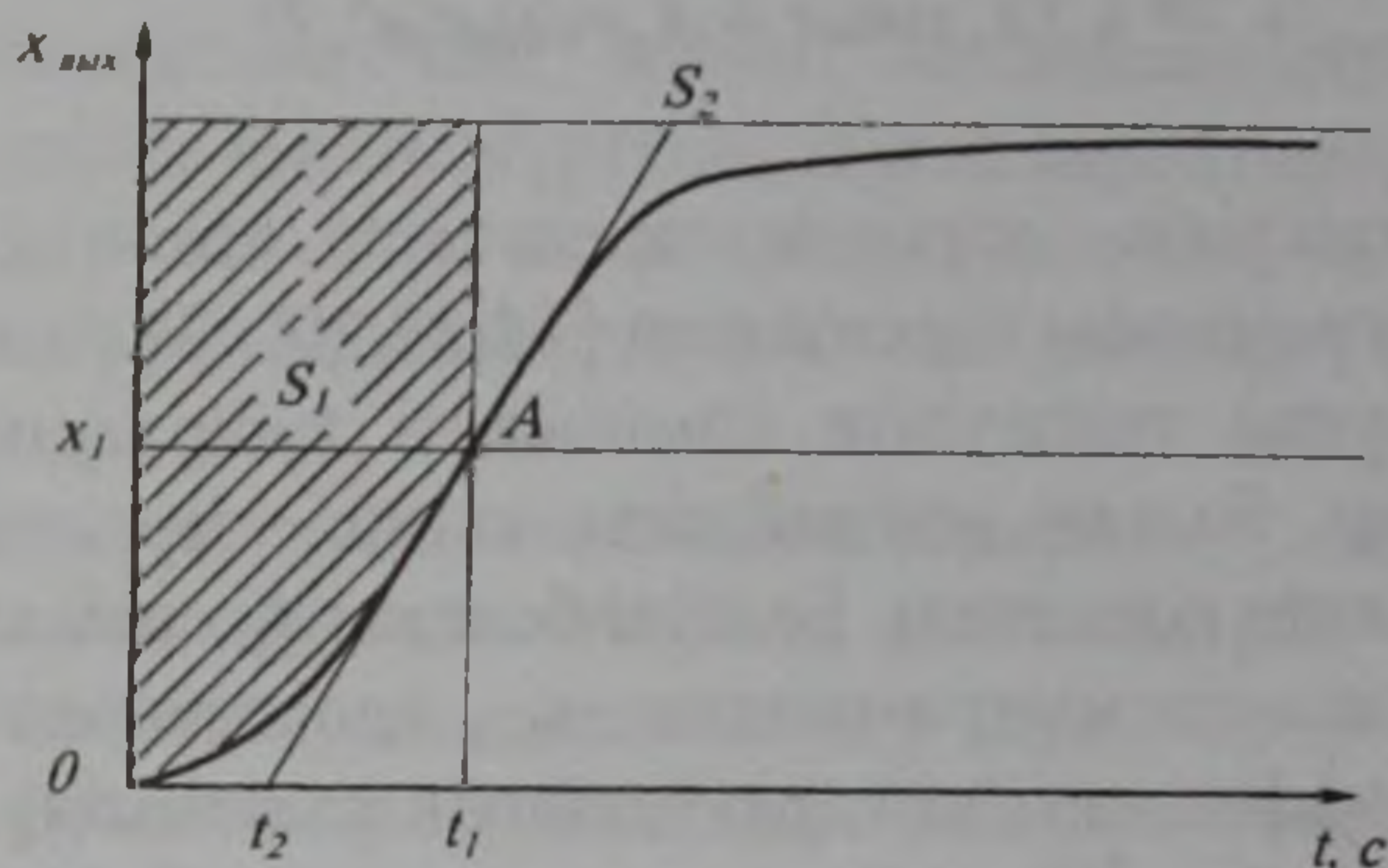


5.2 – сурет

δ, β, λ шамаларының сан мәндерін тауып алғаннан кейін (5.4) және (5.5) теңдеулерін бірлестіріп шешіп, T_p^2 және T_k коэффициенттерін оңай тауып алуға болады:

$$\left. \begin{aligned} T_k &= \frac{2\beta\delta}{\Omega^2 + \beta^2} \\ T_p^2 &= \frac{\delta}{\Omega^2 + \beta^2} \end{aligned} \right\} \quad (5.6)$$

Б. $\delta > 0$, $T_k^2 > 4\delta T_p^2$ болсын. Бұл жағдайда сипаттаушы теңдеудің түбірлері ақиқат теріс сандар болады. Осыған сәйкес болған өткірші процестің осциллограммасы 5.3-суретінде көрсетілген.



5.3 – сурет

Тепе-тендік жағдайдағы звеноға тұрақты сыртқы ауытқыту кенеттен бір мәртебе секіріп әсер еткен жағдайда звеноның теңдеуі төмендегідей болып шығады:

$$(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)x_{\text{вых}} = Kx_{\text{вх}}. \quad (5.7)$$

Белгілі болған $x_{\text{вх}}$ шамасының сан мәні бойынша және осциллограммадан $x_{0 \text{ вых}}$ қалыптасқан шамасын тауып алып, K коэффициентінің сан мәнін анықтасақ, онда $K = \frac{x_{0 \text{ вых}}}{x_{\text{вх}}}$.

Суреттен қисықсызқтың A бұрылу нүктесін анықтаймыз. Бұл нүктеде қисықсызққа жүргізілген жанамасының қисаю бұрышы, демек, бірінші туынды $\dot{x}_{\text{вых}} = \frac{x_1}{t_1 - t_2}$ максимал болады. Бұл жерде x_1 — бұрылу бұрышындағы $x_{\text{вых}}$ шамасының сан мәні, t_1 — бұрылу бұрышына сәйкес уақыт, t_2 — жанаманың t өсімен қиылысқан нүктесіне сәйкесті уақыт.

Қисықсызқтың бұрылу нүктесінде $p x_{\text{вых}}^2 = 0$ болғандықтан (5.7) теңдеуінен $T_2 \dot{x}_{\text{вых}} + x_1 = K x_{0 \text{ вх}}$ келіп шығады. Бұдан

$$T_2 = \frac{Kx_{0\text{вых}} - x_1}{\dot{x}_{\text{вых}}}$$

T_1^2 коэффициентінің сан мәнін анықтау үшін $x = x_{0\text{вых}}$, $t = t_1$ түзу сызықтарымен, ордината өсімен және қисықсызықпен шектелген фигураның ауданын табамыз (суретте штрихталған).

Автоматтық басқару теориясында [1,8,11,12] қисықсызық пен оның асимптотасының арасындағы фигураның ауданы $S = T_2 x_{0\text{вых}}$ болатыны дәлелденген.

$t = t_1$ түзу сызығымен, қисықсызықпен және асимптотамен шектелген фигураның ауданы $S_2 = T_1^2 \dot{x}_{m\text{вых}} + T_2(x_{0\text{вых}} - x_1)$.

Штрихталған фигураның ауданы $S_1 = S - S_2 = T_2 x_1 - T_1^2 \dot{x}_{m\text{вых}}$.
Бұдан $T_1^2 = \frac{T_2 x_1 - S_1}{\dot{x}_{m\text{вых}}}$.

Сөйтіп, біз (5.7) теңдеуінің барлық коэффициенттерін анықтап шықтық.

В. Сипаттаушы теңдеудің түбірлері ақиқатты, теріс және бірі біріне тең болсын. Бұл $\delta > 0$ және түбір астындағы өрнек нөлге тең болғанда орын алады. Сонда $T_k = 2T_p \sqrt{\delta}$.

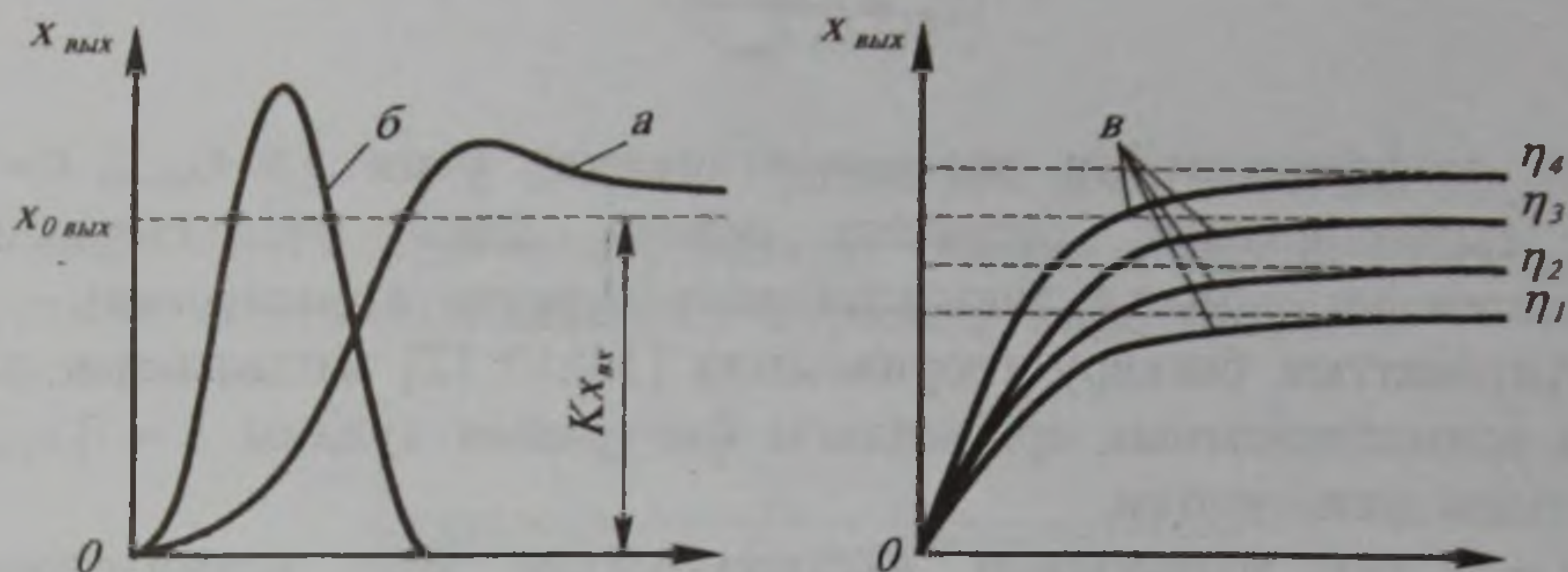
Сипаттаушы теңдеудің түбірлері ақиқатты, теріс және бірі біріне тең болған жағдайда өткінші процес периодикалық және тербелтуші процестердің аралығында болады. Теңдеудің шешімі

$x_{\text{вых}} = A_1 e^{\lambda t} (1 - A_2 t) + Kx_{\text{вх}}$ болады. Уақыт өткен сайын $x_{\text{вых}}$ шамасы өзінің мәні $Kx_{\text{вх}}$ -ға тең болған мәніне ұмтылады (5.4-сурет, а қисықсызығы).

Г. Сипаттаушы теңдеудің түбірінің біреуінің (немесе екеуінің де) ақиқат бөлігі оң сан болсын. Онда теңдеудің шешімдерінде $e^{\lambda t}$ мүшесі пайда болады. Мұндағы λ оң сан. Бұл жағдайда бұл мүше үздіксіз өсіп, қисықсызық тепе-теңдік қалыпынан алыстай береді (5.4-сурет, б қисықсызығы). Мысалы, мұндай жағдай $\delta > 0$ болғанда орын алады.

Д. Сипаттаушы теңдеудің бір түбірі нөлге тең болсын делік. Бұл жағдай $\delta = 0$ болғанда орын алады. Сонда теңдеу $(T_p^2 p^2 + T_k p)x_{\text{вых}} = x_{\text{вх}}$ түрінде болады.

Тепе-теңдік жағдайда $x_{\text{вых}}$ кез келген мәніне тең бола алады.



5.4-сурет

Егер $x_{вх} = 0$ болған жағдайдың өзінде, $x_{вых}$ шамасы белгісіз себептен өзгеріп кетсе, онда соңынан оның $\dot{x}_{вых}$ бірінші туындысы апериодикалық тербеліп өшеді де, шығыстағы шаманың мәні белгісіз болып қалады (5.4-сурет, в). Сондықтан, сипаттаушы теңдеудің бір түбірі нөлге тең болған жағдайда жүйенің тепе-теңдік калыпы талғаусыз болады, ал, жүйенің өзі нейтральды немесе нейтральды-орнықты деп аталады.

6 АВТОМАТТЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ

Жасалып шығарылатын, немесе жасалып шығарылған автоматтық жүйесінің сапасы зерттелінеді, оның ішінде ең алдымен оның орнықтылығы қамтамасыз етілген болуы керек.

Автоматтық жүйе өзінің бастапқы тепе-теңдік жағдайынан шығарылып қоя берілгеннен кейін өзінің бұрынғы немесе жаңа тепе-теңдік калыпына келсе, орнықты, келмесе орнықсыз жүйе деп аталады. Жүйенің орнықтылығын зерттеу оның сипаттаушы теңдеуінің түбірлерінің ақиқат бөліктерінің таңбаларын анықтауға келіп тіреледі.

Жүйенің орнықтылығын зерттеудің қазіргі кездегі жасалып шығарылған әдістері орнықтылық критерийлерін (шарттарын) анықтауға негізделген. Осы критерийлер алгебралық және жиілік топтарына жатқызылады. Бірінші топқа Вышнеградскийдің, Раус-Гурвицтің критерийлері, екінші топқа амплитудалық-фазалық, Михайловтың және т.б. критерийлер жатады.

6.1 Автоматтық жүйенің орнықтылығының Раус-Гурвиц критерийі

Раус-Гурвицтің критерийін қарастырайық [1,4,11]. Бұл критерий бойынша, егер автоматтық жүйенің сипаттаушы теңдеуі n дәрежелі теңдеу, яғни $a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n = 0$ түрінде болса, онда $a_0 > 0$ болғанда теңдеудің коэффициенттерінен құрылған диагональдық детерминанттарының бәрі нөлден үлкен, яғни

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix} > 0$$

болған жағдайда жүйе орнықты болады.

Мысал ретінде үшінші дәрежелі $a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$ теңдеуін қарастырайық. $a_0 > 0$ болсын деп алып, төмендегі кестені құрамыз:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_2 \end{vmatrix} > 0.$$

Жүйе орнықты болуы үшін мұның диагональдық детерминанттары, яғни $a_1 > 0$, $\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$,

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_2 \end{vmatrix} = a_2 \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_2 (a_1 a_2 - a_0 a_3) > 0$$

болуы керек.

Орнықтылық шекарасын $(n-1)$ -ші детерминантты нөлге теңестіріп, анықтайды. Сонда үшінші дәрежелі теңдеудің орнықтылық шекарасы төмендегі шарттан анықталады:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 0.$$

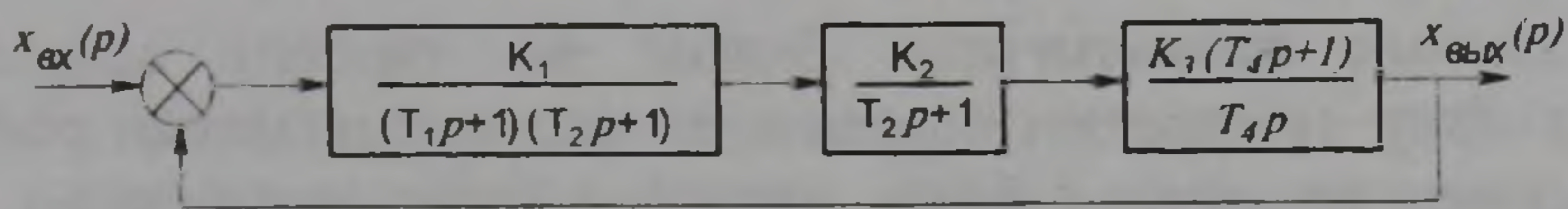
Төртінші дәрежелі $a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0$ теңдеуінің орнықтылық шартын құрастырайық. $a_0 > 0$ болсын деп алып, төмендегі кестені құрамыз:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} > 0.$$

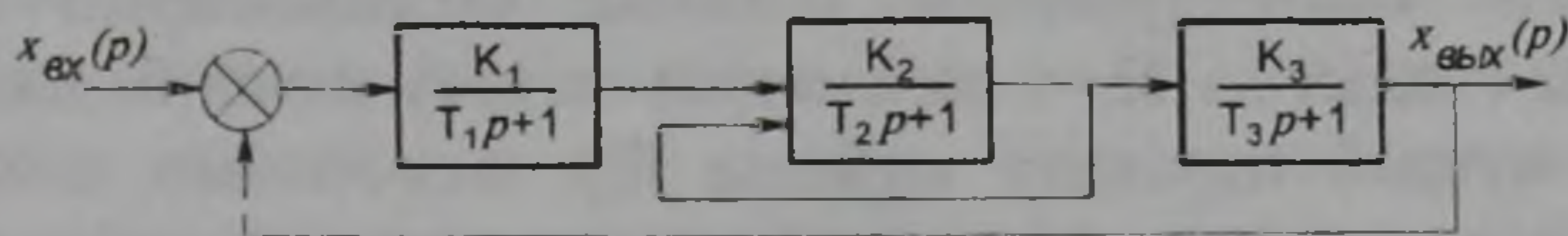
Жүйе орнықты болуы үшін мұның диагональдық детерминанттары $a_1 > 0$, $\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$,

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_1 a_2 a_3 - a_1^2 a_4 - a_0 a_3^2 > 0, \quad a_4 > 0 \text{ болуы керек.}$$

Тапсырма. 1. Төмендегі структуралық схемалары көрсетілген автоматты жүйелердің (6.1 және 6.2-суреттер) сипаттаушы теңдеулерін жазып шығарып, орнықтылығын зерттеңіздер.



6.1– сурет: $T_1 = 3$ мин, $T_2 = 0,5$ мин, $T_3 = 1,5$ мин, $K_1 = 2$, $K_2 = 3$, $K_3 = 4$.



6.2–сурет: $T_1 = 0,5$ мин, $T_2 = 0,7$ мин, $T_3 = 1,0$ мин, $K_1 = 10$, $K_2 = 100$, $K_3 = 150$.

2. Автоматтық жүйенің дифференциалдық тендеуі

$$[(T_0p + 1)(T_1p + 1)(T_2p + 1) + K_0K_p]x = (T_1p + 1)(T_2p + 1)f(t),$$

параметрлері $T_0 = 0,02c$, $T_1 = 0,01c$, $T_2 = 0,05c$, $K_0 = 20$, $K_p = 0,2$.

Автоматтық жүйенің орнықтылығын анықтаңыз.

3. Төртінші дәрежелі автоматтық жүйенің сипаттаушы тендеуі

$a_0p^4 + a_1p^3 + a_2p^2 + a_3p + a_4 = 0$, тендеудің коэффициенттері

$a_0 = 2 \cdot 10^{-9}$, $a_1 = 2 \cdot 10^{-5}$, $a_2 = 3 \cdot 10^{-3}$, $a_3 = 1,3 \cdot 10^{-3}$; $a_4 = 100$.

Автоматтық жүйенің орнықтылығын анықтаңыз.

6.2 Автоматтық жүйенің орнықтылығын D-бөлу әдісімен зерттеу

Қарастырылып отырған әдіс автоматтық жүйенің өзгертілетін параметрінің оның орнықтылығына тигізетін жалпы әсерін және кейбір сапалық көрсеткіштерін анықтауға мүмкіндік береді.

Автоматтық жүйенің орнықтылық жағдайын қамтамасыз ететін өзгертілетін параметрдің барлық сан мәнін анықтау үшін оның

$$a_0p^n + a_1p^{n-1} + \dots + a_{n-1}p + a_n = 0 \quad (6.1)$$

сипаттаушы тендеуін қарастырайық. Бұл тендеудің түбірлері, жүйенің параметрлерінен тәуелді болатын, a_0, a_1, \dots, a_n коэффициенттері арқылы анықталады. Жүйенің параметрлері анық болған жағдайда (6.1) тендеуінің түбірлері комплексті

айнымалының жазықтығында белгілі бір тәртіпте орналасқан болады. Егер түбірлердің барлығы да осы жазықтықтың сол жақ жартысында орналасқан болса, онда бұл жүйе орнықты, ал, егер олардың, ең болмағанда, біреуі оң жақ жартыжазықтықта орналасқан болса, онда жүйе орнықсыз болады [1,4,8,12,23].

Жүйенің параметрлерінің оптимал болатындарын анықтау барысында қандай да бір r параметрін өзгерту керек болсын делік. Мысалы, мұндай параметр жүйенің бір звеносының, немесе бір учаскесінің күшейту коэффициенті, немесе уақыт тұрақтысы болуы мүмкін.

(6.1) түріндегі n дәрежелі полиномы тек қана коэффициенттерімен ғана ерекшелінетін болғандықтан, τ параметрінің әртүрлі сан мәніне әртүрлі полином сәйкес келетін болады және олардың түбірлері де комплексті айнымалы шамасының жазықтығында әртүрлі орналасқан болады. Кейде олардың кейбір түбірлері жорамал өсінде де орналасуы мүмкін.

Сипаттаушы тендеудің ең болмағанда бір түбірі жазықтықтың жорамал өсінде орналасуына сәйкес болатын τ параметрінің сан мәндерін шекаралық мәндері деп атаймыз. Осы шекаралық мәндерді анықтайық. Ол үшін (6.1) тендеуін

$$P(p) + rQ(p) = 0 \quad (6.2)$$

түріне келтіреміз.

τ параметрінің тендеудің түбірінің жорамал өсте орналасатын сан мәнін табу үшін осы түбірді $p = i\omega$ деп белгілейміз де, (6.2) тендеуіндегі p -нің орнына қоямыз. Сонда

$$P(i\omega) + rQ(i\omega) = 0 \quad (6.3)$$

Бұдан

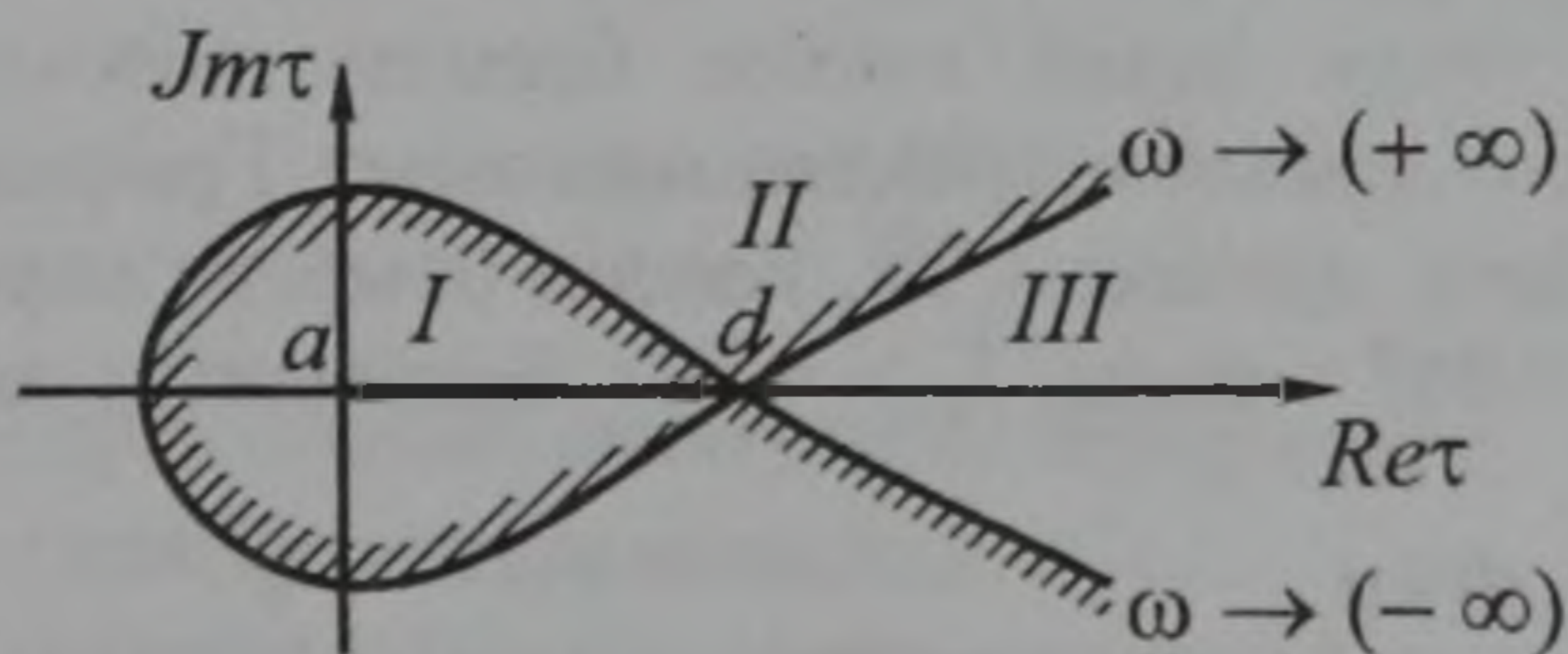
$$\tau = \frac{P(i\omega)}{Q(i\omega)} \quad (6.4)$$

(6.4) өрнегіндегі ақиқат және жорамал мүшелерін бөліп жазсақ, онда

$$\tau = C(\omega) + iB(i\omega) \quad (6.5)$$

түріне келеді. Мұндағы $C(\omega)$ және $B(\omega)$ – полиномдар.

(6.5) тендеуіндегі ω шамасының сан мәндерін $-\infty$ -ден $+\infty$ -ге дейін өзгертіп отырып, тендеу түбірлерінің жорамал өсте орналасуына сәйкес келетін τ параметрінің барлық сан мәндерін тауып алуға болады. (6.5) тендеуіндегі C (немесе $Re\tau$) және iB (немесе $Im\tau$) мәндерін координаталар өстері ретінде алсақ, онда $C - iB$ координаталар жүйесі пайда болады (6.3-сурет). Бұл жүйені параметрлер жазықтығы деп атайды. Енді ω шамасына нөлден шексізге дейін сан мәндерін беріп, (6.5) формуласына қойып, τ -дің мәндерін тауып алып, табылған нүктелер арқылы қисықсызық салсақ, онда ол τ параметрінің барлық шекаралық мәндерін анықтайтын сызық келіп шығады. Екіншіден, бұл қисықсызық τ жазықтығындағы жорамал өсінің бейнесі болып табылады. Бұл қисықсызық τ параметрі бойынша *D-бөлу шекарасы* деп аталады. Аймақтың осы шекарамен бөлінген бөлігінің ішкі жағында, яғни жорамал өстің сол жағында, барлық полиномдардың түбірлерінің саны бірдей болады. Егер осы қисықсызық бойымен $-\infty$ -ден $+\infty$ -ге қарай қозғалып, сол жағын штрихтап отырсақ, онда жүйенің орнықтылық аймағы қисықсызықтың сол жағында, яғни штрихталған жағында қалып отырады.



6.3-сурет

Автоматтық жүйенің параметрлерінің мәні ақиқат сан болатындықтан, графиктің орнықтылық аймағындағы τ -дің $Re\tau$ өсіндегі ақиқат мәндерін ғана алу керек. 6.3-суретінде осындай мәндер ad кесіндісінде жатады.

Мысал. Тендеуі $[(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + k]x = 0$ және параметрлері $T_2 = 0,5 \text{ с}, T_3 = 0,05 \text{ с}, k = 25$ болған тұйықталған автоматтық жүйенің T_1 параметрі бойынша орнықтылық аймағын бөліп, анықтау керек.

$T_1 T_2 T_3 p^3 + (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) p^2 + (T_1 + T_2 + T_3) p + 1 + k = 0$
 түрінде сипаттаушы теңдеуді тауып аламыз. Бұл теңдеуді T_1
 параметріне қатысты шешсек, онда

$$T_1 = \frac{T_2 T_3 p^2 + (T_2 + T_3) p + 1 + k}{T_2 T_3 p^2 + (T_2 + T_3) p + 1}$$

$p = i\omega$ деп қойып, өрнекті ақиқат және жорамал бөліктеріне
 айырып жазамыз

$$T_1 = A(\omega) + iB(\omega).$$

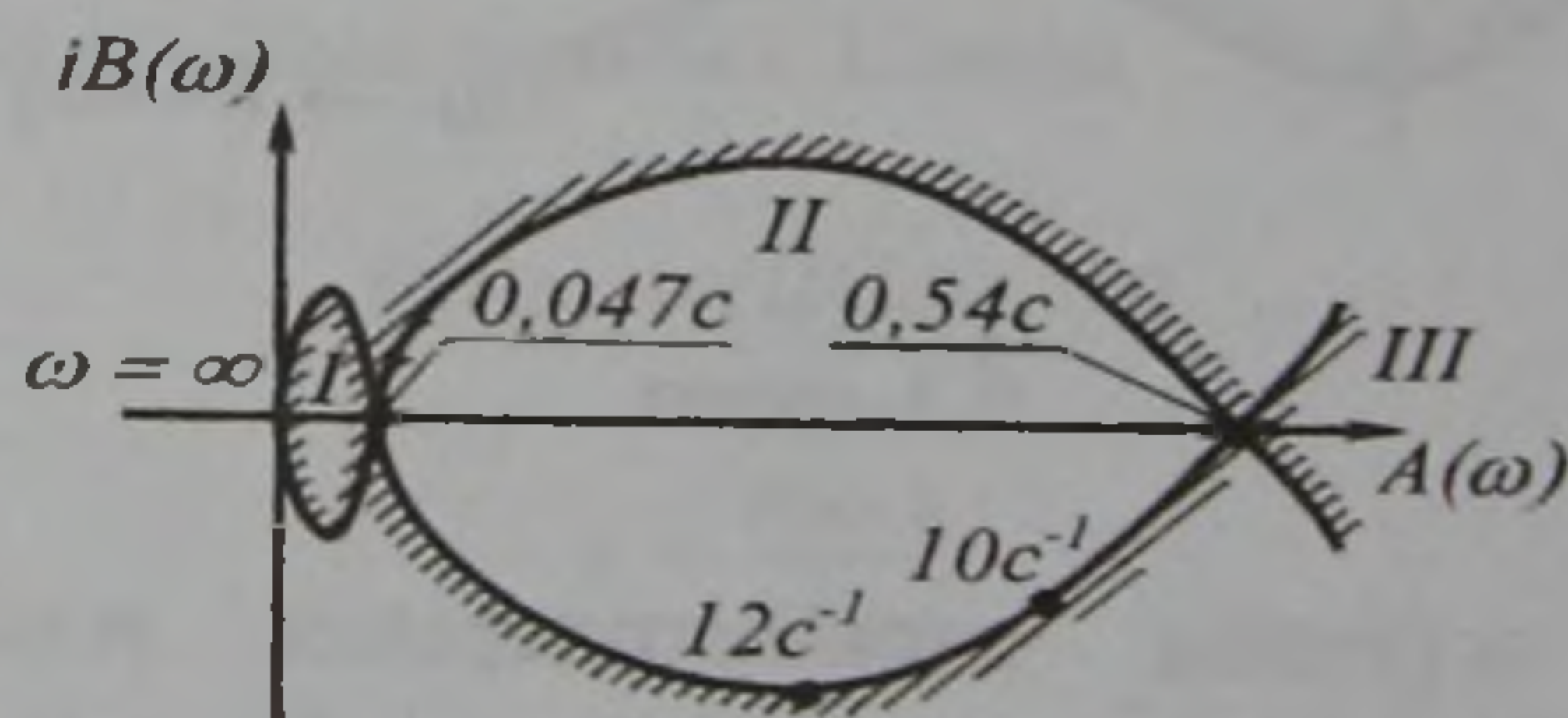
Мұндағы

$$A(\omega) = \frac{k(T_2 + T_3)}{T_2^2 T_3^2 \omega^4 + (T_2^2 + T_3^2) \omega^2 + 1}, \quad B(\omega) = \frac{T_2^2 T_3^2 \omega^5 + (T_2^2 + T_3^2 - k T_2 T_3) \omega + 1 + k}{\omega [T_2^2 T_3^2 \omega^4 + (T_2^2 + T_3^2) \omega^2 + 1]}.$$

Параметрлердің сан мәндерін қойсақ, онда

$$A(\omega) = \frac{22000}{\omega^4 + 404\omega^2 + 1600}, \quad B(\omega) = \frac{\omega^5 - 596\omega^2 + 4100}{\omega(\omega^4 + 404\omega^2 + 1600)}.$$

ω шамасының орнына $-\infty$ -ден $+\infty$ -ге дейінгі сан мәндерін
 қойып, қисықсызығын салып (6.4-сурет), қисықсызық бойымен
 $\omega = -\infty$ -ден $\omega = +\infty$ -ге қарай сәйкес бағытта қозғалып отырып,
 қисықсызықтың сол жағын штрихтап шығамыз. Графиктен жүйенің
 I және III аймақтары орнықты, ал, ізделіп отырған параметрдің сан
 мәндері $0 < T_1 < 0,047$ с және $T_1 > 0,54$ с болатынын анықтаймыз.



6.4-сурет

Тапсырма. Теңдеуі $[(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + k]x = 0$ және
 параметрлері $T_1 = 0,5$ с, $T_2 = 0,1$ с, $T_3 = 1$ с болған тұйықталған
 автоматтық жүйенің k параметрі бойынша орнықтылық аймағын
 бөліп анықтау керек.

7 ТАРТУШЫ МАШИНАЛАРДЫҢ ТАРТУ КҮШІНІҢ ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАЙТЫН АВТОМАТТЫҚ ҚҰРАЛ

Көліктік техника саласының, соның ішінде трактор жасау саласының, тез өркендеп өсуі оны сынау жұмыстарының көлемінің ұлғаюна әкеп соғады. Мұның өзі жетілген сынау аспаптарының жаңа түрлерін жасап шығаруды және сынау жұмыстарын автоматтандыруды талап етеді.

Тартушы машиналардың ішінде көп таралғандарының бірі трактор болып табылады. Тракторлардың эксплуатациялық сапаларының негізгі көрсеткіштерінің бірі тарту күшінің пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) болып табылады. Ұсынылып отырған жұмыстың негізгі мақсаты тракторлардың ПӘК үздіксіз анықтайтын аспаптың құрылысы мен жұмыс істеу принципімен танысу болып табылады.

Трактордың пайдалы әсер коэффициенті деп оның ілмегіндегі $P_{кр}$ қуатының қозғауыштың P_e эффектив қуатына қатынасын айтады [14,15,16,17,18,19,20,27]:

$$\eta_{\tau} = \frac{P_{кр}}{P_e}; \quad (7.1)$$

немесе

$$\eta_{\tau} = c \frac{F_{кр} v}{M_{\partial} \omega_{\partial}}. \quad (7.2)$$

Мұндағы $F_{кр}$ – трактордың ілмегіндегі тарту күші;

M_{∂} – қозғауыштың моменті;

v – трактор қозғалысының жылдамдығы;

ω_{∂} – қозғауыш білігі айналысының жылдамдығы;

c – формуладағы шамалардың өлшем бірліктеріне байланысты болған тұрақты коэффициент.

Трактордың ПӘК табу үшін төрт шаманың бір мезеттегі сан мәндерін білу керек болады.

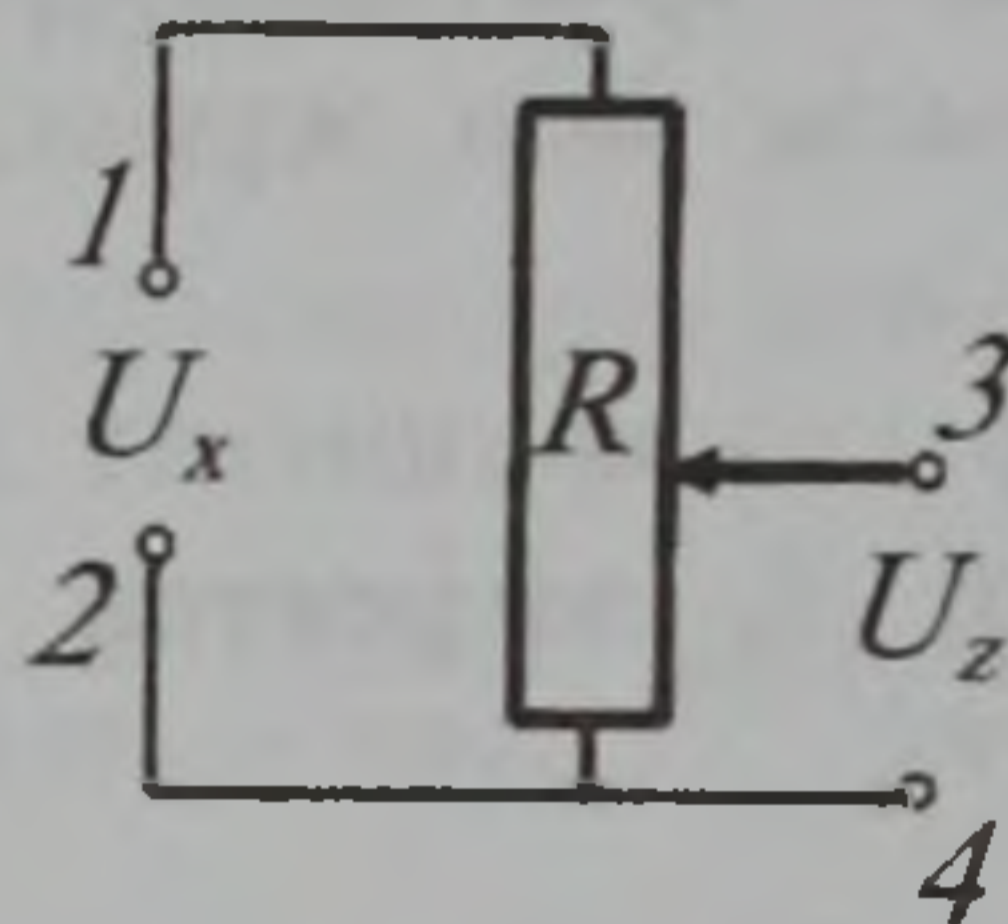
Аталған әрбір қуаттың шамасы трактордың жұмыс процесі кезінде үздіксіз өзгеріп отыратын екі шаманың көбейтіндісіне тең болады, яғни

$$\left. \begin{aligned} P_{kp} &= c_1 F_{kp} v, \\ P_e &= c_2 M_{\partial} \omega_{\partial} \end{aligned} \right\} \quad (7.3)$$

Өзінің шығысында трактордың ПӘК-ін шығарып беріп отыратын аспап (7.3) формулаларына кіретін шамаларды үздіксіз өлшеп, бірін біріне көбейтіп және содан кейін P_{kp}/P_e қатынасының сан мәнін тауып, сызып шығарып беріп отыруы керек.

Аспап үш бөліктен тұрады. Оның екеуі P_{kp} және P_e қуаттарын анықтайтын көбейтуші блоктар да, үшіншісі түзу сызықты потенциометрлі қадағалаушы бөлуші блок.

Көбейтуші блоктардың жұмыс принципі потенциометрлерді қолдануға негізделген. Көбейтуші блоктың электр схемасы 7.1-суретінде көрсетілген.



7.1-сурет

Егер потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі x көбейткішіне, ал потенциометрдің 2-3 учаскесіндегі кедергісі z көбейткішіне пропорционал болса, онда осы учаскеден шығатын U_z кернеуі xz көбейтіндісіне пропорционал болады. Шынында да, R арқылы потенциометрдің толық кедергісін, ал R_z арқылы оның шығуындағы учаскесінің кедергісін белгілесек, онда потенциометр арқылы өтетін ток күші $I = U_x/R$ болғандықтан

$$U_z = IR_z = \frac{U_x}{R} R_z. \quad (7.4)$$

Егер 1-2 клеммаларындағы кернеу $U_x = px$, потенциометр учаскесінің кедергісі $R_z = qz$ (p және q – пропорционалдық коэффициенттер) деп алсақ, онда (7.4) формуласынан

$$U_z = \frac{pq}{R} xz = kxz \quad (7.5)$$

келіп шығады. Мұндағы $k = \frac{pq}{R}$ – берілген схема үшін тұрақты шама, x және z – айнымалы шамалар.

Демек, U_x шамасын қозғауыш білігінің ω_∂ бұрыштық жылдамдығына, немесе трактор қозғалысының v жылдамдығына, ал, R шамасын M_∂ қозғауыш моментіне, немесе трактордың ілмектегі F_{kp} тарту күшіне пропорционал беріп отырсақ, онда U_z кернеуі қозғауыштың P_∂ , немесе трактор ілмегіндегі P_{kp} қуатына пропорционал болып шығып отырады. Бұл екі жағдайда да көбейткіштердің бірі электрлік, екіншісі механикалық шама түрінде беріліп отырады.

7.1 Қозғауыштың қуатын анықтайтын құрылым

Тартушы машинаның ПӘК-ін тәжірибе кезінде анықтайтын автоматты жүйенің схемасы 7.2-ші суретте көрсетілген. Автоматтық жүйенің есептеуші құрылымы қозғауыштың M_∂ моментін былайша анықтайды. ДТ-75 тракторының кардан білігінің орнына серпімді элемент – 11 торсионы орнатылады. Оның оң жақ шетіне 3 потенциометрінің корпусы қатты жабыстырылып орналастырылады, ал, сол жақ шетімен 2 тұрбасы мен жетек арқылы потенциометрдің тиегі байланыстырылады. Торсион мен тұрба бірі бірімен қатаң жалғанған. Торсионға қозғауыштың M_∂ моменті әсер еткен кезде, оның оң жақ шеті сол жағындағысына қарағанда қандай да бір φ бұрышына бұрылады. Бұрыштың шамасы M_∂ моментіне тура пропорционал болады және төмендегіше анықталады [8,12,17,19]:

$$\varphi = \frac{M_\partial L}{GI_p} = m M_\partial. \quad (7.6)$$

Мұндағы: m – тұрақты коэффициент;

L – торсионның жұмыстық ұзындығы;

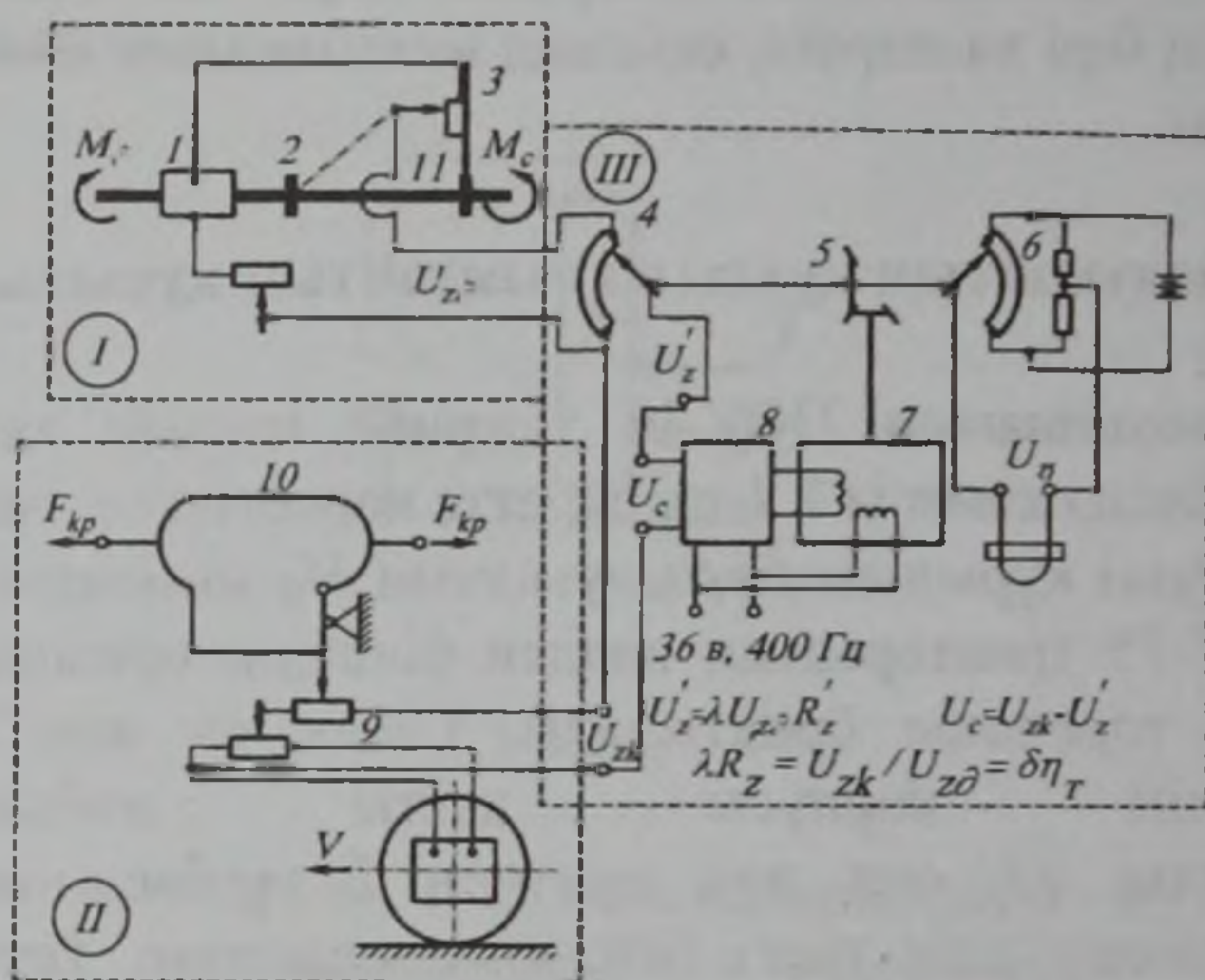
G – серпімділік модулі;

I_p – инерция моменті.

Потенциометрдің тиегі де осындай бұрышқа бұрылып, потенциометрдің кедергісін M_∂ моментіне тура пропорционал

болған R_z шамасына өзгертеді. Сөйтіп, бұл жағдайда қозғауыштың моменті потенциометр тиегінің ысырылуы, яғни механикалық түрде анықталып беріліп отыр.

I тахогенераторының білігі беріліс қорабының және қуат алу біліктері арқылы торсионмен байланыстырылған. Демек, тахогенератордың өндіріп шығаратын U_x кернеуі қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығына тура пропорционал болып шығады. Бұл кернеу потенциометрге беріледі. Сонда потенциометрдің шығуынан алынатын U_z кернеуі $M_\partial \omega_\partial$ көбейтіндісіне, яғни P_∂ қозғауыш қуатына пропорционал болып шығады.



7.2-сурет

7.2 Трактордың ілмек қуатын анықтайтын құрылым

(7.3) формуласы бойынша трактордың ілмегіндегі қуатын анықтау үшін оның ілмегіндегі тарту күшін және ақиқат жылдамдығын білу керек.

Трактор ілмегіндегі тарту күшін анықтау үшін потенциометрмен жабдыкталған серпімді динамометр қолданылады. Потенциометрдің корпусы мен 9 тиегі әрқайсысы динамометрдің овал тәрізді 10 серіппесінің екі жақ шетімен байланыстырылған. Динамометрге жүк күші әсер еткенде серіппе деформацияланады да потенциометрдің тиегі жылжиды. Сөйтіп, жоғарыда баяндалған қозғауыштың моментіне ұқсас, ілмектегі жүк

күші потенциометр тиегінің ысырылуы, яғни механикалық түрде анықталып беріліп отыр.

Трактор қозғалысының жылдамдығы оған тіркелетін арнайы доңғалақ («бесінші доңғалақ») жәрдемімен өлшенеді. Арнайы доңғалақ сол жақтағы жетекші доңғалақтың (шынжыр табанның) ізімен сүйретіліп қозғалып отырады. Доңғалақтың өсіне жалғанған редуктордың шығуындағы білігімен тахогенератордың білігі жалғастырылған. Тахогенератордың өндіріп шығаратын кернеуі трактордың ақиқат жылдамдығына тура пропорционал болып шығады. Бұл кернеу потенциометрге беріледі. Потенциометрдің шығуынан алынатын кернеуі $F_{kp}v$ көбейтіндісіне, яғни P_{kp} ілмек қуатына пропорционал болып шығады. Жоғарыдағы айтылған екі өлшеуші блоктан шыққан P_{kp} және P_e қуаттарына пропорционал болған кернеулер бөлуші құрылымға беріледі.

7.3 Бөлуші құрылым

Бөлу процесі түзусызықты 4 потенциометрі және қадағалаушы жүйенің жәрдемімен автоматтық түрде орындалады (7.2–сурет).

Бөлінетін P_{kp} , бөлгіш P_e қуаттары U_{zk} және $U_{z\partial}$ кернеулері түрінде моделдендіріледі. 4 потенциометрінен U'_z кернеуі шығады. Бұл кернеу оның осы учаскесінің R_z кедергісі мен модельдеуші $U_{z\partial}$ кернеуінің көбейтіндісіне пропорционал болады. U_{zk} модельдеуші кернеуі мен шығатын U'_z кернеуі тең болса, онда R'_z кедергісі трактордың ПӘК-не пропорционал болып шығады, яғни $U_{zk} - U_{z\partial}R'_z = 0$, $\frac{U_{zk}}{U_{z\partial}} = \lambda R'_z = \delta \eta_T$. Мұндағы λ және δ – пропорционалдық коэффициенттері.

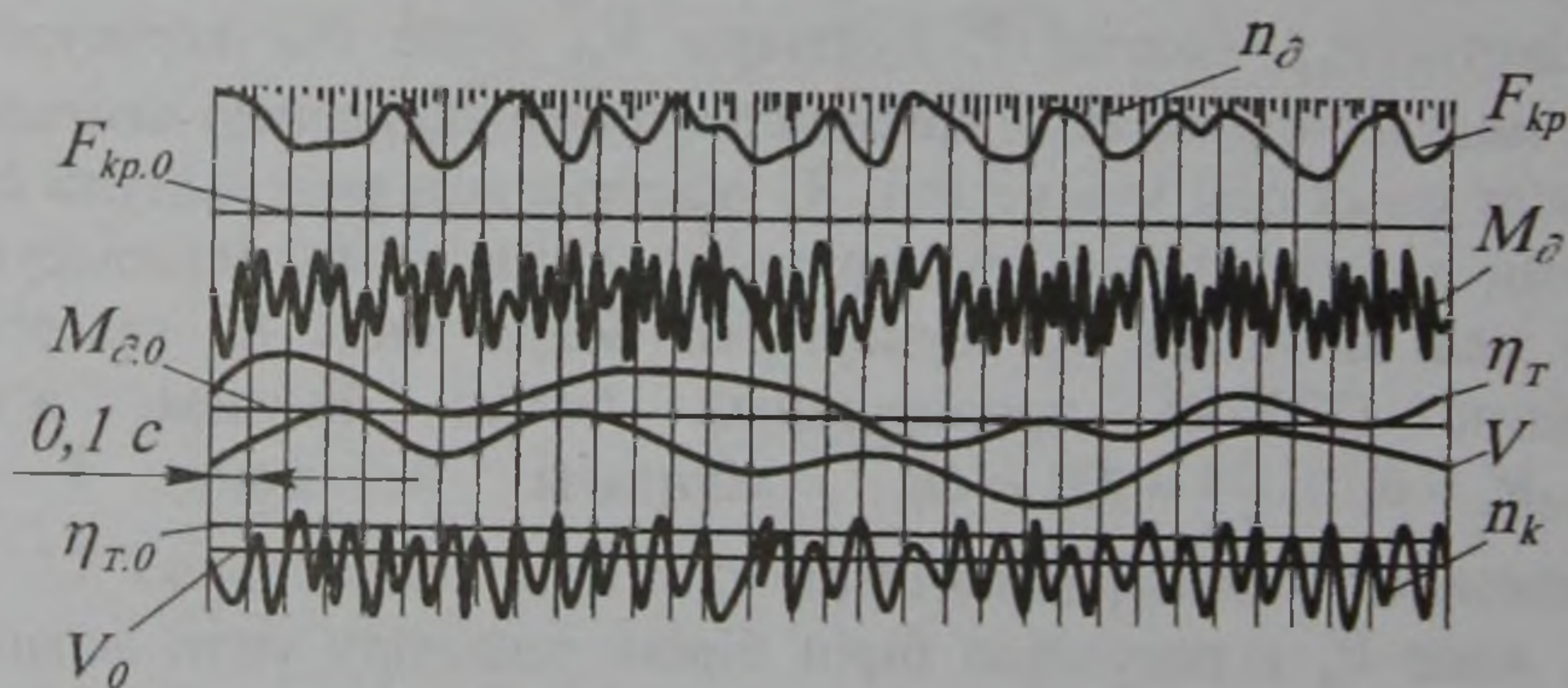
U_{zk} және U'_z кернеулерін бірін біріне теңестіру үшін аспапта қадағалаушы жүйе қарастырылған. Қадағалаушы жүйенің жұмыс істеу принципі төмендегіше. Кернеулер айырмасына тең болатын $U_c = U_{zk} - U'_z$ кернеуі 8 күшейткішіне келіп түседі де, күшейтілгеннен кейін 7 азинерциялы қозғауышының орамына беріледі. Осыдан кейін қозғауыш білігінің айналысы 5 редукторы арқылы 4 потенциометрінің тиегін кернеулер айырмасы нөлге теңдескенге дейін ысырады. Сөйтіп қадағалаушы жүйе U_c кернеуі әсері нәтижесінде 4 потенциометрі тиегін үздіксіз $U_c = U_{zk} - U'_z = 0$ болатын жағдайына ысырып отырады. Сонда R'_z кедергісі ылғи

$\frac{U_{zk}}{U_{z\theta}}$ модельдеуші кернеулер қатынасына, яғни трактордың тартушы ПӘК-не пропорционал болып отырады.

4 потенциометрін қосалқы жүктемеу үшін 6 потенциометрі жәрдемімен R'_z кедергісі дублер ретінде қайталанып отырады да, одан шығатын трактордың ПӘК-не пропорционал кернеуі осциллографтың гальвонометріне беріліп отырады.

Бөлуші құрылымды қоректендіруші энергия көзі ретінде 24-вольтті аккумулятор пайдалынылады. Ток өзгертуші жәрдемімен жиілігі секундiне 400 период, кернеуі 36 вольт болған айнымалы токқа өзгертіліп, 7 қозғауыштың қоздырушы орамына және күшейткіштің күштік трансформаторының бірінші орамына беріледі.

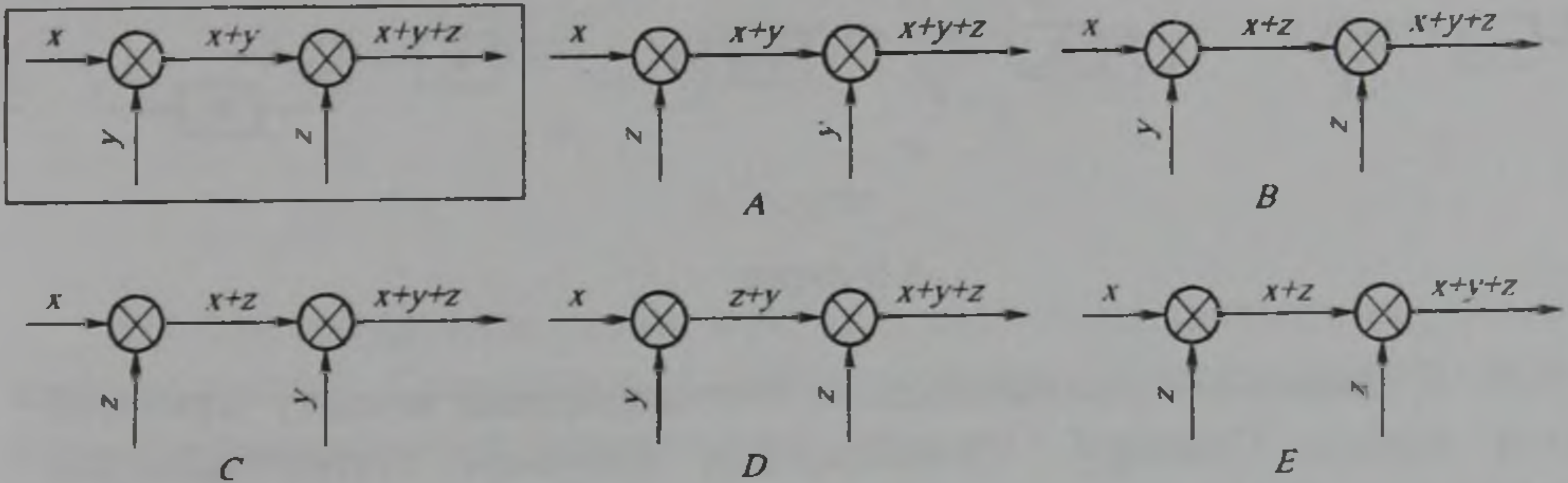
7.3-суретінде мысал ретінде трактор агрегатын егіс даласында сынау кезінде жазылып алынған осциллограммалардың бір бөлігі көрсетілген. Мұнда қозғауыш білігінің айналыс жиілігі n_a , «бесінші доңғалақтың» айналыс жиілігі n_k және F_{kp} , M_a , η_T шамаларының нөлдік сан мәндері $F_{kp.0}$, $M_{a.0}$, $\eta_{T.0}$ әріптері арқылы белгіленген.



7.3-сурет

8 МЕЖЕЛІК БАҚЫЛАУ ҮШІН ТЕСТІЛІК СҰРАҚТАР

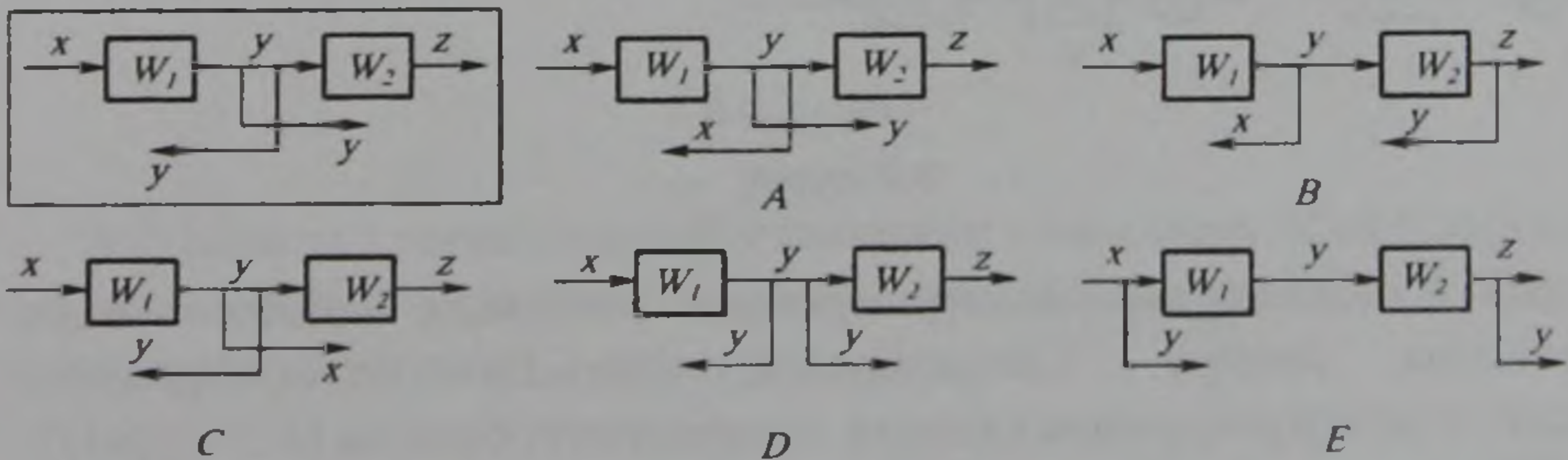
&1. Сигналдардың қосылу нүктесін ауыстыру. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.1-сурет)?



8.1-сурет

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&2. Сигналды алу нүктесін ауыстыру. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.2-сурет)?

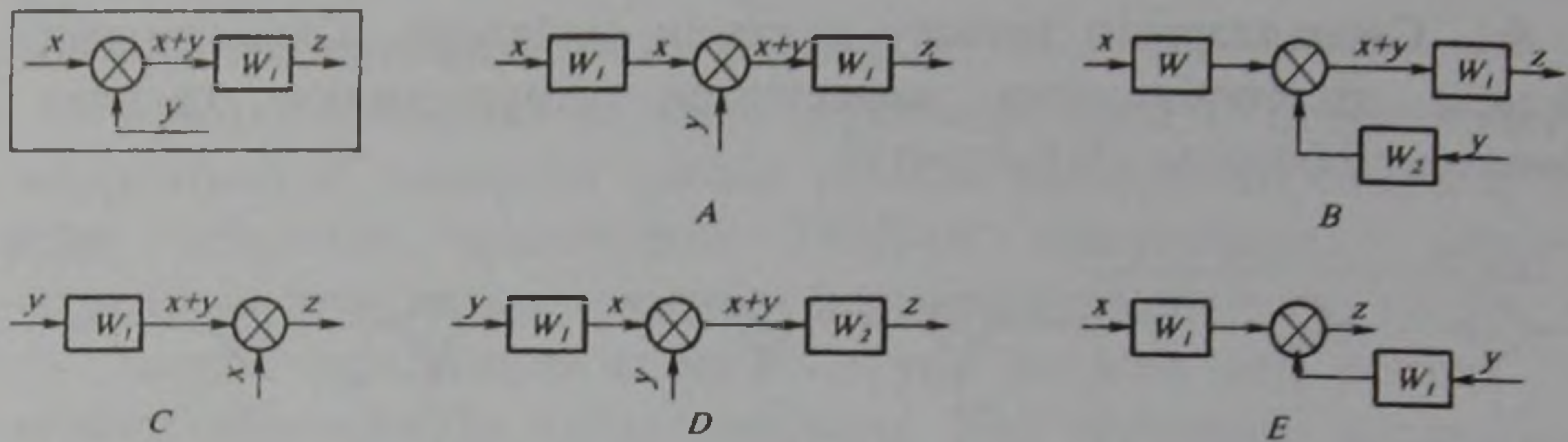


8.2-сурет

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&3. Звеноның кірісіндегі сигналдардың қосылу нүктесін оның шығысына көшіру. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.3-сурет)?

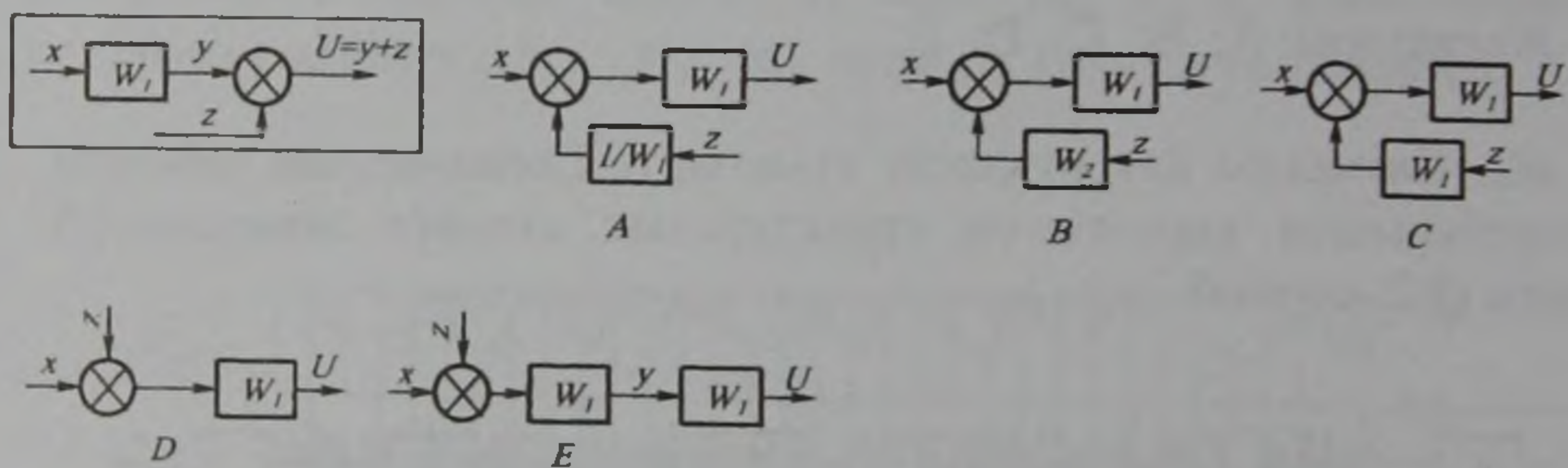
Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.3-сурет

& 4. Звеноның шығысындағы сигналдардың қосылу нүктесін оның кірісіне көшіру. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.4-сурет)?

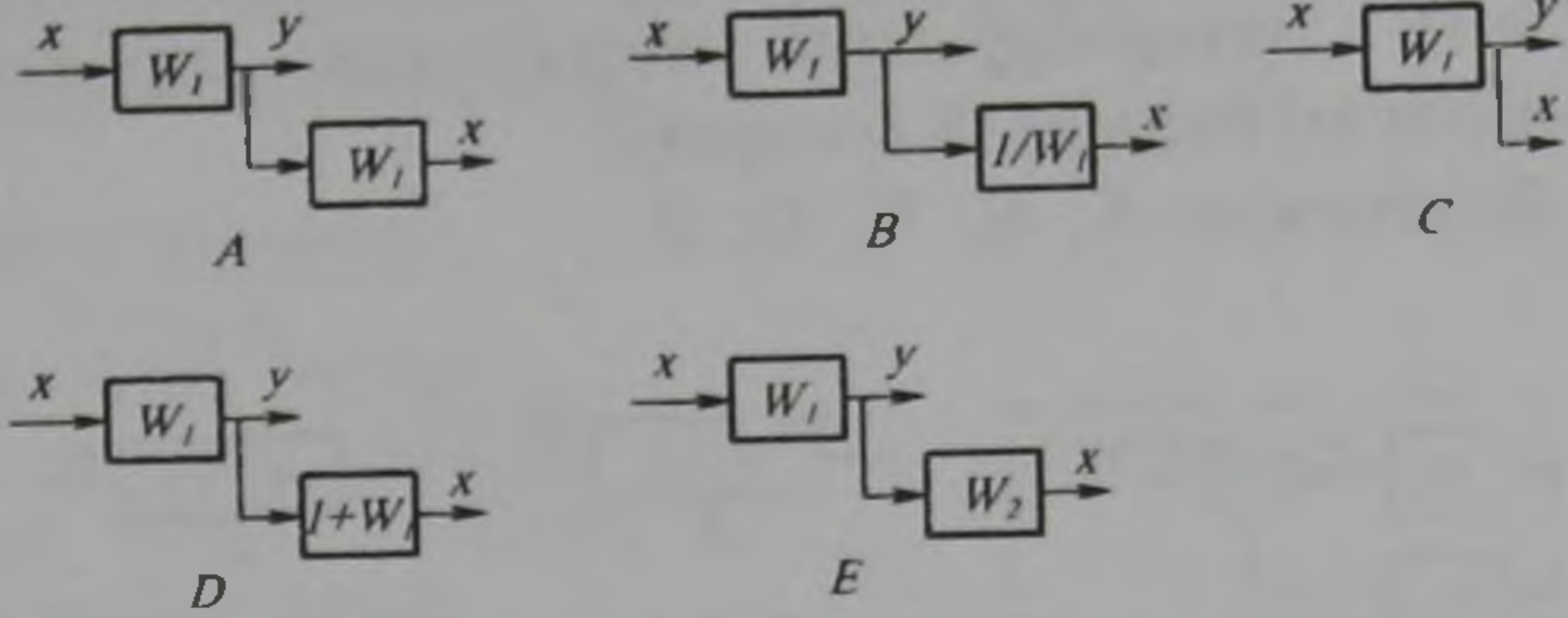
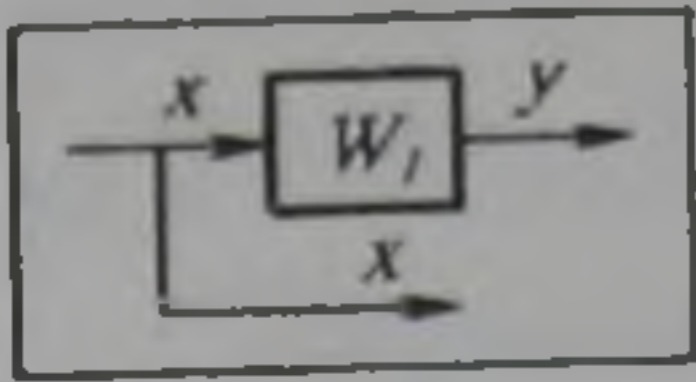
Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.4-сурет

&5. Сигналдардың алыну нүктесін звеноның кірісінен оның шығысына көшіру. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.5-сурет)?

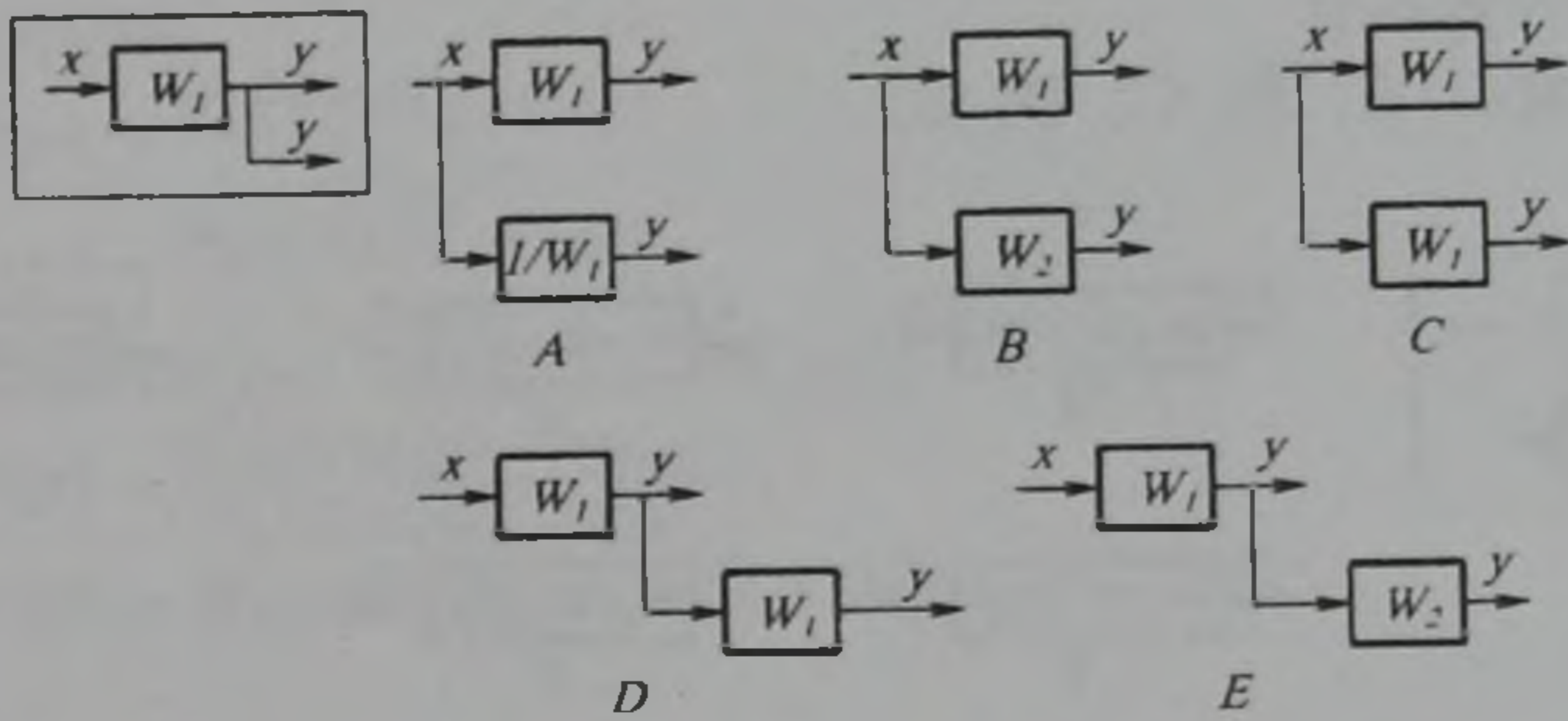
Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.5-сурет

&6. Сигналдардың алыну нүктесін звеноның шығысынан оның кірісіне көшіру. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.6-сурет)?

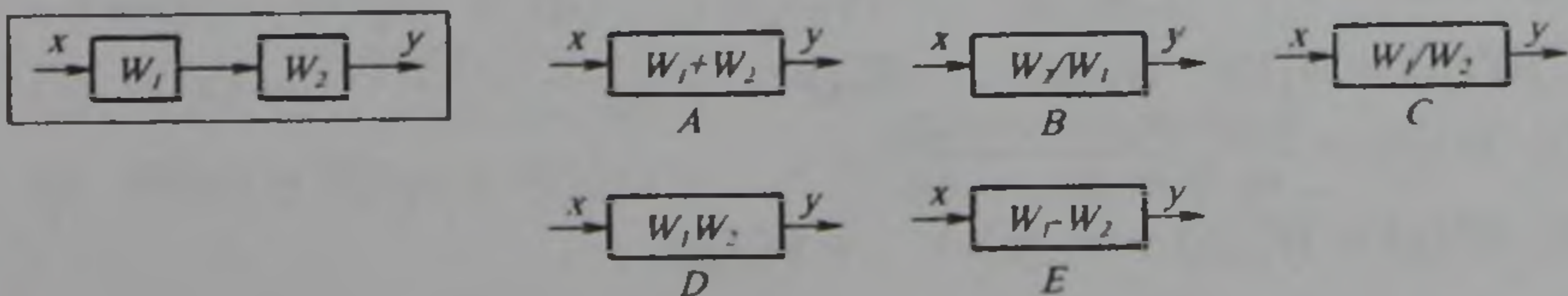
Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.6-сурет

&7. Бірнеше звеноларды бір звеномен алмастыру. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.7-сурет)?

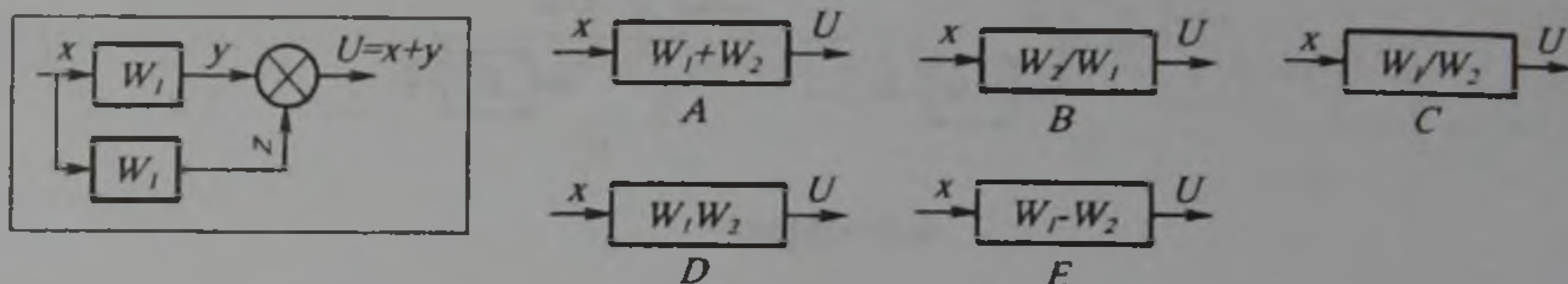
Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.7-сурет

& 8. Звенолардың параллель жалғануын жою. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.8-сурет)?

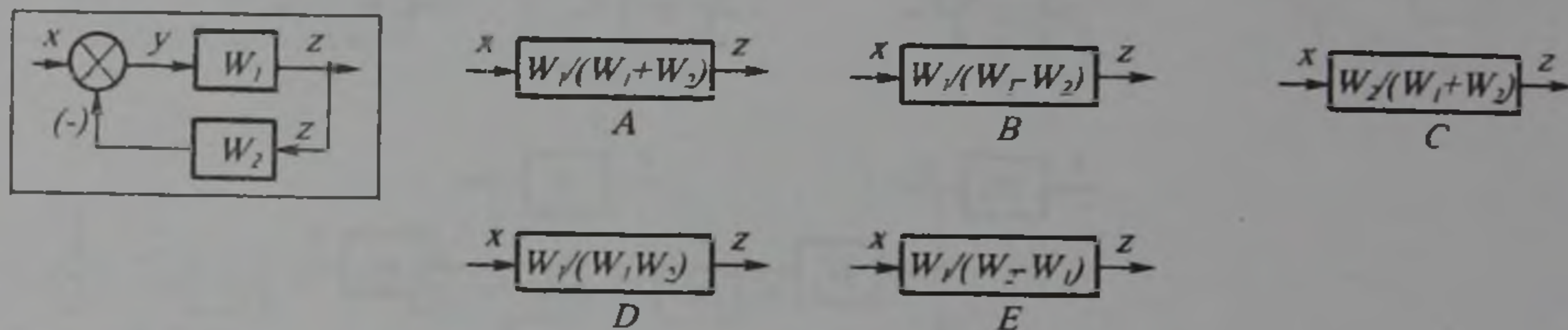
Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.8-сурет

& 9. Кері байланысты жою. Схемалардың қайсысы тіктөртбұрышта көрсетілген структуралық схемаға эквивалентті болады (8.9-сурет)?

Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.9-сурет

&10. Тізбектеліп жалғанған n звеноның эквивалентті беріліс функциясын тап ($W_i(p)$ – i -ші звеноның беріліс функциясы; $W_{o.c}(p)$ – кері байланыстың беріліс функциясы).

Жауаптары:

A) $W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 + W_{o.c}(p)}$;

B) $W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 - W_{o.c}(p)}$;

C) $W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)$;

D) $W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)}$;

E) $W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)$.

&11. Параллель жалғанған n звеноның эквивалентті беріліс функциясын тап ($W_i(p)$ – i -ші звеноның беріліс функциясы; $W_{o.c}(p)$ – кері байланыстың беріліс функциясы).

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 + W_{o.c}(p)};$$

$$B) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 - W_{o.c}(p)};$$

$$C) W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p);$$

$$D) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)};$$

$$E) W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p).$$

&12. Кірісі мен шығысы арасындағы кері байланысы оң болып, тізбектеліп жалғанған n звеноның эквивалентті беріліс функциясын тап ($W_i(p)$ – i -ші звеноның беріліс функциясы; $W_{o.c}(p)$ – кері байланыстың беріліс функциясы).

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)}{1 + W_{o.c}(p)};$$

$$B) W(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)}{1 - W_{o.c}(p)};$$

$$C) W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p);$$

$$D) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)};$$

$$E) W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p).$$

&13. Кірісі мен шығысы арасындағы кері байланысы теріс болып, тізбектеліп жалғанған n звеноның эквивалентті беріліс функциясын тап ($W_i(p)$ – i -ші звеноның беріліс функциясы; $W_{o.c}(p)$ – кері байланыстың беріліс функциясы).

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)}{1 + W_{o.c}(p)};$$

$$B) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 - W_{o.c}(p)};$$

$$C) W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p);$$

$$D) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)};$$

$$E) W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p).$$

&14. Кірісі мен шығысы арасындағы кері байланысы теріс болып, параллель жалғанған n звеноның эквивалентті беріліс функциясын тап ($W_i(p)$ – i -ші звеноның беріліс функциясы; $W_{o.c}(p)$ – кері байланыстың беріліс функциясы).

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 + W_{o.c}(p)};$$

$$B) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 - W_{o.c}(p)};$$

$$C) W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p);$$

$$D) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)};$$

$$E) W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p).$$

&15. Кірісі мен шығысы арасындағы кері байланысы оң болып, тізбектеліп жалғанған n звеноның эквивалентті беріліс функциясын тап ($W_i(p)$ – i -ші звеноның беріліс функциясы; $W_{o.c}(p)$ – кері байланыстың беріліс функциясы).

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 + W_{o.c}(p)};$$

$$B) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{1 - W_{o.c}(p)};$$

$$C) W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p);$$

$$D) W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)};$$

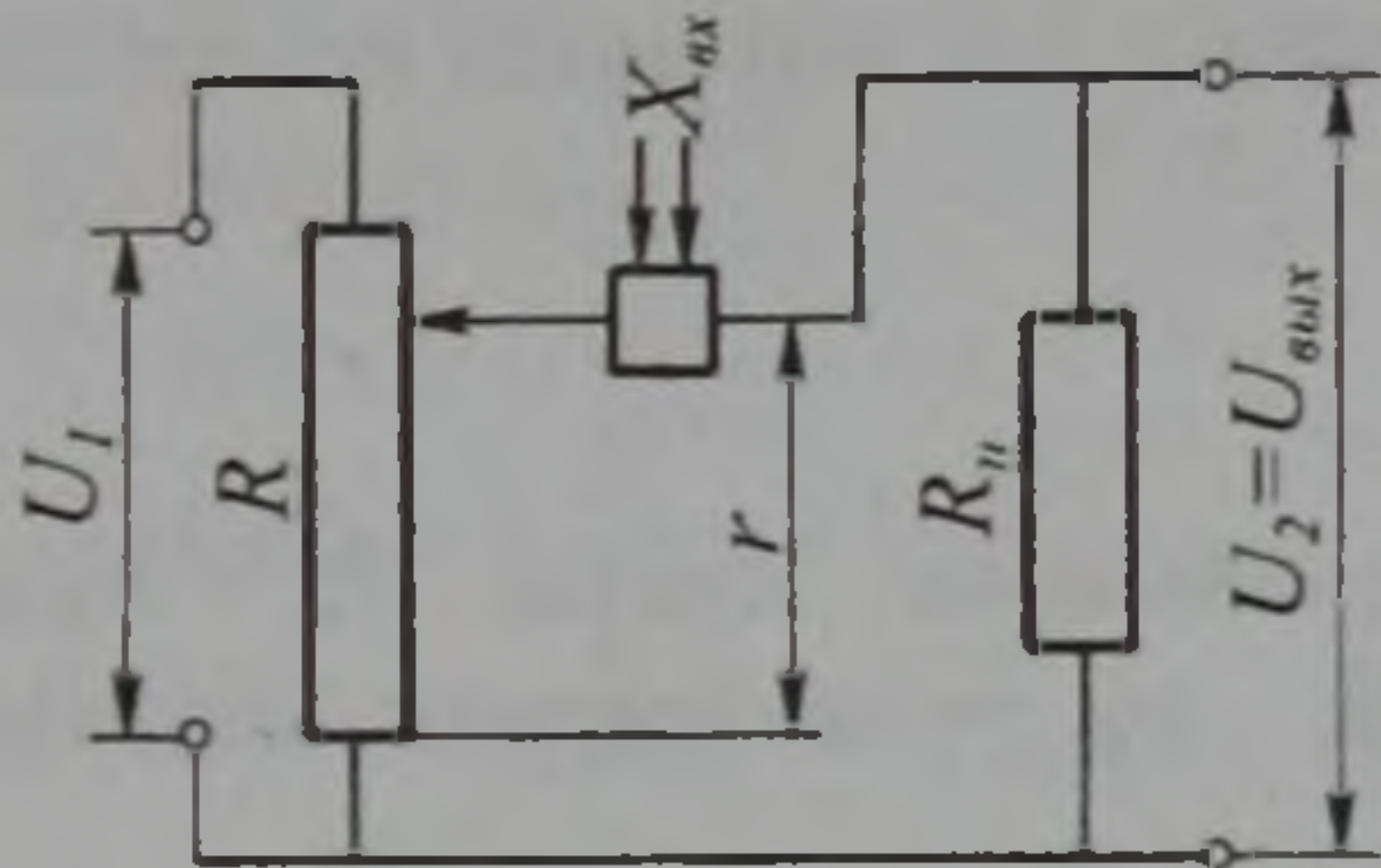
$$E) W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p).$$

&16. 8.11–ші суреттегі қисықсызықтардың қайсысы тізбекке қосылу схемасы 8.10–шы суретте көрсетілген жүктелмеген потенциометрлік датчиктің статикалық сипаттамасы болып табылады?

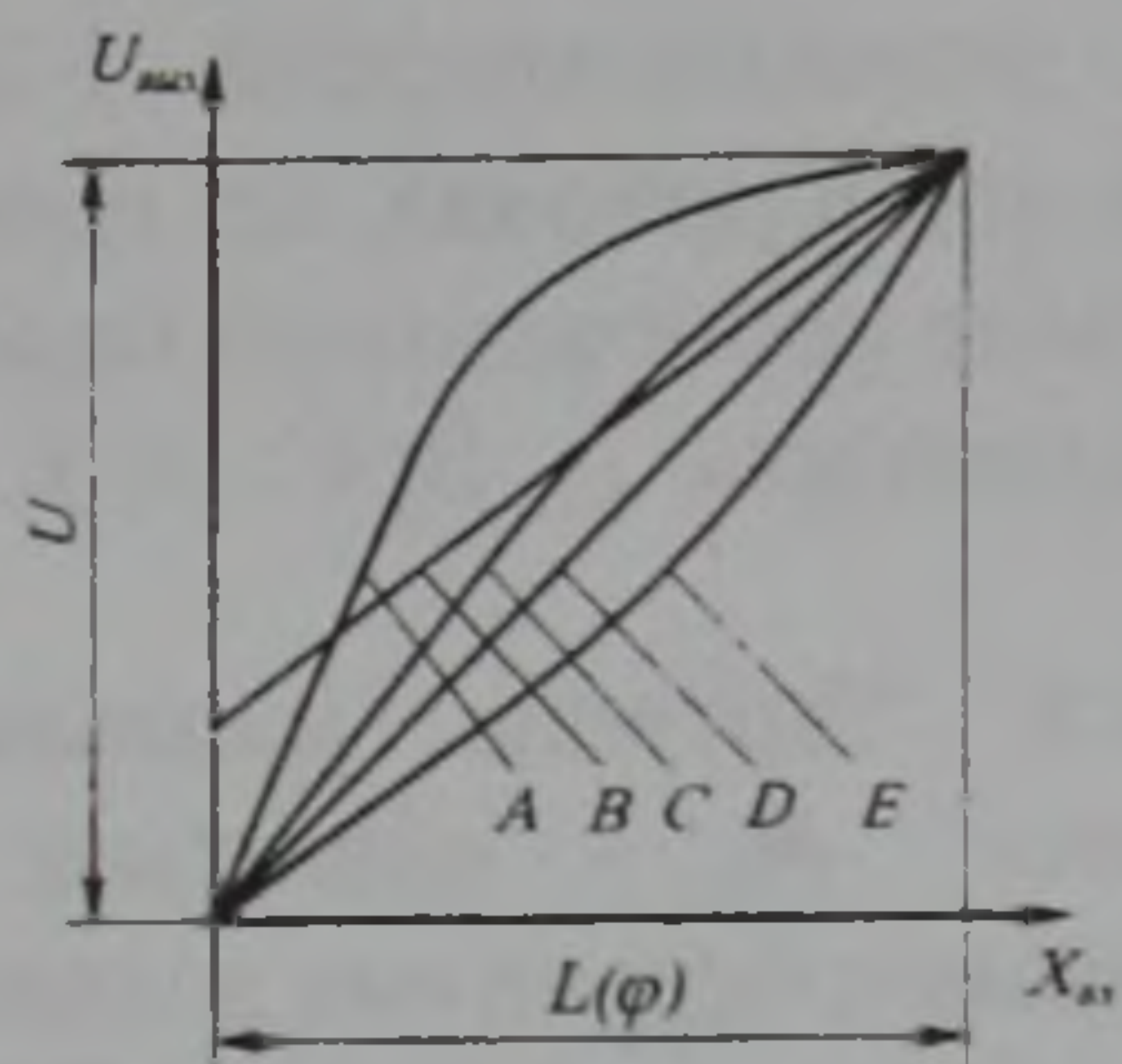
Жауаптары: А; В; С; D; E.

&17. 8.11–ші суреттегі қисықсызықтардың қайсысы тізбекке қосылу схемасы 8.10–шы суретте көрсетілген жүктелген потенциометрлік датчиктің статикалық сипаттамасы болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.10 – сурет



8.11 – сурет

18. Тартушы машинаның ілмегіндегі қуат $P_{кр} = F_{кр}v$. Мұндағы $F_{кр}$ – машина ілмегіндегі тарту күші; v – машина қозғалысының жылдамдығы.

Тартушы машинаның ПӘК-ін тәжірибе жүзінде жазып алатын автоматтық аспаптың көбейту құрылымындағы U_z кернеуі (8.12-сурет)

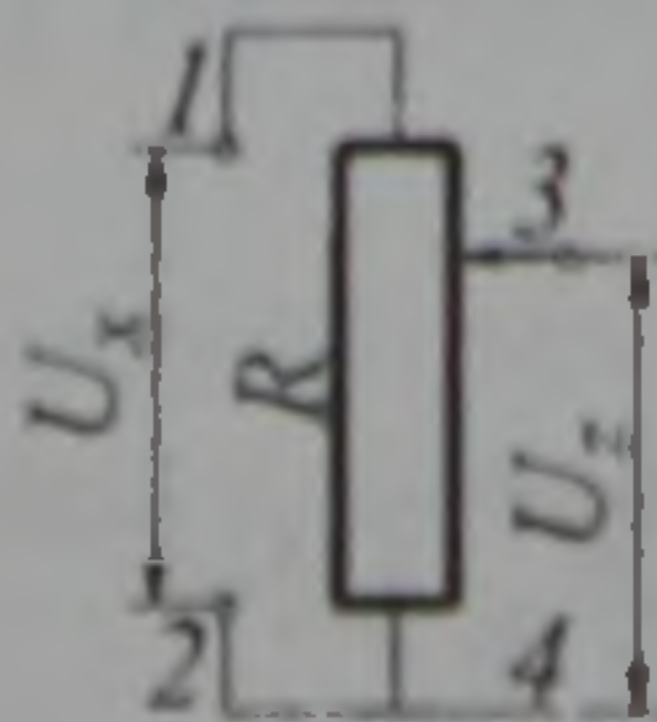
(7.2-суретті де қара) машина ілмегіндегі қуатқа сәйкес келеді, егер:

А) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі v шамасына пропорционал, ал, потенциометрдің 1-3 нығының кедергісі $F_{кр}$ күшіне пропорционал болса;

В) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі v шамасына пропорционал, ал, потенциометрдің 2-3 нығының кедергісі $F_{кр}$ күшіне пропорционал болса;

С) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі $F_{кр}$ күшіне пропорционал, ал, потенциометрдің 1-3 нығының кедергісі v шамасына пропорционал болса;

Д) потенциометрдің 1-3 клеммаларындағы U_x кернеуі $F_{кр}$ күшіне пропорционал, ал, потенциометрдің 2-3 нығының кедергісі v шамасына пропорционал болса;



8.12 – сурет

Е) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі $F_{кр}$ күшіне пропорционал, ал, потенциометрдің 3-1 иығының кедергісі ν шамасына пропорционал болса.

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&19. Тартушы машина қозғауышының қуаты $P_e = M_\partial \omega_\partial$. Мұндағы M_∂ – қозғауыш моменті; ω_∂ – қозғауыш білігінің айналуының бұрыштық жылдамдығы.

Тартушы машинаның ПӘК-ін тәжірибе жүзінде жазып алатын автоматты аспаптың көбейту құрылымындағы U_z кернеуі (8.12–сурет)

(7.2–суретті де қара)машина қозғауышының қуатына сәйкес келеді, егер:

А) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі M_∂ , шамасына пропорционал, ал, потенциометрдің 1-3 иығының кедергісі $F_{кр}$ күшіне пропорционал болса;

В) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі ω_∂ шамасына пропорционал, ал, потенциометрдің 1-3 иығының кедергісі M_∂ моментіне пропорционал болса;

С) потенциометрдің 1-3 клеммаларындағы U_x кернеуі ω_∂ шамасына пропорционал, ал, потенциометрдің 2-3 иығының кедергісі M_∂ моментіне пропорционал болса;

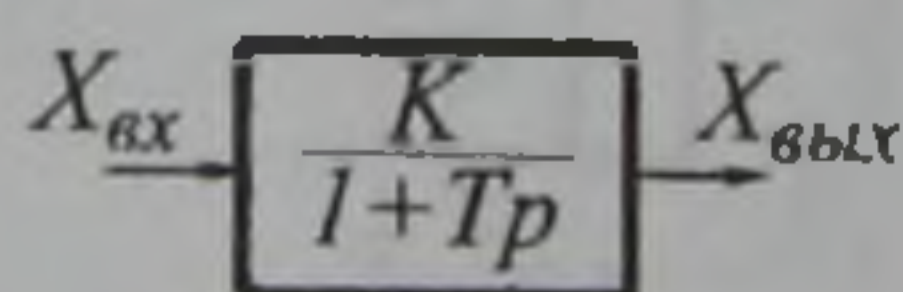
Д) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі ω_∂ шамасына пропорционал, ал, потенциометрдің 2-3 иығының кедергісі M_∂ моментіне пропорционал болса;

Е) потенциометрдің 1-2 клеммаларындағы U_x кернеуі M_∂ , шамасына пропорционал, ал, потенциометрдің 3-1 иығының кедергісі ω_∂ шамасына пропорционал болса.

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&20. Структалық схемасы 8.13–суретте көрсетілген автоматтық жүйенің ақиқат және жорамал бөліктері бөлініп жазылған жиілік функциясын анықта.

Жауаптары:

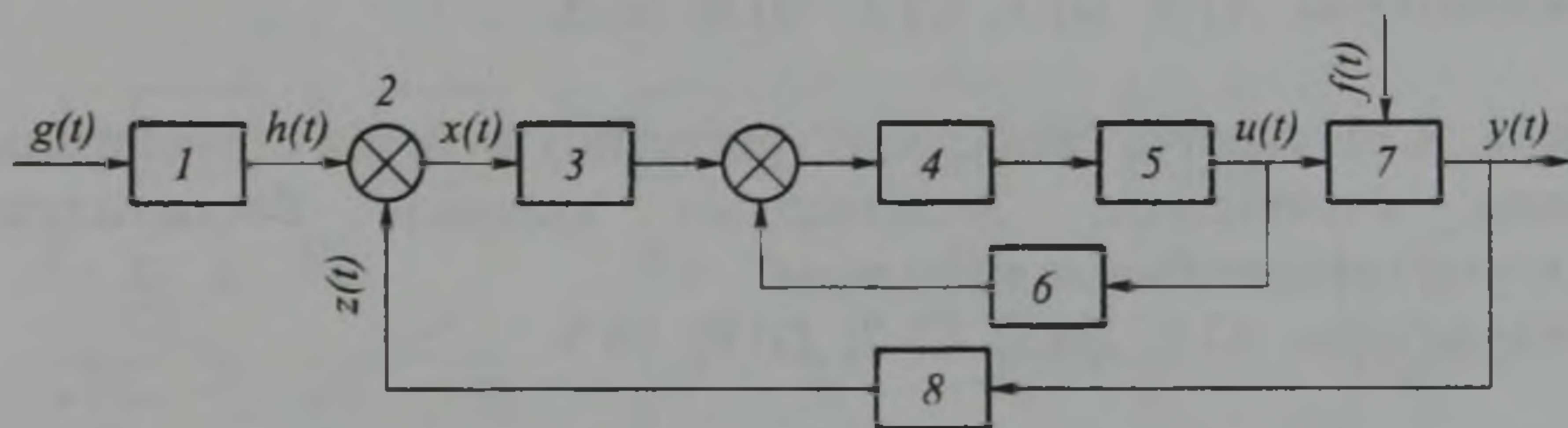


8.13–сурет

- A) $W(i\omega) = \frac{K}{1+T^2\omega^2} + i \frac{KT\omega}{1+T^2\omega^2}$;
- B) $W(i\omega) = \frac{K}{1-T^2\omega^2} - i \frac{KT\omega}{1-T^2\omega^2}$;
- C) $W(i\omega) = \frac{K}{1+T\omega} - i \frac{KT\omega}{1+T\omega}$;
- D) $W(i\omega) = \frac{K}{1-T\omega} + i \frac{KT\omega}{1-T\omega}$;
- E) $W(i\omega) = \frac{K}{1+T^2\omega^2} - i \frac{KT\omega}{1+T^2\omega^2}$.

&21. 8.14-суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы басқарылатын шаманың шын мәнін өлшейтін өлшеуіш құрылымы болып табылады?

Жауаптары: A) 4; B) 7; C) 2; D) 8; E) 1.



8.14-сурет

&22. 8.14-суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы тапсырушы құрылым болып табылады?

Жауаптары: A) 6; B) 1; C) 5; D) 8; E) 3.

&23. 8.14-суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы салыстырушы құрылым болып табылады?

Жауаптары: A) 4; B) 1; C) 5; D) 6; E) 2.

&24. 8.14-суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы сезгіш элемент болып табылады?

Жауаптары: A) 6; B) 7; C) 5; D) 2; E) 3.

&25. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы күшейтіп-түрлендіруші құрылым болып табылады?

Жауаптары: А) 1; В) 7; С) 3; D) 6; E) 8.

&26. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы жергілікті кері байланыстың звеносы болып табылады?

Жауаптары: А) 1; В) 7; С) 3; D) 6; E) 8.

&27. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы орындаушы құрылым болып табылады?

Жауаптары: А) 7; В) 5; С) 2; D) 8; E) 3.

&28. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Звенолардың қайсысы басқарылушы (реттелуші) объект болып табылады?

Жауаптары: А) 3; В) 7; С) 2; D) 8; E) 5.

&29. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Сигналдардың қайсысы басқарылушы (реттелінуші) шама болып табылады?

Жауаптары: А) $g(t)$; В) $x(t)$; С) $u(t)$; D) $y(t)$; E) $h(t)$.

&30. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Сигналдардың қайсысы тапсырушы әсер болып табылады?

Жауаптары: А) $y(t)$; В) $h(t)$; С) $g(t)$; D) $u(t)$; E) $f(t)$.

&31. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Сигналдардың қайсысы келіспеу (рассогласования) сигналы болып табылады?

Жауаптары: А) $y(t)$; В) $z(t)$; С) $g(t)$; D) $x(t)$; E) $f(t)$.

&32. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Сигналдардың қайсысы қоздырушы (ауытқытушы) әсер болып табылады?

Жауаптары: А) $y(t)$; В) $h(t)$; С) $g(t)$; D) $u(t)$; E) $f(t)$.

&33. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Сигналдардың қайсысы басқарылушы (реттелінуші) шаманың шын мәні (өлшенген) болып табылады?

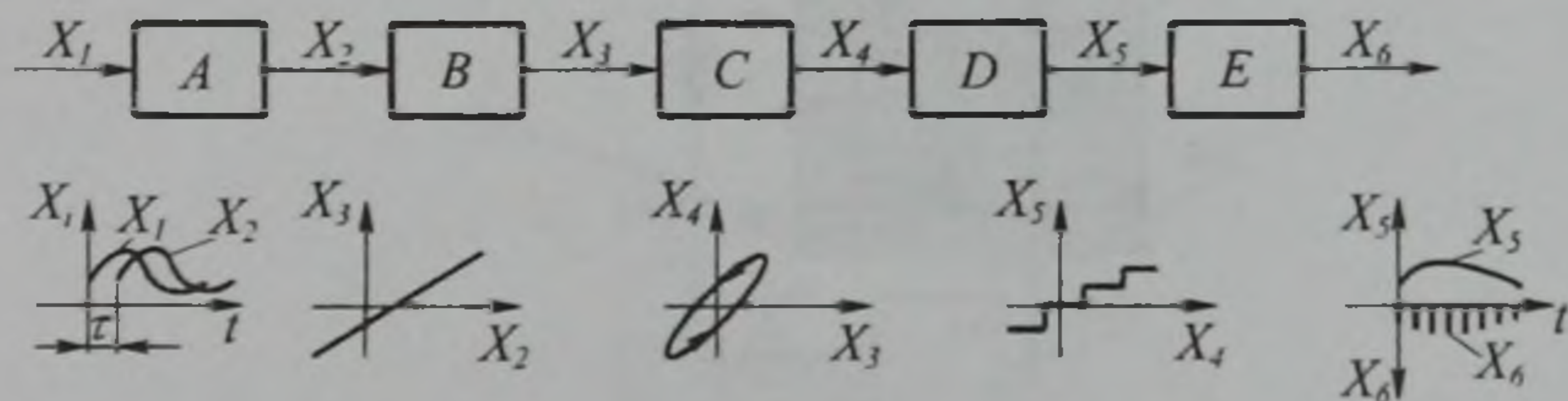
Жауаптары: А) $g(t)$; В) $x(t)$; С) $u(t)$; D) $z(t)$; E) $h(t)$.

&34. 8.14–суретте басқарушы (реттеуші) жүйенің структуралық схемасы көрсетілген. Сигналдардың қайсысы жүйенің қатесі болып табылады?

Жауаптары: А) $y(t)$; В) $x(t)$; С) $g(t)$; D) $u(t)$; E) $f(t)$.

&35. Статикалық сипаттамалары жүйенің структуралық схемасының (8.15–сурет) төменгі жағында көрсетілген звенолардың қайсысы сызықты звено болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.15–сурет

&36. Статикалық сипаттамалары жүйенің структуралық схемасының (8.15–сурет) төменгі жағында көрсетілген звенолардың қайсысы дискретті әсерлі звено болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&37. Статикалық сипаттамалары жүйенің структуралық схемасының (8.15–сурет) төменгі жағында көрсетілген звенолардың қайсысы релейлі звено болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&38. Статикалық сипаттамалары жүйенің структуралық схемасының (8.15–сурет) төменгі жағында көрсетілген звенолардың қайсысы кешігуші звено болып табылады?

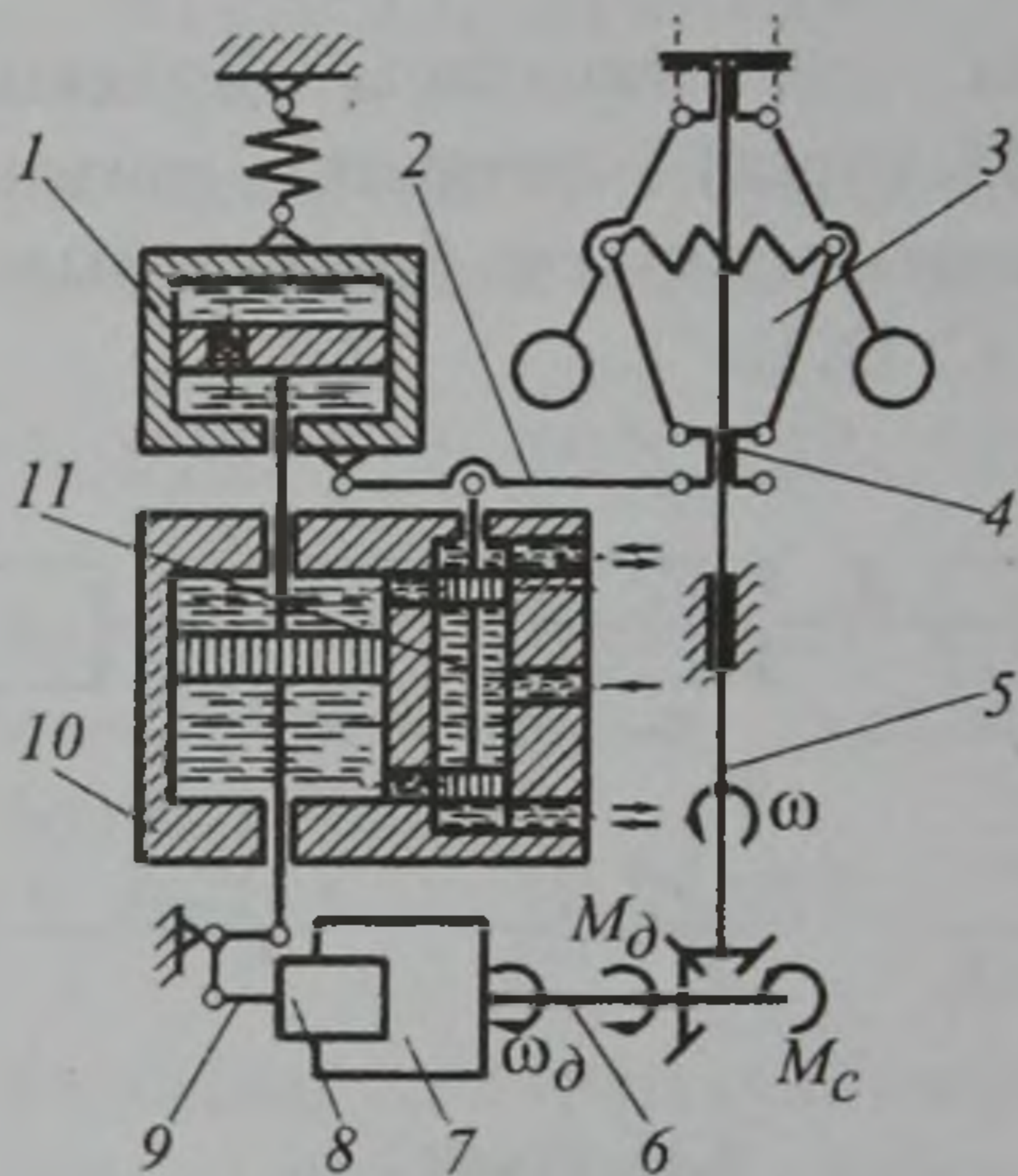
Жауаптары: А; В; С; D; E.

&39. 8.16–суретте қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығын реттеуші центрден тепкіш механизмнің схемасы көрсетілген. Қай элемент басқарылушы (реттелінуші) элемент болып табылады?

Жауаптары: А) 5; В) 3; С) 8; D) 7; Е) 1.

&40. 8.16–суретте қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығын реттеуші центрден тепкіш механизмнің схемасы көрсетілген. Қай элемент қоздырушы әсерлі болып табылады?

Жауаптары: А) 8; В) M_d ; С) M_c ; D) ω_d ; Е) ω .



8.16–сурет: 1 – саябырлатқыш (демпфер); 2 – рычаг; 3 – центрден тепкіш механизм; 4 – центрден тепкіш механизмнің муфтасы; 5 – центрден тепкіш механизмнің білігі; 6 – қозғауыштың білігі; 7 – қозғауыш; 8 – қозғауыштың отын сорғышы; 9 – отын сорғышының рейкасы; 10 – сервомотор (гидроцилиндр); 11 – мысқал (золотник); M_d – қозғауыш моменті; ω_d – қозғауыш білігінің айналысының бұрыштық жылдамдығы; ω – центрден тепкіш механизм білігінің айналыс жылдамдығы; M_c – келтірілген кедергі моменті.

&41. 8.16–суретте қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығын реттеуші центрден тепкіш механизмнің схемасы көрсетілген. Қай элемент реттелінуші шама болып табылады?

Жауаптары: А) 8; В) M_d ; С) M_c ; D) ω_d ; Е) ω .

&42. 8.16–суретте қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығын реттеуші центрден тепкіш механизмнің схемасы көрсетілген. Қай элемент реттеуші орган болып табылады?

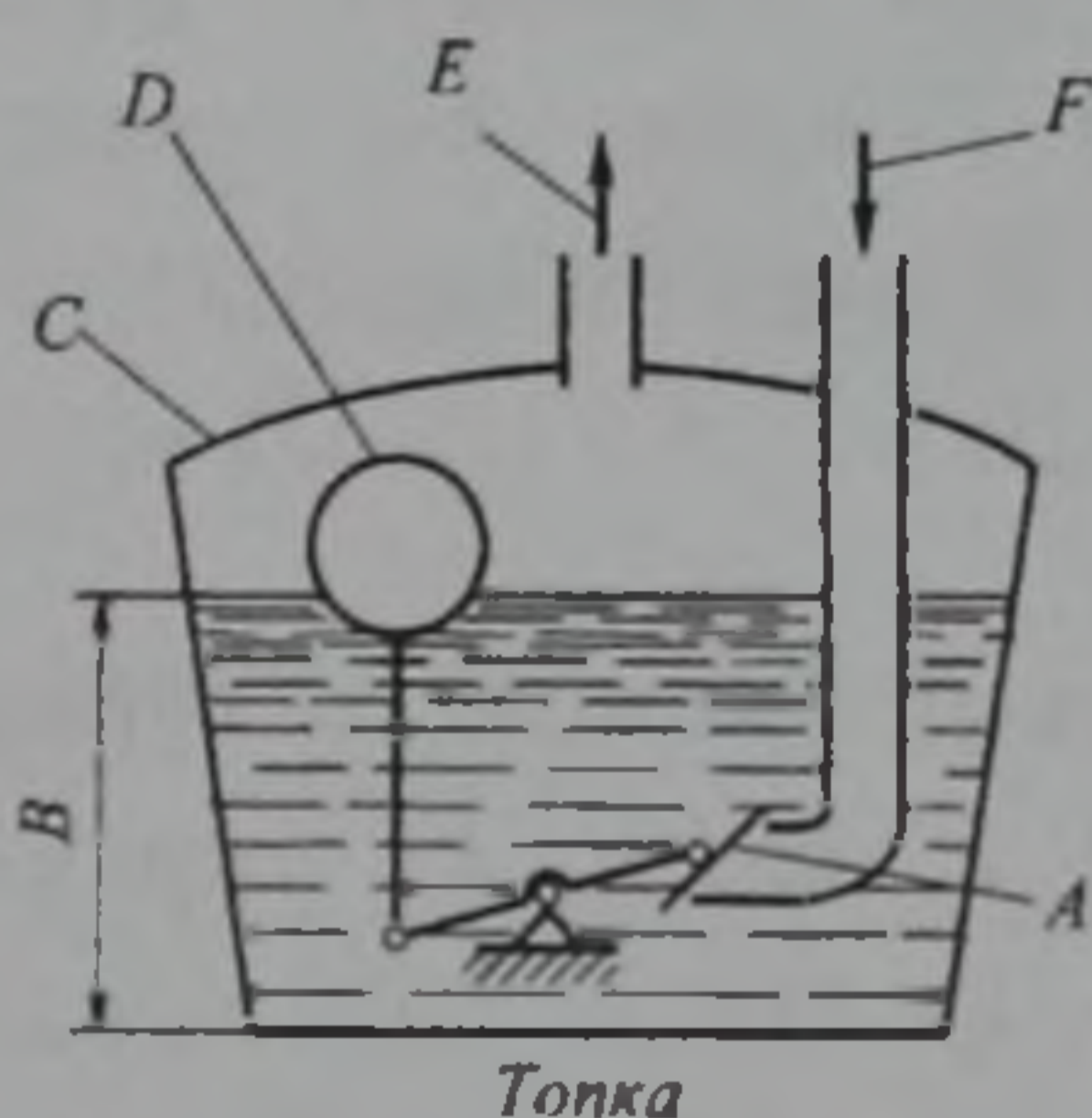
Жауаптары: А) 3; В) 8; С) 9; D) 10; E) 11.

&43. 8.16–суретте қозғауыш білігінің айналыс жылдамдығын реттеуші центрден тепкіш механизмнің схемасы көрсетілген. Қай элемент орындаушы механизм болып табылады?

Жауаптары: А) 5; В) 10; С) 11; D) 3; E) 4.

&44. 8.17–суретте бу машинасының қазанындағы судың деңгейін көрсететін реттеуіштің схемасы көрсетілген. Қай элемент өлшеуші құрылым болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.17–сурет: А – сумен қоректендіру көзінің клапаны, В – судың деңгейі, С – қазан, D – қалтқы, E – будың шығыны, F – сумен қоректендіру.

&45. 8.17–суретте бу машинасының қазанындағы судың деңгейін көрсететін реттеуіштің схемасы көрсетілген. Қай элемент реттелінуші шама болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&46. 8.17–суретте бу машинасының қазанындағы судың деңгейін көрсететін реттеуіштің схемасы көрсетілген. Қай элемент реттеуші орган болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&47. 8.17–суретте бу машинасының қазанындағы судың деңгейін көрсететін реттеуіштің схемасы көрсетілген. Қай элемент реттелінуші нысан (объект) болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&48. 8.17–суретте бу машинасының қазанындағы судың деңгейін көрсететін реттеуіштің схемасы көрсетілген. Қай элемент қоздырушы әсер болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&49. АРЖ объектісінің өлшемсіз түрінде жазылған теңдеуі $T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k\mu$. Мұндағы T және k – тұрақты шамалар. Қандай параметр реттелінуші шама болып табылады?

Жауаптары: А) T ; В) φ ; С) t ; D) k ; E) μ .

&50. АРЖ объектісінің өлшемсіз түрінде жазылған теңдеуі $T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k\mu$. Мұндағы T және k – тұрақты шамалар. Қандай параметр кірістегі сигнал болып табылады?

Жауаптары: А) T ; В) φ ; С) t ; D) k ; E) μ .

&51. АРЖ объектісінің өлшемсіз түрінде жазылған теңдеуі $T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k\mu$. Мұндағы T және k – тұрақты шамалар. Қандай параметр шығыстағы сигнал болып табылады?

Жауаптары: А) T ; В) φ ; С) t ; D) k ; E) μ .

&52. АРЖ объектісінің өлшемсіз түрінде жазылған теңдеуі $T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k\mu$. Мұндағы T және k – тұрақты шамалар. Қандай параметр уақыт тұрақтысы болып табылады?

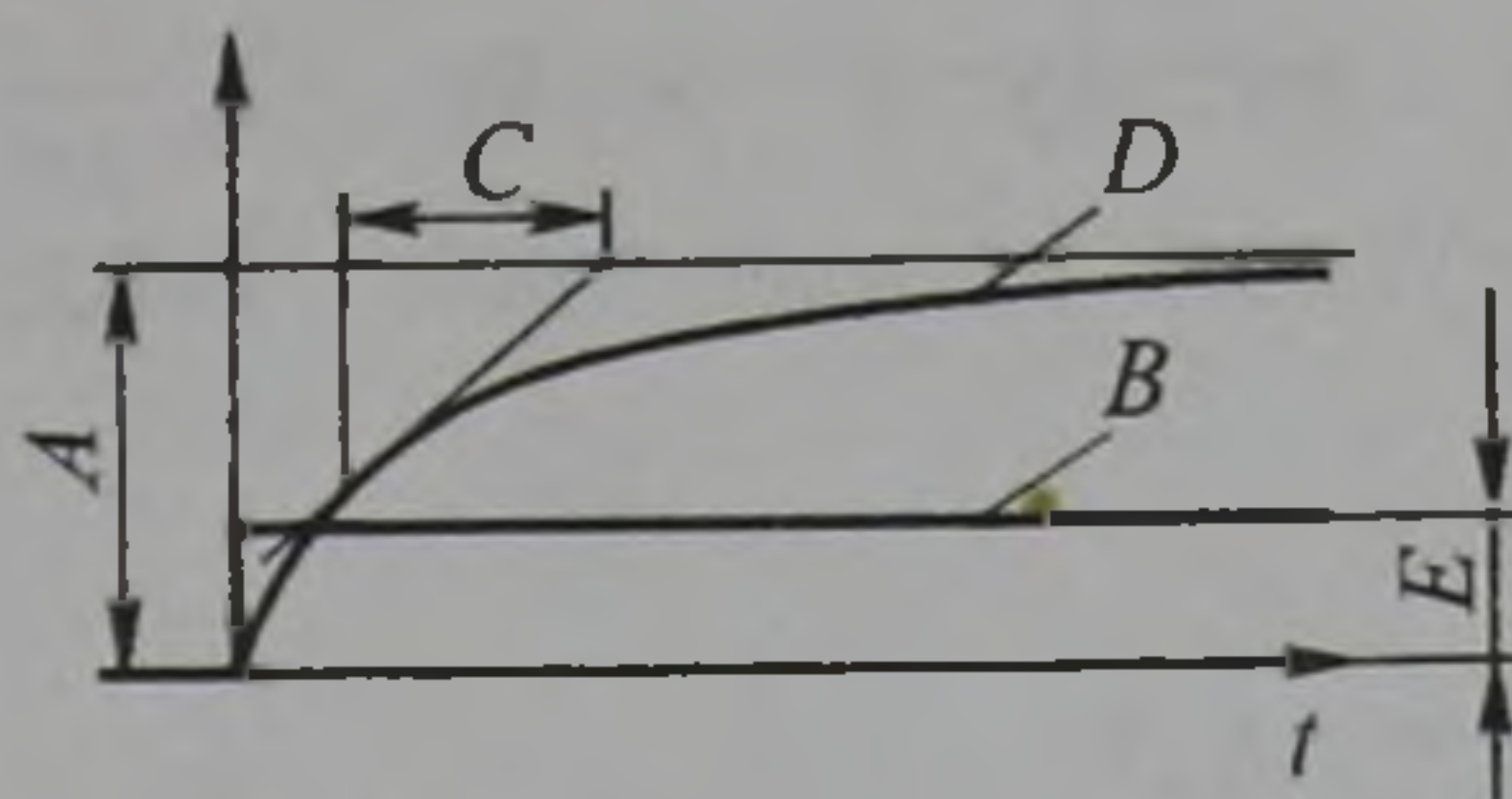
Жауаптары: А) T ; В) φ ; С) t ; D) k ; E) μ .

&53. АРЖ объектісінің өлшемсіз түрінде жазылған теңдеуі $T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k\mu$. Мұндағы T және k – тұрақты шамалар. Қандай параметр күшейту коэффициенті болып табылады?

Жауаптары: А) T ; В) φ ; С) t ; D) k ; E) μ .

&54. 8.18–суретте өткінші процестің графигі көрсетілген. Кірісіндегі сигналды тап.

Жауаптары: А; В; С; D; E.



8.18–сурет

&55. 8.18–суретте өткінші процестің графигі көрсетілген. Шығысындағы сигналды тап.

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&56. 8.18–суретте өткінші процестің графигі көрсетілген. Уақыт тұрақтысын анықта.

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&57. 8.18–суретте өткінші процестің графигі көрсетілген. Күшейту коэффициентінің шамасын анықта.

Жауаптары: А) D/B ; В) A/E ; С) E/C ; D) E/A ; Е) C/E .

&58. 8.19–суретте көрсетілген АРЖ-нің тендеулері:

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k_0 \mu + F(t);$$

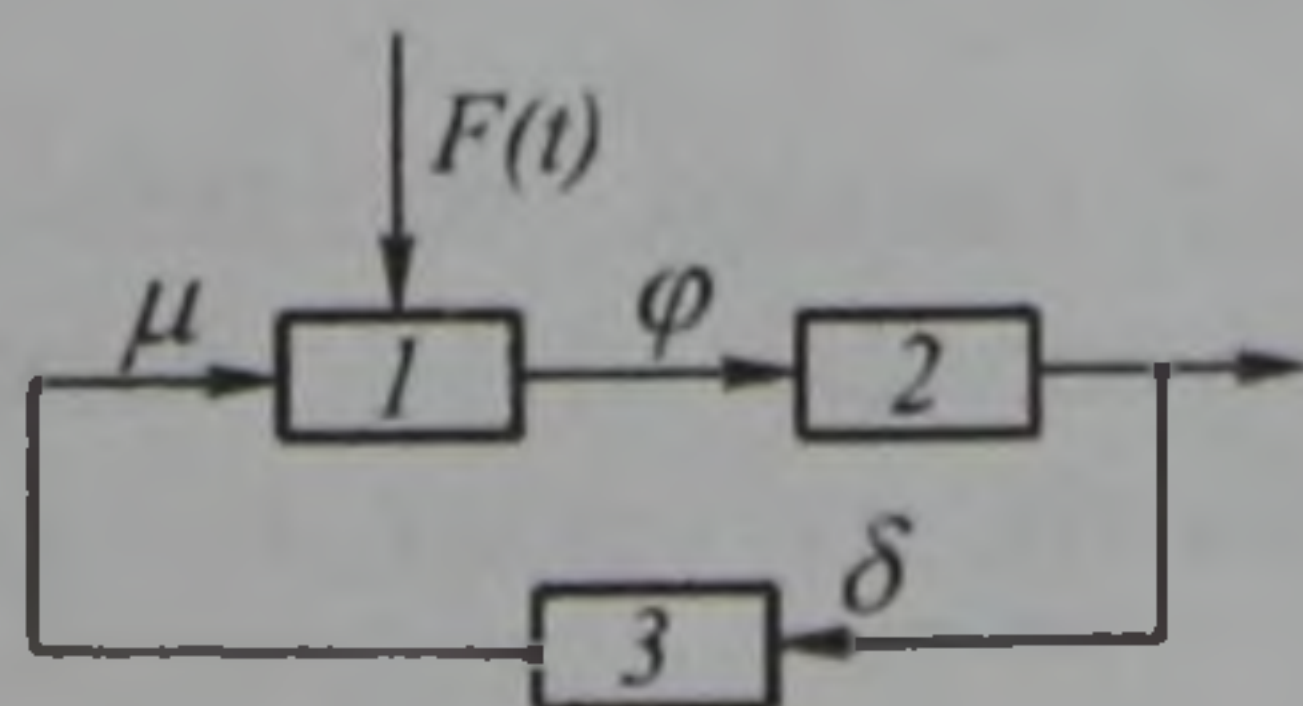
$$\delta = k\varphi;$$

$$T_p^2 \frac{d^2 \mu}{dt^2} + T_k \frac{d\mu}{dt} + \mu = -k_p \delta.$$

Мұндағы T , T_p , T_k , k , k_0 , k_p – тұрақты коэффициенттер, $F(t)$ – сыртқы қоздырушы әсер, t – уақыт.

АРЖ-нің жалпы дифференциалдық тендеуінің тәртібін анықта.

Жауаптары: А) бірінші; В) екінші; С) үшінші; D) бесінші; Е) жетінші;



8.19–сурет

&59. Автоматтық реттеуші жүйе $T_p^2 \frac{d^2 \mu}{dt^2} + T_k \frac{d\mu}{dt} + \mu = -k_p \delta$ дифференциалды теңдеуімен өрнектелген. Теңдеуді операторлық түрде жазып бер.

Жауаптары:

- A) $T_p p^2 \mu + T_k p \mu + \mu = -k_p \delta;$
- B) $p^2 \mu + T_k p \mu + \mu = -k_p \delta;$
- C) $T_p^2 p^2 \mu + T_k p \mu + 1 = -k_p \delta;$
- D) $T_p^2 p^2 \mu + T_k p \mu + \mu = -k_p \delta;$
- E) $p^2 \mu + \frac{1}{T_p} T_k p \mu + \frac{1}{T_p} \mu = -\frac{1}{T_p} k_p \delta.$

&60. Автоматтық реттеуші жүйе $T_1^2 p^2 X_{\text{вых}} + T_2 p X_{\text{вых}} + X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}}$ операторлық түрінде берілген. Беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

- A) $W(p) = \frac{k}{T_1^2 + T_2 + 1};$
- B) $W(p) = \frac{T_1^2 + T_2 + 1}{k};$
- C) $W(p) = \frac{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}{k};$
- D) $W(p) = \frac{1 + T_2 p + k}{T_1^2 p^2};$
- E) $W(p) = \frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}.$

&61. Автоматтық реттеуші жүйе $T_1^2 p^2 X_{\text{вых}} + T_2 p X_{\text{вых}} + X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}}$ операторлық түрінде берілген. Теңдеуді жиілік беріліс функциясын анықтауға қолайлы түрінде жазып бер.

Жауаптары:

- A) $T_1^2 i^2 X_{\text{вых}} + T_2 i X_{\text{вых}} + X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}};$
- B) $T_1^2 i^2 \omega X_{\text{вых}} + T_2 i \omega X_{\text{вых}} + \omega X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}};$
- C) $T_1^2 \omega^2 X_{\text{вых}} + T_2 \omega X_{\text{вых}} + \omega X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}};$
- D) $-T_1^2 \omega^2 X_{\text{вых}} + T_2 i \omega X_{\text{вых}} + X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}};$
- E) $T_1^2 \omega^2 X_{\text{вых}} + T_2 i \omega X_{\text{вых}} + X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}}.$

&62. Пропорцианалды басқару жағдайы үшін басқарудың алгоритмін анықта (теңдеулердегі $u(t)$ – басқарушы әсер, $x(t)$ – жүйенің қатесі (келіспеушілігі), t – уақыт, k_i – коэффициенттер):

A) $u(t) = k_2 \dot{x}(t)$;

B) $u(t) = k_4 x(t) + k_5 \int x(t) dt$;

C) $u(t) = k_1 x(t)$;

D) $u(t) = k(u(t) + u(t)^{x(t)} x(t))$; E) $u(t) = k_3 \int x(t) dt$.

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&63. Интегралды басқару жағдайы үшін басқарудың алгоритмін анықта (теңдеулердегі $u(t)$ – басқарушы әсер, $x(t)$ – жүйенің қатесі (келіспеушілігі), t – уақыт, k_i – коэффициенттер):

A) $u(t) = k_2 \dot{x}(t)$;

B) $u(t) = k_4 x(t) + k_5 \int x(t) dt$; C) $u(t) = k_1 x(t)$;

D) $u(t) = k(u(t) + u(t)^{x(t)} x(t))$;

E) $u(t) = k_3 \int x(t) dt$.

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&64. Туындылар арқылы басқару жағдайы үшін басқарудың алгоритмін анықта (теңдеулердегі $u(t)$ – басқарушы әсер, $x(t)$ – жүйенің қатесі (келіспеушілігі), t – уақыт, k_i – коэффициенттер):

A) $u(t) = k_2 \dot{x}(t)$;

B) $u(t) = k_4 x(t) + k_5 \int x(t) dt$;

C) $u(t) = k_1 x(t)$;

D) $u(t) = k(u(t) + u(t)^{x(t)} x(t))$;

E) $u(t) = k_3 \int x(t) dt$.

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&65. Изодромды басқару жағдайы үшін басқарудың алгоритмін анықта (теңдеулердегі $u(t)$ – басқарушы әсер, $x(t)$ – жүйенің қатесі (келіспеушілігі), t – уақыт, k_i – коэффициенттер):

A) $u(t) = k_2 \dot{x}(t)$;

B) $u(t) = k_4 x(t) + k_5 \int x(t) dt$;

C) $u(t) = k_1 x(t)$;

D) $u(t) = k(u(t) + u(t)^{x(t)} x(t))$;

E) $u(t) = k_3 \int x(t) dt$.

Жауаптары: А; В; С; D; E.

&66. Жоғары дәлдікті интегралды басқару жағдайы үшін басқарудың алгоритмін анықта (тендеулердегі $u(t)$ – басқарушы әсер, $x(t)$ – жүйенің қатесі (келіспеушілігі), t – уақыт, k_i – коэффициенттер):

A) $u(t) = k_2 \dot{x}(t)$;

B) $u(t) = k_4 x(t) + k_5 \int x(t) dt$;

C) $u(t) = k_1 x(t)$;

D) $u(t) = k(u(t) + u(t)^{x(t)} x(t))$;

E) $u(t) = k_3 \int x(t) dt$.

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&67. Автоматтық басқару жүйесінің беріліс функциясы

$W(i\omega) = \frac{k(1-iT\omega)}{1+T^2\omega^2}$. Жиілік беріліс функциясының модулін анықта.

Жауаптары:

A) $A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2+1}}$;

B) $A(\omega) = \arctg(T\omega)$;

C) $A(\omega) = \frac{k+kT^2\omega^2}{(1+T^2\omega^2)^2}$;

D) $A(\omega) = \arctg(-T\omega)$;

E) $A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2+1}}$.

&68. Автоматтық басқару жүйесінің беріліс функциясы

$W(i\omega) = \frac{k(1-iT\omega)}{1+T^2\omega^2}$. Жиілік беріліс функциясының аргументін (фазасын) анықта.

Жауаптары:

A) $\varphi(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2+1}}$;

B) $\varphi(\omega) = \arctg(T\omega)$;

C) $\varphi(\omega) = \frac{k+kT^2\omega^2}{(1+T^2\omega^2)^2}$;

D) $\varphi(\omega) = \arctg(-T\omega)$;

E) $\varphi(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2+1}}$.

&69. Автоматтық басқару жүйесінің беріліс функциясы

$W(i\omega) = \frac{k(1-iT\omega)}{1+T^2\omega^2}$. Жиілік беріліс функциясының нақты құраушысын анықта.

Жауаптары:

$$A) U(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2+1}};$$

$$B) U(\omega) = \frac{-kT\omega}{1+T^2\omega^2};$$

$$C) U(\omega) = \frac{k}{1+T^2\omega^2};$$

$$D) U(\omega) = \arctg(-T\omega);$$

$$E) U(\omega) = \arctg(T\omega).$$

&70. Автоматтық басқару жүйесінің беріліс функциясы $W(i\omega) = \frac{k(1-iT\omega)}{1+T^2\omega^2}$. Жиілік беріліс функциясының жорамал құраушысын анықта.

Жауаптары:

$$A) V(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2+1}};$$

$$B) V(\omega) = \frac{-kT\omega}{1+T^2\omega^2};$$

$$C) V(\omega) = \frac{k}{1+T^2\omega^2};$$

$$D) V(\omega) = \arctg(-T\omega);$$

$$E) V(\omega) = \arctg(T\omega).$$

&71. 8.20–суретте АРЖ звеносының амплитудалық-жиілік сипаттамасы көрсетілген. Жиілік беріліс функциясының ω_1 жиілігіне сәйкес келетін модулін анықта.

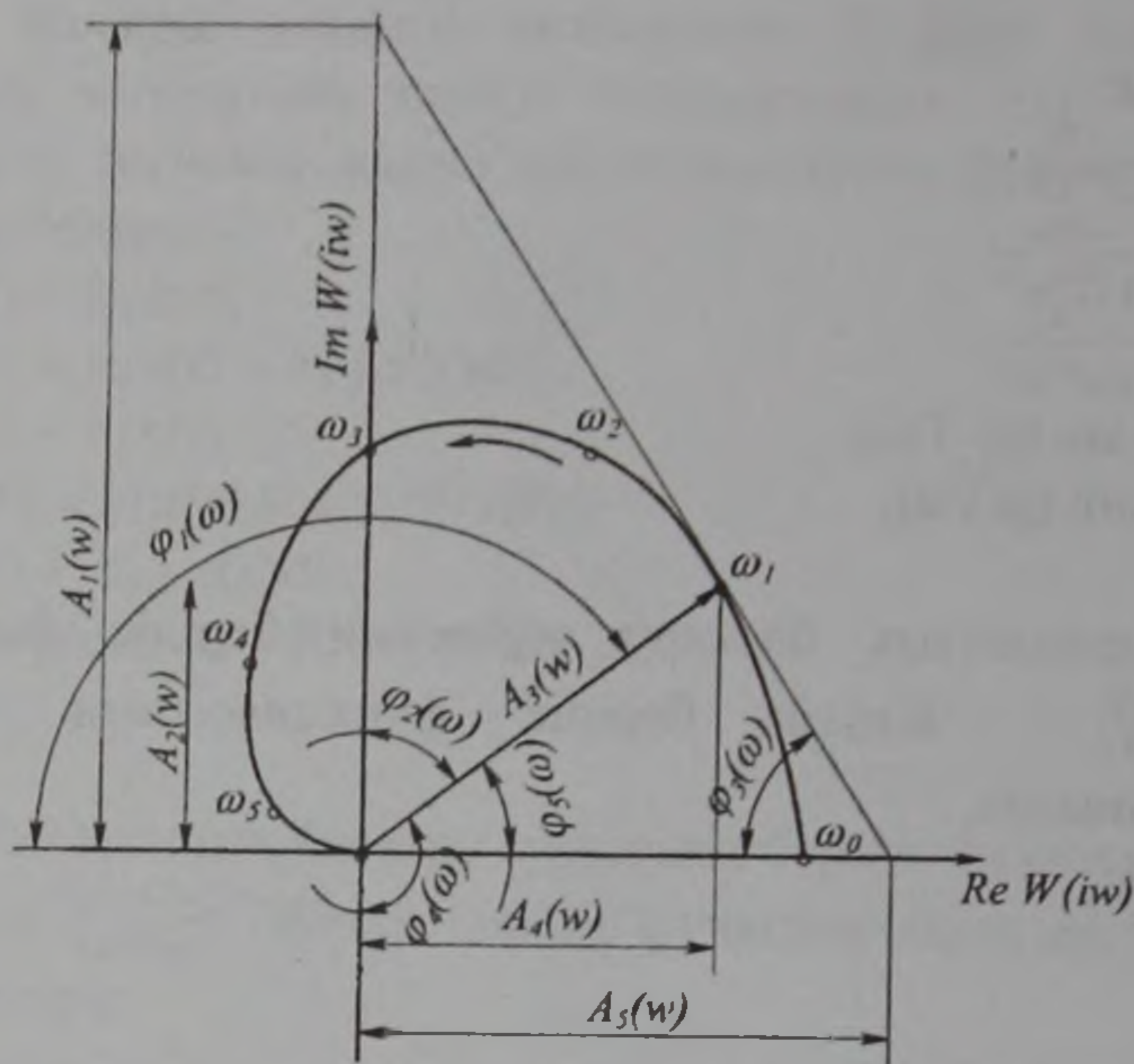
Жауаптары:

$$A) A_1(\omega); B) A_2(\omega); C) A_3(\omega); D) A_4(\omega); E) A_5(\omega).$$

&72. 8.20–суретте АБЖ звеносының амплитудалық-жиілік сипаттамасы көрсетілген. Жиілік беріліс функциясының ω_1 жиілігіне сәйкес келетін фазасын анықта.

Жауаптары:

$$A) A_1(\omega); B) A_2(\omega); C) A_3(\omega); D) A_4(\omega); E) A_5(\omega).$$



8.20 – сурет

&73. Инерциясыз позициялық звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

- A) $W(p) = \frac{k}{1+T_p p}$;
- B) $W(p) = k$;
- C) $W(p) = \frac{k}{1+2\xi T_p p + T_p^2 p^2}$;
- D) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p + T_2^2 p^2}$; ($T_1 > 2T_2$);
- E) $W(p) = \frac{k}{1+T^2 p^2}$.

&74. Бірінші тәртіпті апериодикалық позициялық звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

- A) $W(p) = \frac{k}{1+T_p p}$;
- B) $W(p) = k$;
- C) $W(p) = \frac{k}{1+2\xi T_p p + T_p^2 p^2}$;
- D) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p + T_2^2 p^2}$; ($T_1 > 2T_2$);

$$E) W(p) = \frac{k}{1+T^2 p^2}.$$

&75. Екінші тәртіпті апериодикалық позициялық звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{k}{1+Tp};$$

$$B) W(p) = k;$$

$$C) W(p) = \frac{k}{1+2\xi Tp+T^2 p^2};$$

$$D) W(p) = \frac{k}{1+T_1 p+T_2^2 p^2}; (T_1 > 2T_2);$$

$$E) W(p) = \frac{k}{1+T^2 p^2}.$$

&76. Тербелтуші позициялық звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{k}{1+Tp};$$

$$B) W(p) = k;$$

$$C) W(p) = \frac{k}{1+2\xi Tp+T^2 p^2};$$

$$D) W(p) = \frac{k}{1+T_1 p+T_2^2 p^2}; (T_1 > 2T_2);$$

$$E) W(p) = \frac{k}{1+T^2 p^2}.$$

&77. Консервативті позициялық звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

$$A) W(p) = \frac{k}{1+Tp};$$

$$B) W(p) = k;$$

$$C) W(p) = \frac{k}{1+2\xi Tp+T^2 p^2};$$

$$D) W(p) = \frac{k}{1+T_1 p+T_2^2 p^2}, (T_1 > 2T_2);$$

$$E) W(p) = \frac{k}{1+T^2 p^2}.$$

&78. Идеал интегралдаушы звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

- A) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p}$;
 B) $W(p) = \frac{k}{p(1+T_1 p)}$;
 C) $W(p) = \frac{k}{p}$;
 D) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p+T_2^2 p^2}$; ($T_1 > 2T_2$);
 E) $W(p) = \frac{k}{1+T_2^2 p^2}$.

&79. Бәсеңдетуі бар интегралдаушы звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

- A) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p}$;
 B) $W(p) = \frac{k}{p(1+T_1 p)}$;
 C) $W(p) = \frac{k}{p}$;
 D) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p+T_2^2 p^2}$; ($T_1 > 2T_2$);
 E) $W(p) = \frac{k(1+T_1 p)}{p}$.

&80. Изодромдық звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

- A) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p}$;
 B) $W(p) = \frac{k}{p(1+T_1 p)}$;
 C) $W(p) = \frac{k}{p}$;
 D) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p+T_2^2 p^2}$; ($T_1 > 2T_2$);
 E) $W(p) = \frac{k(1+T_1 p)}{p}$.

&81. Дифференциалдаушы звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

- A) $W(p) = kp$;
 B) $W(p) = \frac{k}{p(1+T_1 p)}$;
 C) $W(p) = \frac{k}{p}$;
 D) $W(p) = \frac{k}{1+T_1 p+T_2^2 p^2}$; ($T_1 > 2T_2$);
 E) $W(p) = \frac{k(1+T_1 p)}{p}$.

&82. Бәсеңдетуі бар дифференциалдаушы звеноның беріліс функциясын анықта.

Жауаптары:

A) $W(p) = \frac{k}{1+Tp}$;

B) $W(p) = \frac{kp}{(1+Tp)}$;

C) $W(p) = \frac{k}{p}$;

D) $W(p) = \frac{k}{1+T_1p+T_2^2p^2}$; ($T_1 > 2T_2$);

E) $W(p) = \frac{k(1+Tp)}{p}$.

&83. 8.1-кестесінде көрсетілген функциялардың қайсысы беріліс функциясы $W(p) = k$ болған инерциясыз звеноның өткінші процесінің функциясы болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&84. 8.1-кестесінде көрсетілген функциялардың қайсысы беріліс функциясы $W(p) = \frac{k}{1+Tp}$ болған бірінші тәртіпті апериодикалық звеноның өткінші процесінің функциясы болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&85. 8.1-кестесінде көрсетілген функциялардың қайсысы беріліс функциясы $W(p) = \frac{k}{1+T_1p+T_2^2p^2}$ болған екінші тәртіпті апериодикалық звеноның өткінші процесінің функциясы болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

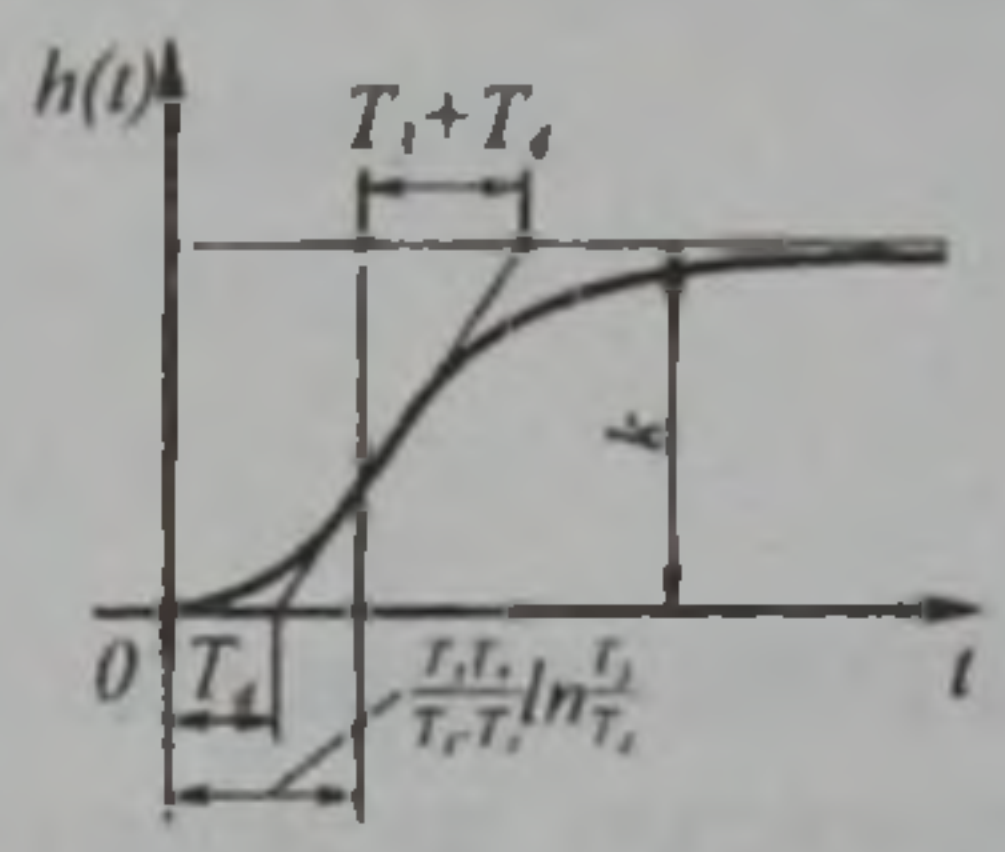
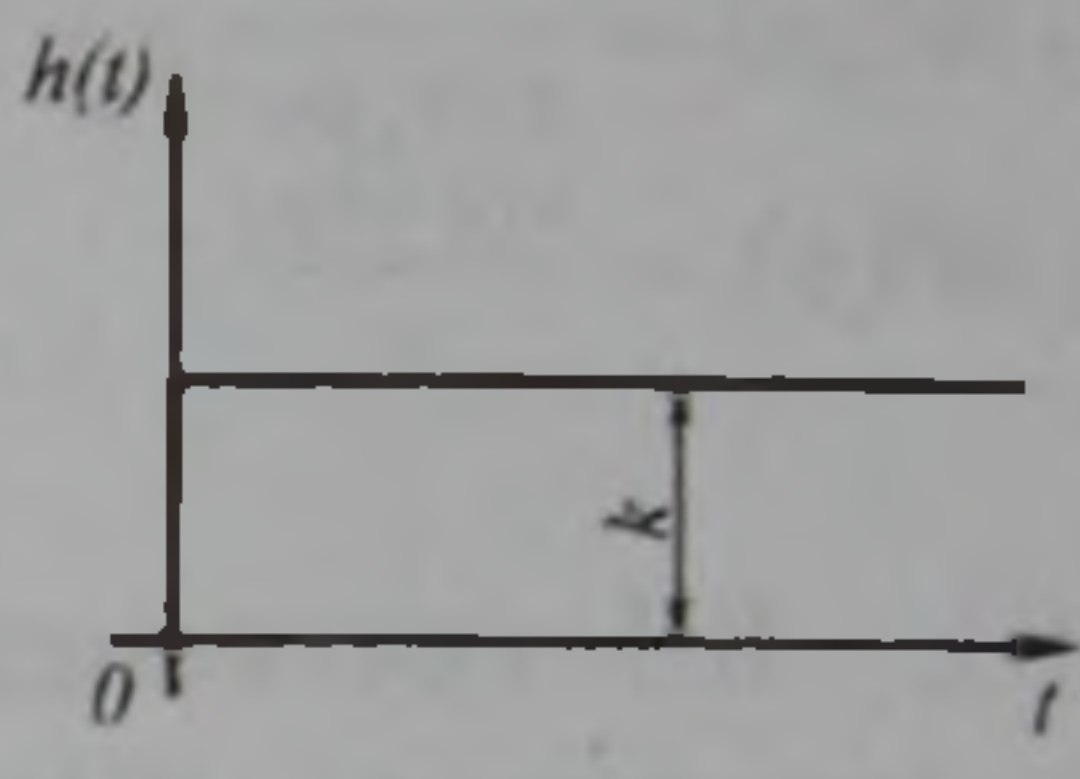
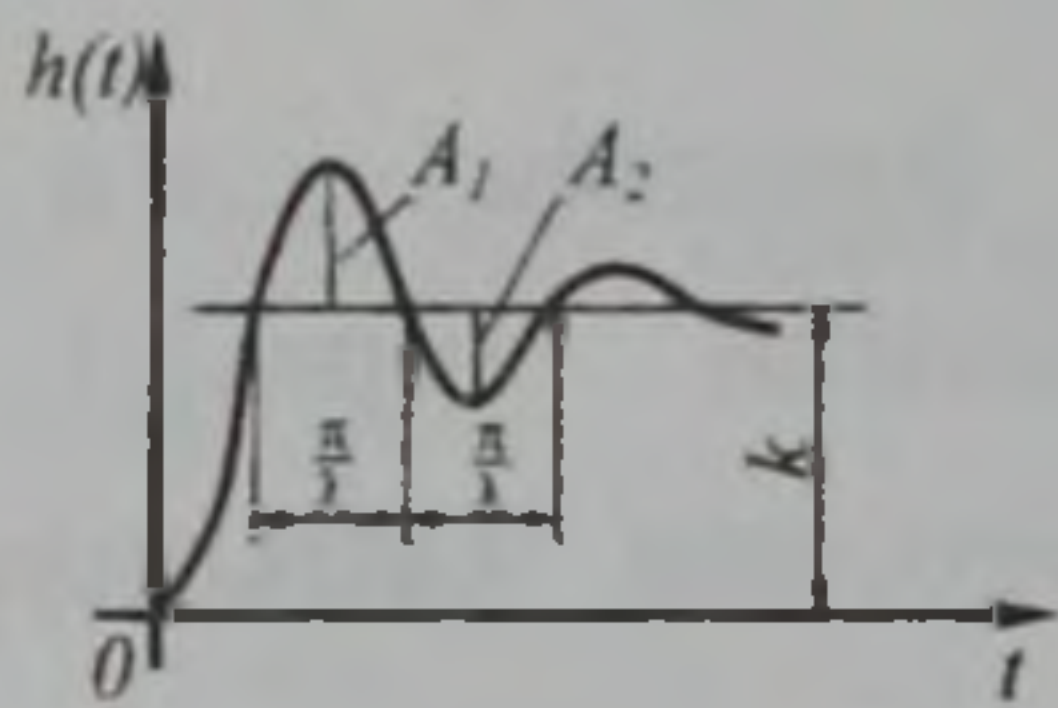
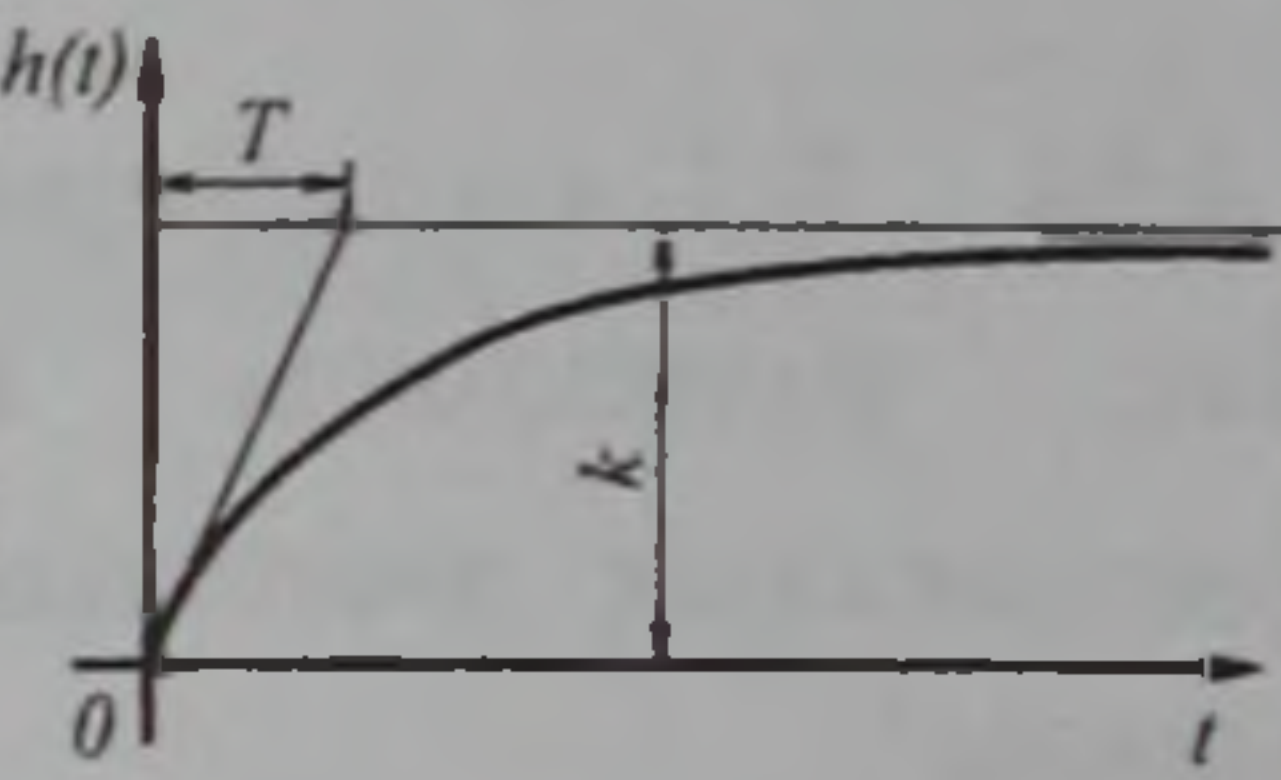
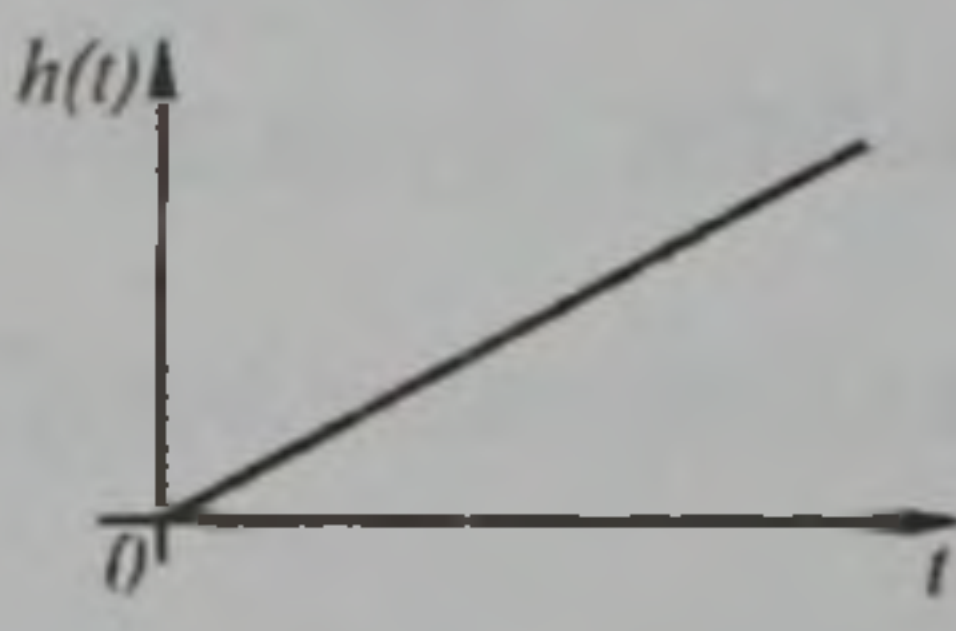
&86. 8.1-кестесінде көрсетілген функциялардың қайсысы беріліс функциясы $W(p) = \frac{k}{1+2\zeta Tp+T^2p^2}$ болған екінші тәртіпті апериодикалық звеноның өткінші процесінің функциясы болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&87. 8.1–кестесінде көрсетілген функциялардың қайсысы беріліс функциясы $W(p) = \frac{k}{p}$ болған идеалды интегралдаушы звеноның өткінші процесінің функциясы болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

8.1– кесте – Өткінші процестердің функциялары

<p>A)</p>  $h(t) = k \left(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}} \right) \cdot 1(t)$	<p>B)</p>  $h(t) = k \cdot 1(t)$
<p>C)</p>  $h(t) = k \left[1 - e^{-\gamma t} \left(\cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \sin \lambda t \right) \right] \cdot 1(t)$	<p>D)</p>  $h(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \cdot 1(t)$
<p>E)</p>  $h(t) = k(1 - \cos qt) \cdot 1(t)$	

&88 8.21–суретте АБЖ-лардың сипаттаушы теңдеулерінің p_i түбірлерінің кешенді жазықтықта орналасуы нүктелермен көрсетілген, Түбірлердің нақты және жорамал құраушыларының

өстері $Re p_i$ және $Im p_i$ түрінде белгіленген. Автоматтық жүйенің қайсысы орнықты болып табылады?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&89. Гурвиц бойынша орнықты болған үшінші тәртіпті автоматтық жүйенің сипаттамалық теңдеуінің коэффициенттерінен құрылған квадраттық матрицаны анықта.

Жауаптары:

A)
$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_2 & a_3 & 0 \\ a_3 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

B)
$$\begin{bmatrix} a_0 & a_2 & 0 \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ a_2 & a_3 & 0 \end{bmatrix};$$

C)
$$\begin{bmatrix} a_0 & a_3 & 0 \\ a_1 & a_2 & a_2 \\ a_2 & a_1 & a_1 \end{bmatrix};$$

D)
$$\begin{bmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{bmatrix};$$

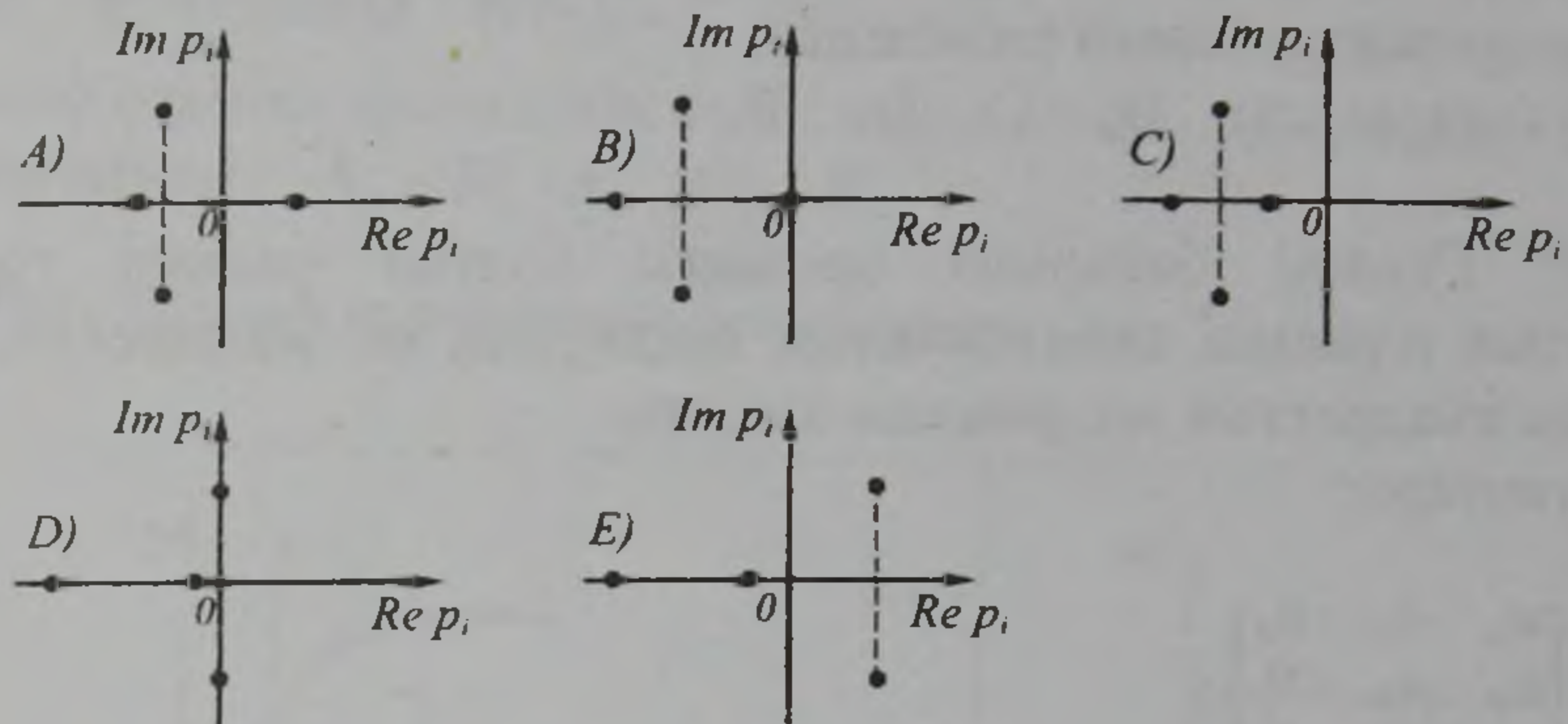
E)
$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_0 & a_1 & a_2 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{bmatrix}.$$

&90. Михайлов векторы (тұйықталған АБЖ-нің АФЖС -ы) $M(i\omega) = U(\omega) + iV(\omega)$. 8.22-суреттегі қисықсызықтардың қайсысы орнықты автоматтық жүйеге сәйкес келеді?

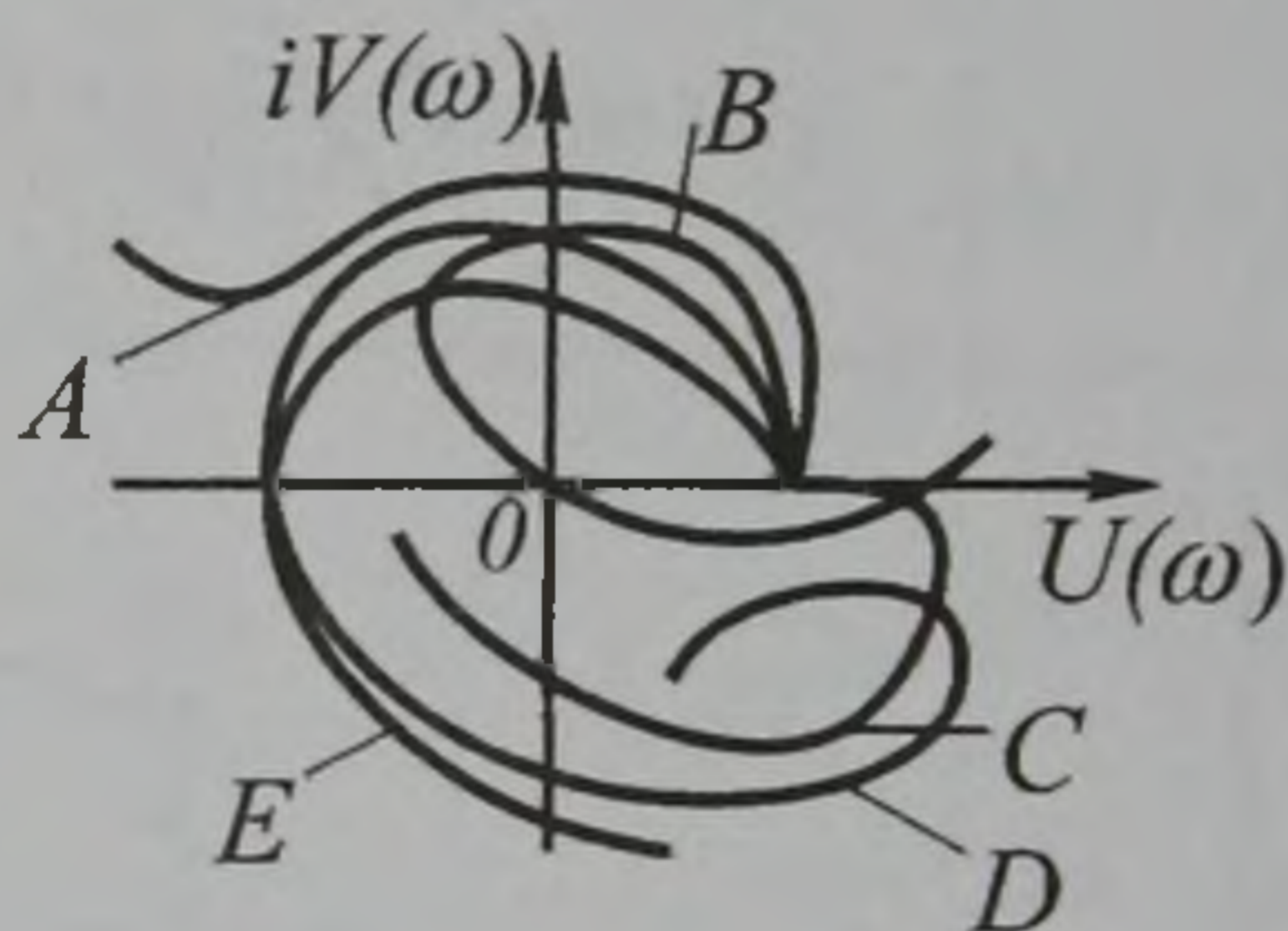
Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&91. Михайлов векторы (тұйықталған АРЖ-нің АФЖС -ы) $M(i\omega) = U(\omega) + iV(\omega)$. 8.22-суреттегі қисықсызықтардың қайсысы нейтральды (шекаралық) орнықты автоматтық жүйеге сәйкес келеді?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.



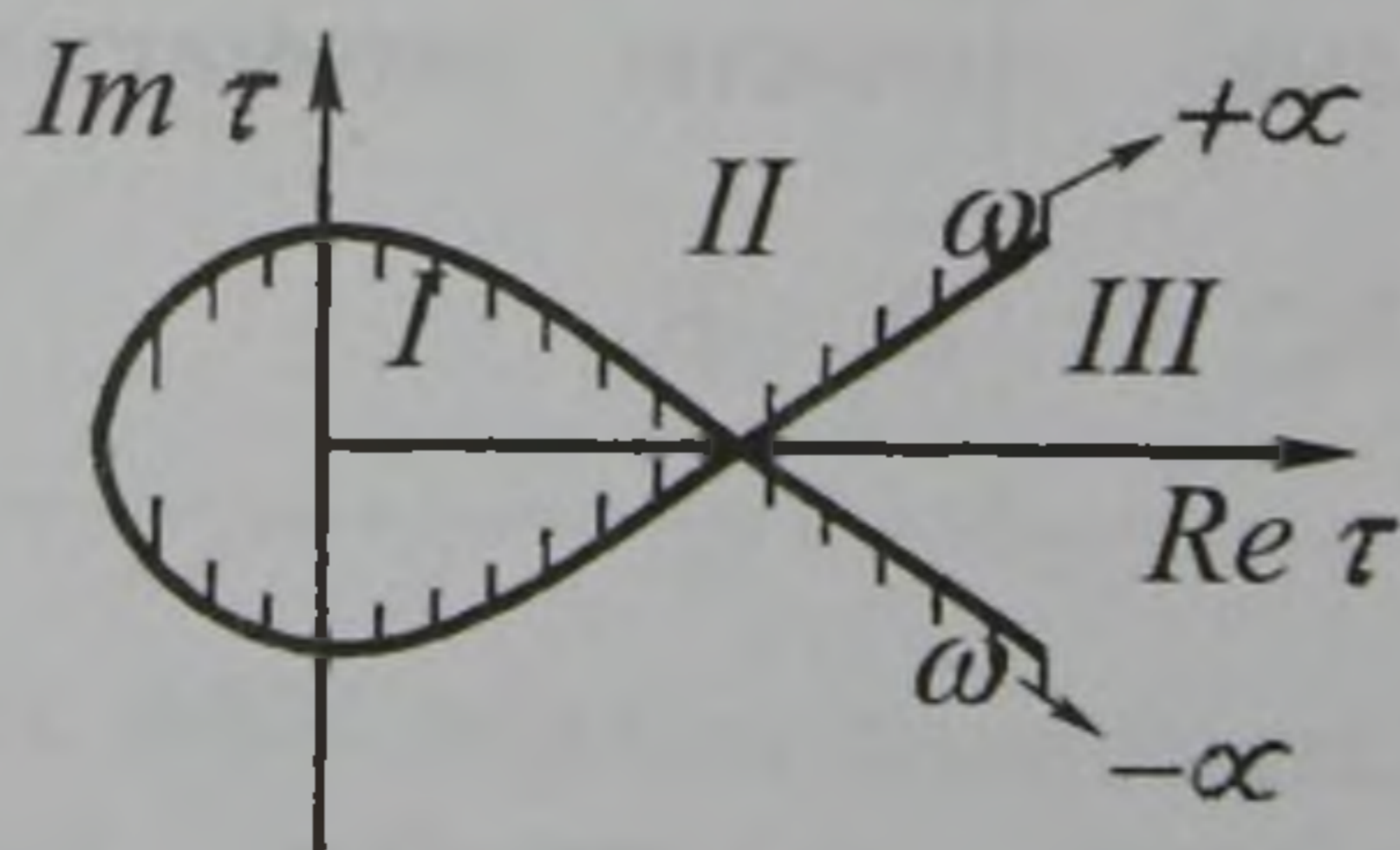
8.21 – сурет



8.22 – сурет

92. 8.23–суретте D-бөлудің τ параметрі бойынша шекаралары көрсетілген. Тұйықталған автоматтық жүйенің τ параметрі бойынша орнықтылық алқабын анықта.

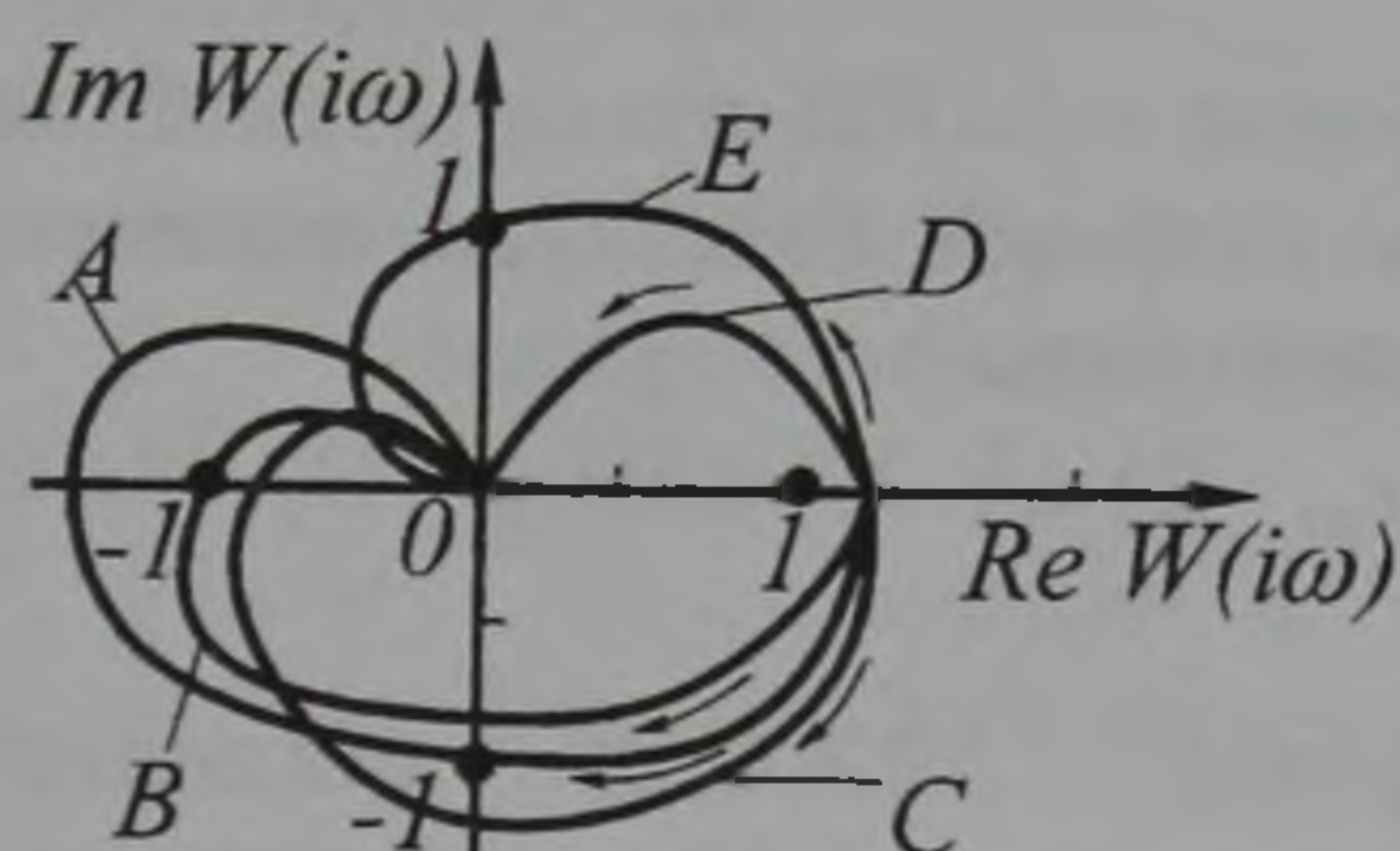
Жауаптары: А) I; В) I и II; С) I и III; D) II; Е) II и III.



8.23–сурет

&93. 8.24–суретте тұйықталмаған жүйелердің АФЖС-лары көрсетілген. Қисықсызықтардың қайсысы Найквисттің орнықтылық критеріі бойынша орнықты тұйықталған автоматтық реттеуші жүйеге сәйкес келеді?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.



8.24–сурет

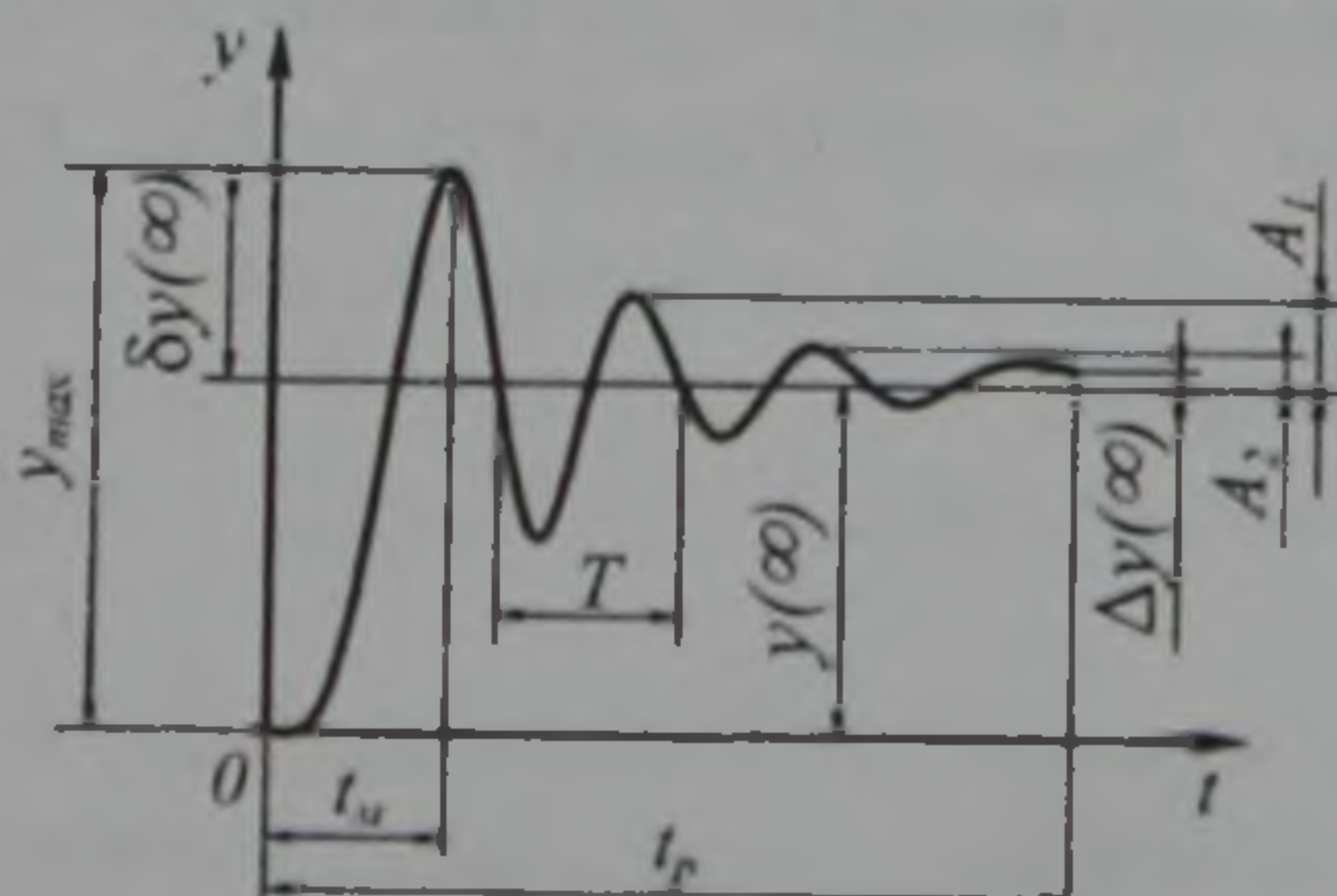
&94. 8.24–суретте тұйықталмаған жүйелердің АФЖС-лары көрсетілген. Қисықсызықтардың қайсысы Найквисттің орнықтылық критеріі бойынша нейтральды (шекаралы) орнықты тұйықталған автоматтық реттеуші жүйеге сәйкес келеді?

Жауаптары: А; В; С; D; Е.

&95. 8.25–суретте АРЖ-нің өткіншілік сипаттамасы көрсетілген. Басқару сапасын бағалауда параметрлердің қайсысы АРЖ-нің тезәсерлігін анықтайды?

Жауаптары:

- А) $\frac{\Delta y(\infty)}{y(\infty)}$; В) t_m ; С) t_p ; D) y_{max} ; Е) $\delta_y = \ln \frac{A_1}{A_2}$.



8.25–сурет

&96. 8.25–суретте АРЖ-нің өткіншілік сипаттамасы көрсетілген. Басқару сапасын бағалауда параметрлердің қайсысы АРЖ-нің орнықтылық қорын (запасын) анықтайды?

Жауаптары:

A) t_p ; B) $\delta = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)}$; C) y ; D) y_{max} ; E) $\delta_y = \ln \frac{A_1}{A_2}$.

&97. 8.25–суретте АРЖ-нің өткіншілік сипаттамасы көрсетілген. Басқару сапасын бағалауда параметрлердің қайсысы АРЖ-нің қателігін анықтайды?

Жауаптары: A) t_p ; B) t_n ; C) $\Delta y(\infty)$; D) $\frac{t_p}{T}$; E) $\delta_y = \ln \frac{A_1}{A_2}$.

&98. 8.25–суретте АРЖ-нің өткіншілік сипаттамасы көрсетілген. Басқару сапасын бағалауда параметрлердің қайсысы АРЖ-нің тербелістердің өшуін анықтайды?

Жауаптары: A) $\frac{\Delta y(\infty)}{y(\infty)}$; B) $\delta = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)}$; C) $\Delta y(\infty)$; D) $y(\infty)$;

E) $\delta_y = \ln \frac{A_1}{A_2}$.

&99. 8.25–суретте АРЖ-нің өткіншілік сипаттамасы көрсетілген. Басқару сапасын бағалауда параметрлердің қайсысы АРЖ-нің толық тербелістерінің санын анықтайды?

Жауаптары:

A) y_{max} ; B) $\frac{t_p}{T}$; C) $\delta_y = \ln \frac{A_1}{A_2}$; D) $\frac{\Delta y(\infty)}{y(\infty)}$; E) $\delta = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)}$.

&100. 8.25–суретте АРЖ-нің өткіншілік сипаттамасы көрсетілген. Басқару сапасын бағалауда параметрлердің қайсысы АРЖ-нің реттелінуші шаманың қалыптасқан мәнін анықтайды?

Жауаптары: A) y_{max} ; B) $y(\infty)$; C) y ; D) $\frac{\Delta y(\infty)}{y(\infty)}$; E)

$\delta = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)}$

ӘДЕБИЕТТЕР

1. *Бесекерский В. А., Попов Е. П.* Теория систем автоматического регулирования. – М. : Наука, 1975. – 992 с.; ил.
2. *Бесекерский В.А.* Теория систем автоматического управления: учеб. пособие. — СПб.: Профессия, 2007.
3. *Бесекерский В.А., Попов Е.П.* 4-е изд // Теория систем автоматического управления. — СПб.: Профессия, 2003.
4. *Болтянский В. Г.* Математические методы оптимального управления.—Киев:Выш.школа,1988.—423с.
5. *Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э.* Проектирование систем управления. — М.: Бином, Лаборатория базовых знаний, 2004.
6. *Дорф Р., Бишон Р.* Современные системы управления. — М.: Бином, Лаборатория базовых знаний, 2004.
7. *Егоров, А. И.* Основы теории управления: учеб. пособие. — М.: Физматлит, 2007.
8. *Зайцев Г. Ф.* Теория автоматического управления и регулирования. – Киев : Выш. школа, 1988. – 423 с.
9. *Зубов, В. И.* Лекции по теории управления: учеб. пособие. — СПб.: Лань, 2009.
10. *Кнорринг, В. И.* Теория, практика и искусство управления: учебник для вузов. — М.: Норма, 2007 (гриф МО РФ).
11. *Коденко М. И., Лебедев.А. Т.* Автоматизация тракторных агрегатов. – М. : Машиностроение, 1968. – 215 с.
12. *Крутов В. И.* Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания. – М. : Машиностроение, 1968. – 536 с.
13. *Мирошник И.В.* Теория автоматического управления. Линейные системы. — СПб.: Питер, 2005.
14. *Нуржауов А.* Исследование динамики гусеничного трактора класса 30–40 кН тяги и ресурса его планетарного механизма поворота: монография. – Павлодар : Издательство «Кереку», 2009. – 328 с.
15. *Нуржауов А.* Лабораторный практикум по курсу «Основы теории автоматического управления»: Методические указания для внутривузовского пользования. – Павлодар, 2008. – 54 с.

16. *Нуржауов А. Н., Коденко М. Н.* Динамика разгона машинно-тракторного агрегата с упругой сцепкой. Жилина (ЧССР) // Сборник трудов института инженеров транспорта 1975. С. 11 – 16.

17. *Нуржауов А. Н., Коденко М. Н.* Исследование влияния упругой сцепки на некоторые показатели разгона тракторного агрегата // Известия вузов. Машиностроение. 1975. № 4. С. 106 – 109.

18. *Нұржауов А.* Трактор теориясы негіздері: жоо үшін оқулық – Алматы : ҚР жоғары кеңесінің Баспаханасы, ҚР Білім министірлігінің республикалық баспа кабинеті, 1996. – 332 б.

19. *Нұржауов А.* Трактордың тарту күші динамикасы мен отын үнемділігі жоо үшін оқу құралы – Алматы : ҚР Білім министірлігінің республикалық баспа кабинеті. 1995.– 124 б.

20. *Нұржауов А.* Шынжыр табанды трактордың динамикасы және оны үдетіп сынау тәсілдемесі : монография. – Павлодар : «Кереку» баспасы, 2008. 346 б.

21. *Огвоздин, В. Ю.* Управление качеством. Основы теории и практики: учеб. пособие. — М.: Дело и сервис, 2009.

22. *Первозванский А.А.* Курс теории автоматического управления. — М.: Наука, 1986.

23. *Петров В. А.* Автоматические системы транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1974 г. – 336 с.

24. *Попов Е.П.* Теория линейных систем автоматического регулирования и управления.. — М.: Наука, 1989.

25. *Ружников Г.М.* Курс лекций по ТАУ.

26. *Сенигов П. Н.* Теория Автоматического Управления. Конспект лекций.

27. Тракторы: Теория : Учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы» / *В. В Гуськов и др.* : Под общей редакцией *В. В. Гуськова.* М.: Машиностроение, 1988. –376 с.

28. *Nurzhanov A. N., Daniel Cuadra, Wilmer Ramirez.* Arranque del lugar y aceleracion del conjunto del tractor. Managua // Revista cientifica de la Universidad Nacional de Ingenieria de la Republica Nicaragua. NEXO 1989. № 9. P. 15 –21.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	3
1 АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ МАҒЛҰМАТТАР	4
1.1 Автоматтық басқару жүйелерінің түрлері	4
1.2 Автоматтық басқару жүйелерінің ішкі динамикалық процестеріне қарап жіктелуі	9
2 АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ЗВЕНОВАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ	13
2.1 Автоматтық басқару жүйесінің беріліс функциясы	15
2.2 Автоматтық жүйенің звеноларының тендеулері	17
2.3 Автоматтық жүйенің жалпы тендеуін құру	29
2.4 Автоматтық жүйе звеноларының жиілік сипаттамалары	33
2.5 Автоматтық жүйелердің типтік динамикалық звенолары	37
2.5.1 Позициялық звенолар	37
2.5.2 Дифференциалдаушы және интегралдаушы звенолар	46
3 СТРУКТУРАЛЫҚ СХЕМАЛАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТҮРЛЕНДІРУ	51
3.1 Звеноларды тізбектеп жалғау	55
3.2 Звеноларды параллель жалғау	55
3.3 Звеноларды кері байланыстырып жалғау	56
4 АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЗВЕНОВАРЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ	62
4.1 Потенциометрлік датчиктердің статикалық сипаттамалары	62
4.1.1 Потенциометрлердің дәлдік қателері	64
4.1.2 Потенциометрдің сипаттамасын тәжірибе жүзінде анықтау	65
4.2 Автоматтық жүйелердегі өткінші процестердің графиктерін сызу	67
4.3 Автоматтық басқару жүйелерінің жиілік сипаттамаларын құру	71
4.4 Қадағалаушы жүйенің жиілік сипаттамасын тәжірибе жүзінде анықтау	75

5	ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫҚ ҚИСЫҚСЫЗЫҚТАРЫ БОЙЫНША ДИНАМИКАЛЫҚ ЗВЕНЛАРДЫҢ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕРІНІҢ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІН АНЫҚТАУ	80
5.1	Бірінші тәртіпті звено теңдеуінің коэффициенттерін тәжірибе жолымен анықтау	81
5.2	Екінші тәртіпті звено теңдеуінің коэффициенттерін тәжірибе жолымен анықтау	82
6	АВТОМАТТЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ	87
6.1	Автоматтық жүйенің орнықтылығының Раус-Гурвиц критерийі	87
6.2	Автоматтық жүйенің орнықтылығын D-бөлу әдісімен зерттеу	89
7	ТАРТУШЫ МАШИНАЛАРДЫҢ ТАРТУ КҮШІНІҢ ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАЙТЫН АВТОМАТТЫҚ ҚҰРАЛ	93
7.1	Қозғауыштың қуатын анықтайтын құрылым	95
7.2	Трактордың ілмек қуатын анықтайтын құрылым	96
7.3	Бөлуші құрылым	97
8	МЕЖЕЛІК БАҚЫЛАУ ҮШІН ТЕСТІЛІК СҰРАҚТАР ӘДЕБИЕТТЕР	99 127

НҰРЖАУОВ А.

**АВТОМАТТЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ
ТЕОРИЯСЫ**

Тәжірибелік сабақтар

*5B071300 – Көлік, көлік техникасы және технологиялары және
5B080600 – Аграрлық техника және технология мамандықтары
бойынша жоғары оқу орындарының студенттеріне арналған оқу-
әдістемелік құралы ретінде ұсынылған*

Пішімі 60x100 1/16
Тығыздығы 80 гр./м². Қағаздың ақтығы 95%.
Қағазы офсеттік. РИЗО басылымы.
Көлемі 132 бет. Шарқты баспа табағы 8.25



«Эверо» баспасында басылымға
дайындалды және басып шығарылды
ҚР, Алматы, Байтұрсынұлы к., 22.
тел.: 8 (727) 233 83 89, 233 83 43,
233 80 45, 233 80 42
e-mail: evero08@mail.ru