

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

Шалабаева Ақбөпе

Кондитерлік фабриканы автоматтандыру

Дипломдық жұмысқа
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200—«Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы



КОРҒАУҒА РҰҚСАТ

Кафедра меңгерушісі

Физика-математика кандидаты

Қауымдастырылған профессор

Н.У.Алдияров

«11» мамыр 2022 ж.

«Кондитерлік фабриканы автоматтандыру» тақырыбына

Дипломдық жұмысқа

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200 —«Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Орындаған:

Пікір беруші;

Доктор PhD доцент

Абжанова Л.Қ.

« 11 » 05 2022ж

Шалабаева А.А.

Ғылыми жетекші:

Техника және технология

магистрі, лектор

Мүсілімов Қ.Б.

магистрі, лектор

« 11 » 05 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

5B070200 - «Автоматтандыру және басқару» мамандығы



ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ

Кафедра меңгерушісі

Физика-математика кандидаты

Қауымдастырылған профессор

Н.У.Алдияров

« » мамыр 2022 ж.

**Дипломдық жұмысты дайындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Шалабаева А

Жұмыстың тақырыбы: «Кондитерлік фабриканы автоматтандыру»

Университеттің «27» қаңтар 2022 жылғы ғылыми кеңесінің № 762-б шешімімен бекітілген.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзім «17» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: жұмысты орындау барысындағы жиналған мәліметтер.

Түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтарының тізімі мен қысқаша диплом жұмысының мазмұны:

а) кіріспе;

б) технологиялық бөлім, арнайы бөлім;

в) есептік бөлім.

Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажет сызбалар көрсетілген): функционалдық сұлба, автоматтандыру сұлбасы

Ұсынылған негізгі әдебиеттер:

- 1 Бейсембаев А. А. Бейсызықты автоматты реттеу жүйелері оқу құралы
- 2 Бейсембаев А. А. Сызықты автоматты реттеу жүйелері оқу құралы

Дипломдық жұмысты даярлау

КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылған сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, Кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Технологиялық бөлім	3 ақпан 2022 ж.	
Арнайы бөлім	27 наурыз 2022 ж.	

Аяқталған дипломдық жұмыстың және оларға
қатысты диплом жұмысы бөлімдерінің кеңесшілері мен нормалық
бақылауының қолтаңбалары

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Есептік бөлім	Мүсілімов Қ.Б. техника және технология магистрі, лектор	22.04.2022	
Нормалық бақылаушы	Н.С.Сарсенбаев техн.ғыл.канд., Ассистент-профессор	27.04.2022	

Ғылыми жетекшісі  Мүсілімов Қ.Б

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы Шалабаева А.А.

Күні «27» қаңтар 2022 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста кондитерлік фабриканы автоматтандыру жүйесі қарастырылды. Оның ішінде қайталап қаптау процесіндегі конвейерлік таспаны басқару жүйесі құрылды. Осы жүйені автоматтандырудың функционалды сұлбасы әзірленді. Қозғалтқышқа арналған реттеу жүйесі әзірленіп, Matlab бағдарламасында модель құрылды.

Сондай-ақ кондитерлік өнеркәсіпте автоматты жүйелерді пайдалануға үлес қосу ретінде роботты қайталама қаптау жүйесі қарастырылды. Жүйе екі негізгі ішкі жүйеден тұрады: екі осьті басқарылатын роботтық қол және арнайы ұстағыш. Зерттеу шеңберінде негізгі қосалқы жүйелердің механикалық бөлігі және басқару жүйелерін жобалау жүзеге асырылды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается система автоматизации кондитерской фабрики. В том числе создана система управления конвейерной лентой в процессе вторичной упаковки. Разработана функциональная схема автоматизации данной системы. Разработана система регулирования для двигателя и создана модель в программе Matlab.

Также в качестве вклада в использование автоматических систем в кондитерской промышленности была рассмотрена роботизированная система вторичной упаковки. Система состоит из двух основных подсистем: роботизированной руки с двухосным управлением и специального держателя. В рамках исследования осуществлена механическая часть основных подсистем и проектирование систем управления.

ANNOTATION

In this thesis, the automation system of a confectionery factory is considered. Including the creation of the control system of the conveyor belt in the process of secondary packaging. The functional scheme of automation of this system was developed. Developed a control system for the motor and created a model in the Matlab program.

Also as a contribution to the use of automatic systems in the confectionery industry, a robotic system for secondary packaging was considered. The system consists of two main subsystems: a robotic arm with biaxial control and a special holder. The study carried out the mechanical part of the main subsystems and the design of control systems.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ	10
1.1 Тамақ өнер кәсібіндегі робототехника	10
2 АРНАЙЫ БӨЛІМ	15
2.1 Қайталап қаптау автоматтандырудың заманауи жағдайы	15
2.2 Қайталап қаптаудың роботталған жүйесі	16
2.3 ҚҚЖР операциялық күйінің моделі	21
2.4 Манипуляторды механикалық жобалау процедурасы	23
3 ЕСЕПТЕУ БӨЛІМ	28
3.1 Беріліс жүйесін модельдеу	28
3.2 Электромеханикалық модельдеу	29
3.3 Басқару жүйесінің аппараттық құралдары	31
3.4 Ток тізбегіндегі реттегіш параметрлерін орнату	33
3.5 Реттегіш тізбегінің параметрлерінің жағдайын орнату	36
3.6 Реттегіш тізбегінің параметрлерін орнату	39
Қорытынды	44
Пайдаланылған әдебиеттер	45

КІРІСПЕ

Соңғы жылдары халық тұтынатын тауарлар өндірісінде автоматты жүйелерді қолдану кеңінен тарады. Дегенмен, тамақ өнеркәсібі автоматтандыру және коммерциялық себептерге байланысты басқа салалар сияқты оңай қабылдаған жоқ. Адам баласы қанша икемді болса да, қиындықтар туындады. Сондықтанда адам баласы автоматтаныру жүйесін іске асырды.

Бұл дипломдық жұмыстың **мақсаты** кондитерлік өнеркәсіпте автоматты жүйелерді пайдалануға үлес қосу ретінде роботты қайталама қаптау жүйесі әзірленді. Жүйе екі негізгі ішкі жүйеден тұрады: екі осьті басқарылатын роботтық қол және арнайы ұстағыш. Зерттеу шеңберінде негізгі қосалқы жүйелердің механикалық бөлігін және басқару жүйелерін жобалау жүзеге асырылады. Жобалау процесінде классикалық жобалау әдістерін қолданудың орнына, заманауи компьютерлік жобалау және инженерлік құралдар қолданылады.

Жылдам дамып келе жатқан тұтыну тауарлары өнеркәсібінің негізгі бөлімшелерінің бірі болып табылатын азық-түлік өндірісі автоматты жүйелерді әзірлеушілер мен интеграторлар үшін тартымды салаға айналууда. Соңғы он жылда тамақ өнеркәсібінде робототехниканы қолдану кеңейді және жаңа, қызықты қосымшалар жиі пайда болды. Автоматты басқару, өңдеу, қаптау, кесу және өнімді жалпы өңдеу - роботтарды пайдалануды автоматтандыру үшін қызығушылықтың негізгі бағыттары болып табылады.

Жұмыстың өзектілігі. Кондитер өнеркәсібінде автоматты жүйелерді орнатумен байланысты ең айқын себептер:

- Еңбек ресурстарын үнемдеу;
- Тиімділікті арттыру;
- Сапасының жақсаруы;
- Суық және қолайсыз жағдайларда жұмыс істей білу;
- Өнімділікті арттыру және шығынды азайту;
- Икемділіктің жоғарылауы;
- Адам жұмысының азаюы.

Жұмыстың тапсырмалары. Берілген дипломдық жобада кондитерлік өндірістің автоматтандырылуы қарастырылған. Технологиялық бөлімде кейбір азық-түлік өнімдерін кондитерлік өнімді пісіру процесі қамтымайтыны ескертілген. Жалпы тағамдық өндірісті 6 процеске бөлу көрсетілген.

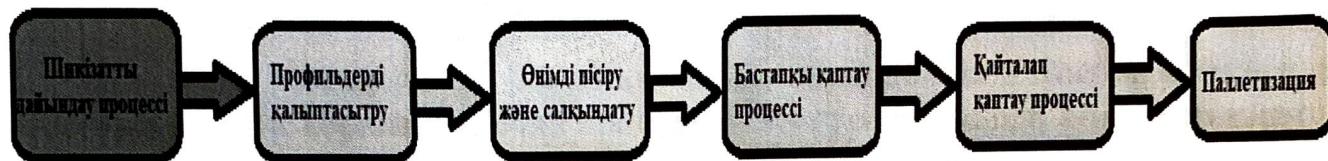
Арнайы бөлімде алып отырған объектісі қайталап қаптауды автоматтандырудың заманауи жағдайы әзірленген. Автоматтандырылған қайталап қаптау жүйесінің қалай жұмыс істейтіндігі, қайталап қаптаудың кірісі мен шығысы туралы мәліметтер көрсетілген.

Есептеу бөлімінде қолды басқарудың роботтық жүйе дизайны сипатталған. Бұл тарауда беріліс жүйесін механикалық және электромеханикалық модельдеу, басқару жүйесінің параметрлерін реттеу көрсетілген.

1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ

1.1 Тамақ өнеркәсібіндегі робототехника

Тамақ өнеркәсібіндегі автоматтандыру қолданылуын талқылауға көшпес бұрын, тамақ өндірісіндегі іргелі процестерді түсіну тиімді. Кейбір азық-түлік өнімдерін өндіру кондитерлік өнімін пісіру процесін қамтымайтынын ескере отырып, жалпы тағамдық өндіріс процесін 1.1 - суретте көрсетілгендей пісіру процесін қоса алғанда, алты негізгі процеске бөлуге болады:



1.1 Сурет – Тамақ өндірісіндегі негізгі процестер

Бастапқы, қайталап қаптау және паллеттеу жоғары автоматтандырылған салалар болғандықтан, бұл процестерге ерекше назар аударылады. Әдеттегі тамақ өндірісіндегі алғашқы үш процесс шикізатты дайындау, пішіндеу, пісіру және салқындату болып табылады. Шикізатты дайындау процесі шикізатты алдын ала өңдеуді және өндіріске қажетті қоспаларды дайындауды қамтиды. Әдетте, бұл кезеңде автоматты жүйелері мен араластырғыштар қолданылады. Шикізатты дайындағаннан кейін шикізатты қажетті пішінге келтіру үшін арнайы экструдерлер және әшекейлеу машиналары қолданылады. Қалыптастырылған өнімдерді пештерде пісіреді және бастапқы қаптау процесіне дейін ұзын таспаларда салқындатады [1].

Бастапқы қаптау өнімді тікелей қаптауға болатынын білдіреді. 1.2 – суретте өнімнің бастапқы қаптау процесінен кейінгі күйі көрсетілген. Ол өнімнің тазалығы мен тұтастығын қорғау үшін қажетті ылғалға, буға немесе кез келген ластаушы материалға беріктік пен тосқауылдың көп бөлігін қамтамасыз етеді. Бұл қорғау өнім өндіріс желісінен шыққан сәттен басталып, тұтынушы тұтынғанға дейін жалғасады.

Негізінде, әдеттегі бастапқы қаптау процесінде бастапқы қаптама машиналарының екі түрі қолданылады. Бұл машиналардың бірінші түрі, құю машинасы өнімнің алдын ала белгіленген салмағын немесе мөлшерін өлшейді және оны қаптама түріндегі қапшыққа толтырады. Екінші түрі қаптама машинасы өнімді иілгіш материалмен қаптайды. Бұл машиналарды қаптаудың әртүрлі түрлері бар өнімдерді өндіру үшін алмастыруға болады.



1.2 Сурет – Бастапқы қаптаудан кейінгі өнімнің жағдайы

Қайталап қаптау - бұл бастапқы қаптау процесінде алынған өнімді алу және оны картон қораптарға салу процесі. 1.3 – суретте дайын өнімі бар картон қорап көрсетілген. Қайталап қаптау өнімге қосымша беріктік беріп қана қоймай, оны тасымалдау кезінде де қорғайды. Соңғы процесс - паллетинг. Қайта қаптау процесінде алынған картон қораптар паллеттерге салынып, өндірістің осы кезеңінде қоймаға жеткізіледі.

Мәліметтерге кіріспес бұрын, "робот" ұғымына қысқаша сипаттама мен анықтама беру керек, өйткені роботтарды анықтауға әртүрлі тәсілдер бар. Британдық роботтар қауымдастығының пікірінше, "өнеркәсіптік робот - бұл белгілі бір өндірістік тапсырмаларды орындау үшін өзгермелі бағдарламаланған қозғалыстар арқылы бөлшектерді, құралдарды немесе белгілі бір өндірістік жабдықты басқаруға және тасымалдауға арналған қайта бағдарламаланатын құрылғы" [1].



1.3 Сурет – Қайта қаптаудан кейінгі өнімнің жағдайы

Халықаралық стандарттау ұйымы (ISO) роботты келесідей анықтайды: «Автоматты басқарылатын, қайта бағдарламаланатын, көп мақсатты, көп еркіндік дәрежесі бар манипуляциялық машина, ол орнында бекітілетін немесе

өнеркәсіптік автоматтандыру қолданбаларында пайдалану үшін жылжымалы». Басқа елдерде және олардың ұлттық ұйымдарында әртүрлі анықтамалар болғанымен, жалпы алғанда роботтарды “қозғалуға икемді қабілеті бар, тірі тіршілік иелерінің қозғалатын бөліктерін еске түсіретін және интеллектуалды функциялары бар заттар ретінде анықтауға болады”. Тамақ өнеркәсібіндегі роботтық жүйелердің ең алғашқы қолдануларының бірі 1980 жылдары шоколадтарды науаға салуға арналған. Бұл жүйелер коммерциялық емес, тәжірибелік болды және оларды кондитерлік өнімдер мен жабдықтарды шығаратын өте аз компаниялар пайдаланды [18].

Өңдеу өнеркәсібіне келетін болса, роботтарды қолдану қазір нақты өндіріс жүйелерінде, негізінен материалды өңдеу, бастапқы және қайталап қаптау және паллеттеу операциялары салаларында кеңінен қабылданады. Бастапқы қаптау операциясы әдетте бүкіл процесстегі ең жылдам операциялардың бірі болып табылады. Мысалы, минутына 2000 жеке азық-түлікті қаптауға болады. Өндіріс жылдамдығы максимум, өйткені өнімнің ең қарапайым бір формасы бар. Өнім көп жағдайда процестің осы сатысында ашылатындықтан, ол көбінесе микробиологиялық тұрғыдан сезімтал және оны аса сақтықпен өңдеу керек. Сондықтан, азық-түлік өнімдерін бастапқы қаптамада роботтық жүйелерді пайдалану қиын, өйткені мұнда жылдамдықтар жоғарырақ және өнім сапа мен қауіпсіздік тұрғысынан ең осал болуы мүмкін. Печенье және шоколад сияқты өзін-өзі қамтамасыз ететін өнімдер үшін жағдай онша маңызды емес, бірақ дайын пирогтар, кондитерлік өнімдер және ет өнімдері үшін өнімнің қауіпсіздігі тұрғысынан ең маңыздысы бастапқы қаптама болып табылады.

Әдеттегі азық-түлік өндіру желісінде қайталап қаптау процесінде 12, 18, 24 немесе 36 жеке немесе көп қаптамаға қапталған өнімдерді қамтитын жәшіктерді таба алады. Бұл жәшіктер әдетте 10-20/мин жылдамдықпен толтырылады. Жәшіктерді толтыру операциясы бірнеше түрлі жолдармен жүзеге асырылуы мүмкін: қолмен, стационарлық автоматиканың көмегімен немесе роботты жүйелердің көмегімен. Келесі себептерге байланысты қайталап қаптау процесінде роботты жүйелерді пайдалану ұсынылады:

- өңделетін материал реттелген түрде ұсынылуы мүмкін;
- өнім салыстырмалы түрде қалыпты пішінге ие;
- тазалықа байланысты мәселенің аздығы;
- уақытты үнемдеу.

Паллеттеу процесінде паллет орташа және ірі зауыттарда әдетте бірнеше минут сайын өндіріс желісінің соңынан шығарылады. Осылайша, минутына осы бірлік санын автоматты түрде өңдеу өте қиын емес, егер ақаулық туындаса, оны үлкен мәселесіз шешуге болады. Қолданылатын жүйелерге роботты немесе стационарлық паллетизаторлар және жүктерді тиеу немесе оларды қоймаға жылжыту үшін пайдаланылатын автоматтандырылған басқарылатын көліктер жатады. Жүйенің күрделілігі мен автоматтандыру деңгейі инвестициялық мәселелер мен қажетті икемділік сияқты факторларға байланысты [1, 5].

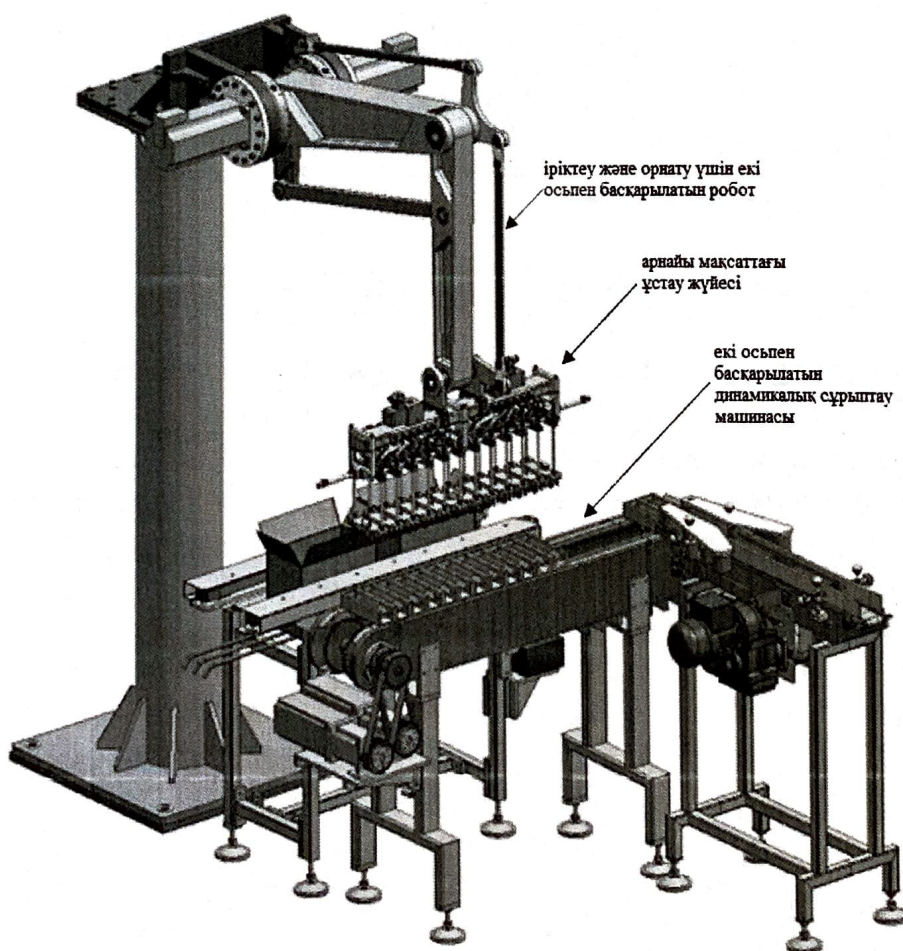
Сандық компьютерлер мен басқару жүйесі технологияларының қарқынды дамуымен қатар, ақылды және арзанырақ роботтық қосымшалар мүмкін және қолжетімді болды.

Дегенмен, азық-түлік өндірушілері автомобиль және электроника сияқты басқа салаларға қарағанда, бұл жаңа технологияны қабылдауға әлі де тартынбайды. Қазіргі уақытта тамақ өнеркәсібі әлі де білікті кадрлармен орындалатын тапсырма болып табылады. Бұл фактінің себептерін екі санатқа бөлуге болады: техникалық және коммерциялық қиындықтар.

1.4 - суретте көрсетілген қайталап қаптау жүйесінің роботизациясы (ҚҚРЖ) үш негізгі ішкі жүйемен ұсынылады, атап айтқанда:

- динамикалық сұрыптау машинасы,
- таңдау және орналастыру үшін роботты қол,
- арнайы ұстағыш блок.

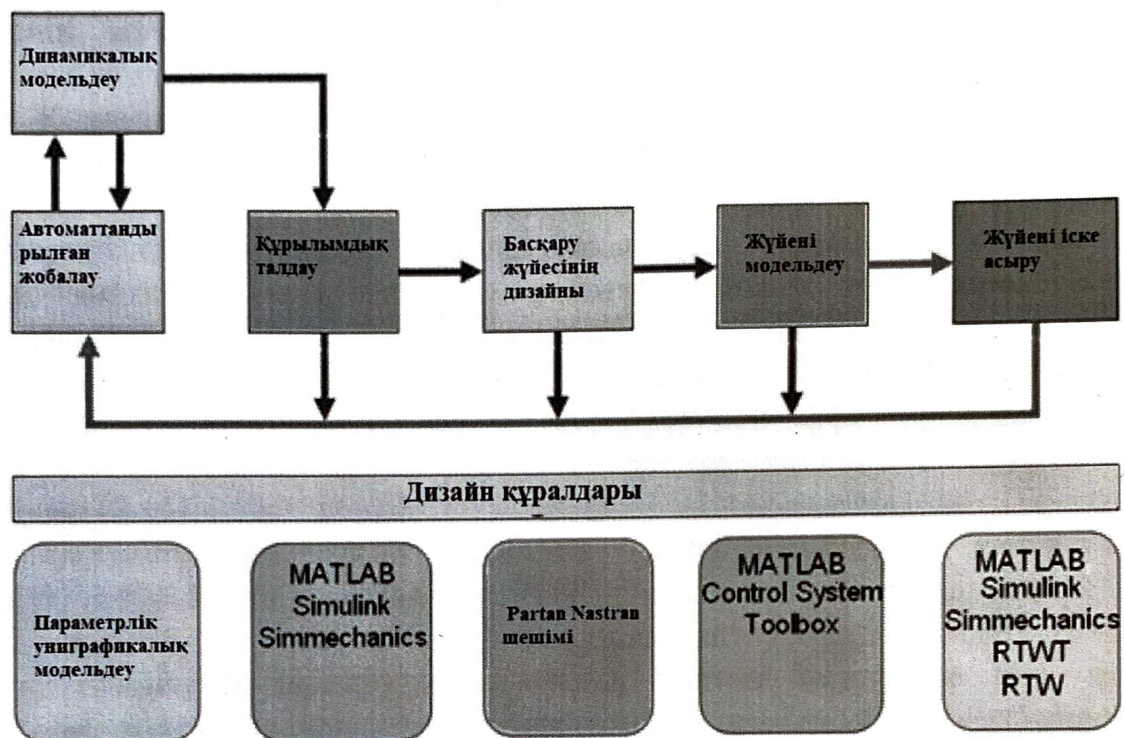
Осы зерттеудің бір бөлігі ретінде механикалық жүйелер мен роботтық қолдың және конвейерді басқару жүйесін жобалау жүзеге асырылды. 1.5 - суретте көрсетілген роботты қолды жобалау процедурасы классикалық жобалау әдістерінен иіннің механикалық конструкциясы мен оны басқару бағдарламалық құралы арасындағы кері байланысты қамтамасыз ететіндігімен ерекшеленеді [16].



1.4 Сурет – Қайталап қаптау жүйесінің роботизациясы

Роботты қолды жобалау жүйелі дамуды және заманауи дизайн құралдарын қолдануды қажет етеді. Таза механикалық дизайннан бастап роботты қолды жобалау бөлек итеративті кезеңдерде жүзеге асырылады [2].

Динамикалық параметрлерді алу үшін динамикалық модельдеу кезеңі. Роботтық қолдың динамикасын модельдеу үшін MATLAB/Simulink және SimMechanics блоктарының жиынтығы пайдаланылады [13, 15].



1.5 Сурет – ҚҚЖР-да роботталған қолды жобалау тәртібі

Роботтық жүйелерді жасау процесінің басқа әзірлеу процестерінен айырмашылығы, ол көптеген тығыз байланысты инженерлік салаларды қамтиды. Айта кету керек, дұрыс контроллер құрылысты арзандататын болса да, нашар жобаланған механикалық жүйе күрделі контроллерді қосу арқылы ешқашан жақсы өнімділікке қол жеткізе алмайды. Сондықтан жұмысты әзірлеу кезеңінде роботты жүйенің өнімділігіне тікелей байланысты механикалық параметрлерді анықтауға ерекше көңіл бөлінеді [2, 15].

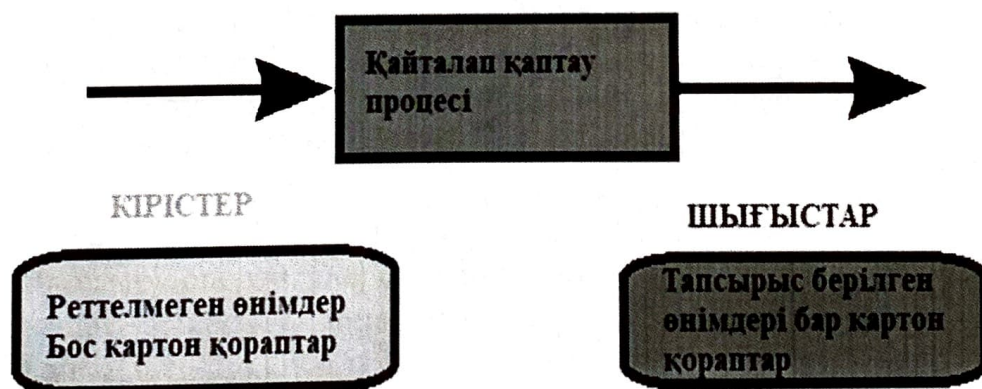
2 АРНАЙЫ БӨЛІМ

2.1 Қайталап қаптау автоматтандырудың заманауи жағдайы

Бұл тарауда әзірленген роботты қайталап қаптау жүйесі және оның негізгі құрамдас бөліктері берілген және тапсырманы орындау үшін олардың қалай ұйымдастырылғандығы сипатталған. Жалпы басқару архитектурасы мен жүйенің жұмыс күйінің үлгісі және автоматтандырудың функционалды сұлбасы әзірленген.

Кондитер өндірісінде робототехниканы қолданудағы соңғы жетістіктерге қарамастан, кондитер өнеркәсібіндегі қайталап қаптау процестерін әдетте біліктілігі жоқ қызметкерлер орындайды. Бұл фактінің кейбір техникалық және коммерциялық себептері 1-бөлімде талқыланды. Тізімделген қиындықтардан басқа, қайталап қаптау процесі роботты басқару тұрғысынан қосымша қиындықтарды тудырады. Адамның жылдамдығымен, икемділігімен салыстырғандағы қиындықтар, өнімнің өзгермелі сипаты мен саны, жоғары өндіріс көлемі және тиісті роботтық құралдар мен эффекторлардың жоқтығы әлі күнге дейін кондитер өнеркәсібінде робототехниканы қолдануға кедергі келтіреді [7,14].

Автоматтандырылған қайталап қаптау жүйесінің қалай жұмыс істейтінін түсіну үшін қайталап қаптау процесін толығырақ қарастыру қажет. Алдыңғы тарауда талқыланғандай, қайталап қаптау - бұл өнімдерді бастапқы қаптау процесінен шығару және оларды картон қораптарға салу процесі. Қайталап қаптау тасымалдау кезінде оларды қорғау болып табылады. 2.1 суретте – қайталап қаптау процесінің кірісі мен шығысы көрсетілген [3].



2.1 Сурет – Қайталап қаптау процесінің кірісі мен шығысы

Суретте көрініп тұрғандай, қайталап қаптау процесіне кіріс бастапқы қаптау процесінен келетін өнімдер және бос картондар болып табылады. Шығыс - тапсырыс берілген өнімдері бар картон қораптар.

Дүниежүзілік нарықта қаптамаларды автоматтандырудың шешімдерін ұсынатын көптеген компаниялар бар. Олар: OPM, SIG, Delkor Systems, AMF

Automation, Blueprint Automation Group. Бұл автоматтандыру шешімдерінің азы негізінен тамақ өндірушілерімен қолданылады. Мұның негізгі себептері аталған жүйелердің икемділігі, беріктігі және сенімділігі болып табылады. Осы компаниялардың шешімдерін мұқият қарау қайталап қаптауды автоматтандырудың қазіргі заманғы жағдайы туралы жалпы түсінік алу үшін пайдалы болады.

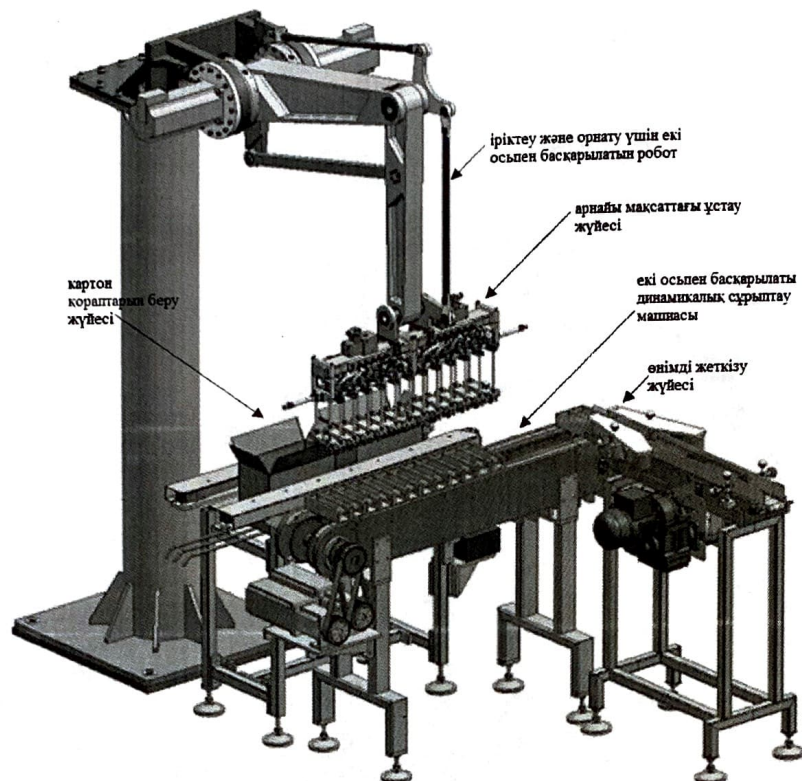
Әртүрлі компаниялардың қайталап қаптау автоматтандыру жүйелерін талдағанда, толық автоматтандырылған қайталап қаптау автоматтандыру жүйесі бірнеше бөлекке бөлінеді. Мамандандырылған сұрыптау машинасы өнімдерді бастапқы қаптау процесінен роботты өңдеуге дайындаса, робот немесе мамандандырылған қысқыштармен және вакуум жүйесі сияқты басқа перифериялық құрылғылармен жабдықталған роботтар өнімдерді алып, картон қораптарға салады. Бастапқы және қайталап қаптау жүйелері автоматтандырылған қаптау желісін құру үшін біріктірілген.

2.2 Қайталап қаптаудың роботталған жүйесі

ЕТ TUTKU өндірістік желісінің қайталап қаптаудың автоматтандыруға жаңа қайта қаптау жүйесі, өнімдер мен картон қораптарын жеткізуге арналған. Бастапқы қаптау процесінен келетін өнімдерді өңдеуге дайындауға және оларды картон қораптарға салуға арналған бірнеше бөлек ішкі жүйелерден тұрады. Жетектерді, пневматикалық жабдықты және басқару жүйесінің жабдықтарын қоспағанда, барлық компоненттер ET Machinery Industry and Trade Co кәсіпорындарында шығарылады және жиналады. 2.2 – суретте үш өлшемді CAD-ҚҚЖР көрінісі көрсетілген.

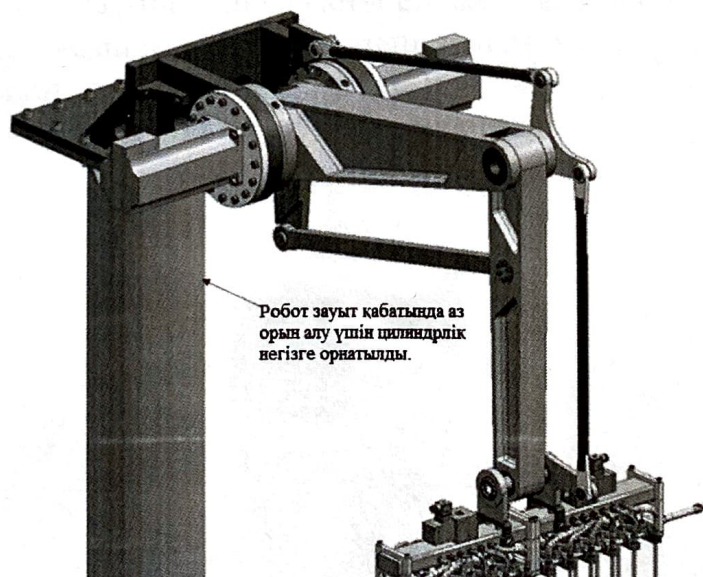
Қайталап қаптау жүйесі келесі компоненттерден тұрады:

- екі осьті болып табылатын динамикалық сұрыптау машинасы;
- минутына 240 өнімнің максималды жылдамдығымен сұрыптау;
- манипуляция жиілігімен таңдау және төсеу үшін екі осьпен басқарылатын роботты манипулятор;
- минутына 20 цикл;
- бір цикл үшін 12 бөлікті түсіру мүмкіндігі бар түсіру блогы және іріктеу және орналастыру операциялары кезінде топтау әрекеттерін орындайды;
- басқару жүйесінің аппараттық құралы және қозғалысты басқарудың орталық блогы;
- басқару бағдарламалық қамтамасыз ету және дәл басқару үшін бағдарламалық сигналдарды іске асыру жүйесі бар.



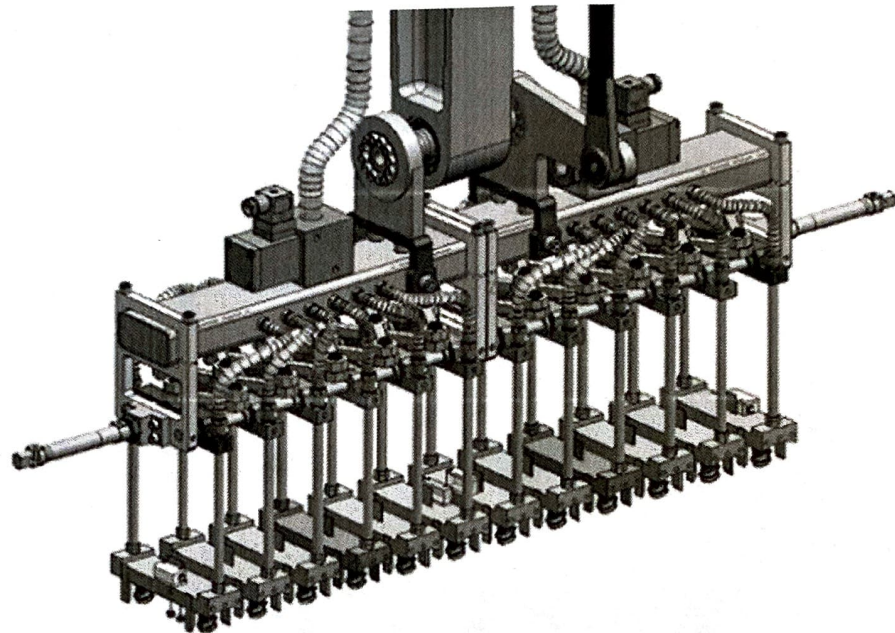
2.2 Сурет – ҚҚЖР CAD көрінісі

Қайталап қаптау жүйесінде таңдау және орналастыру операциясы екі ось бойымен басқарылатын және арнайы ұстау жүйесімен жабдықталған роботты қолмен орындалады. 2.3 - суретте көрсетілгендей, зауытта аз орын алу үшін роботты қол цилиндрлік негізге орнатылған.



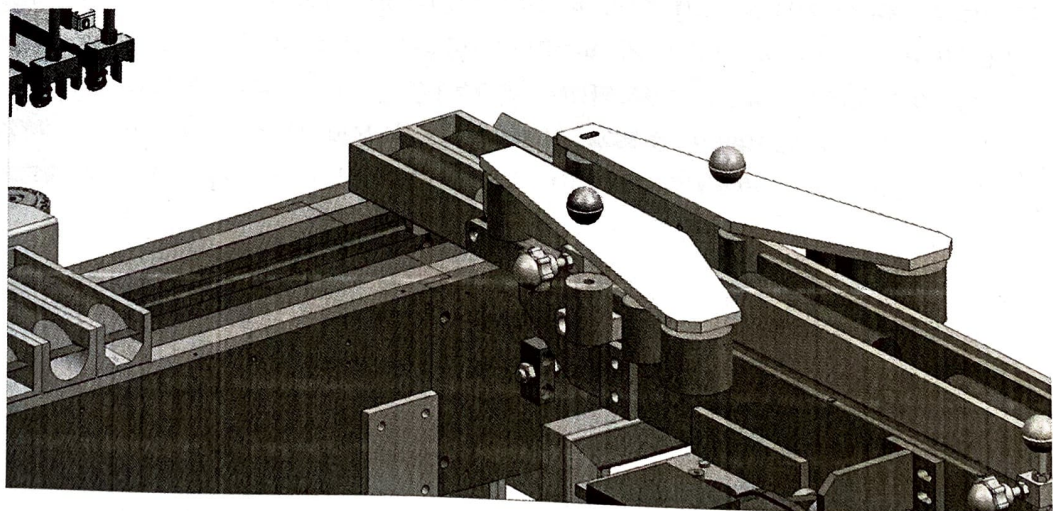
2.3 Сурет – Жүктерді жинауға және орналастыруға арналған екі осьті басқарылатын роботтық қол

Жүйенің басқа негізгі құрамдас бөлігі - түсіру. Роботтық қол өнімдерді алу үшін арнайы жасалған қысқышпен жабдықталған. Ұстау күші үшін дифференциалды қысым принципі пайдаланылды. Тұтқа геометриясы ЕТ TUTKU өнімі үшін арнайы әзірленген. 2.4 - суретте түсірудің изометриялық көрінісі көрсетілген.

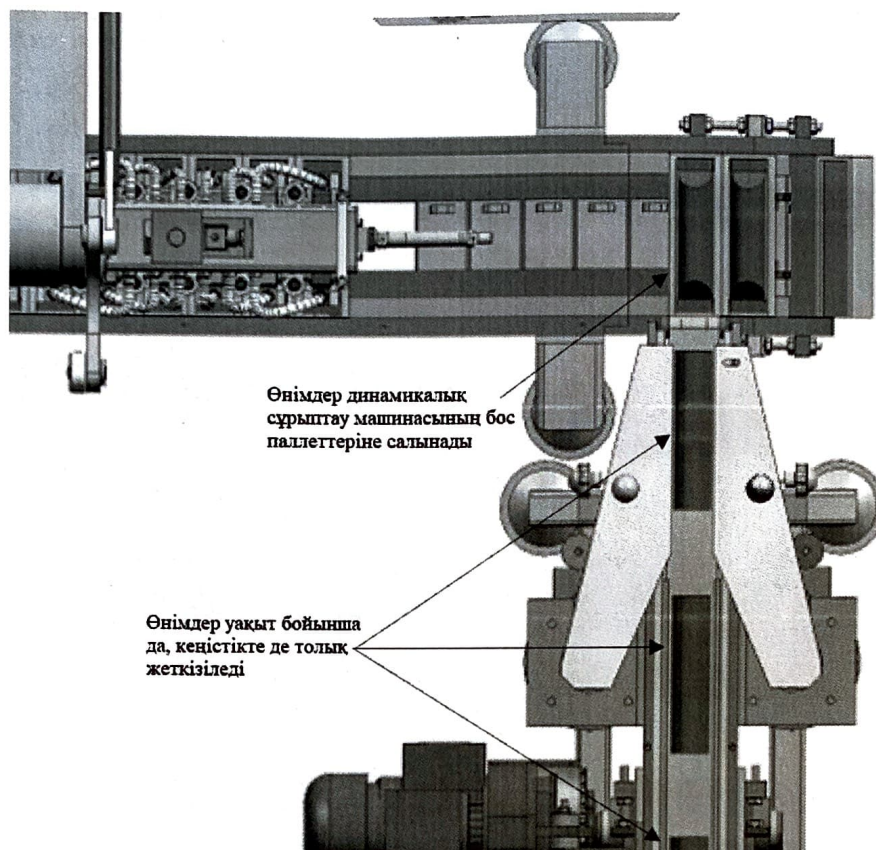


2.4 Сурет – Түсіру жүйесінің изометриялық көрінісі

ҚҚЖР жұмыс істеу принципі келесідей. Бастапқы қаптау процесінен кездейсоқ келетін өнімдер өнімді беру жүйесі арқылы динамикалық сұрыптау машинасына беріледі. Өнімді динамикалық сұрыптау машинасына беру өнімнің нәзіктігі мен сынғыштығына байланысты ең маңызды процестердің бірі болып табылады. Процесс кезінде пайда болатын динамикалық күштер өнімді оңай зақымдауы мүмкін. Сондықтан тапсыру процесі барынша мұқият қарастырылады және бұл процесс 2.5, 2.6 - суреттерде көрсетілген [16].

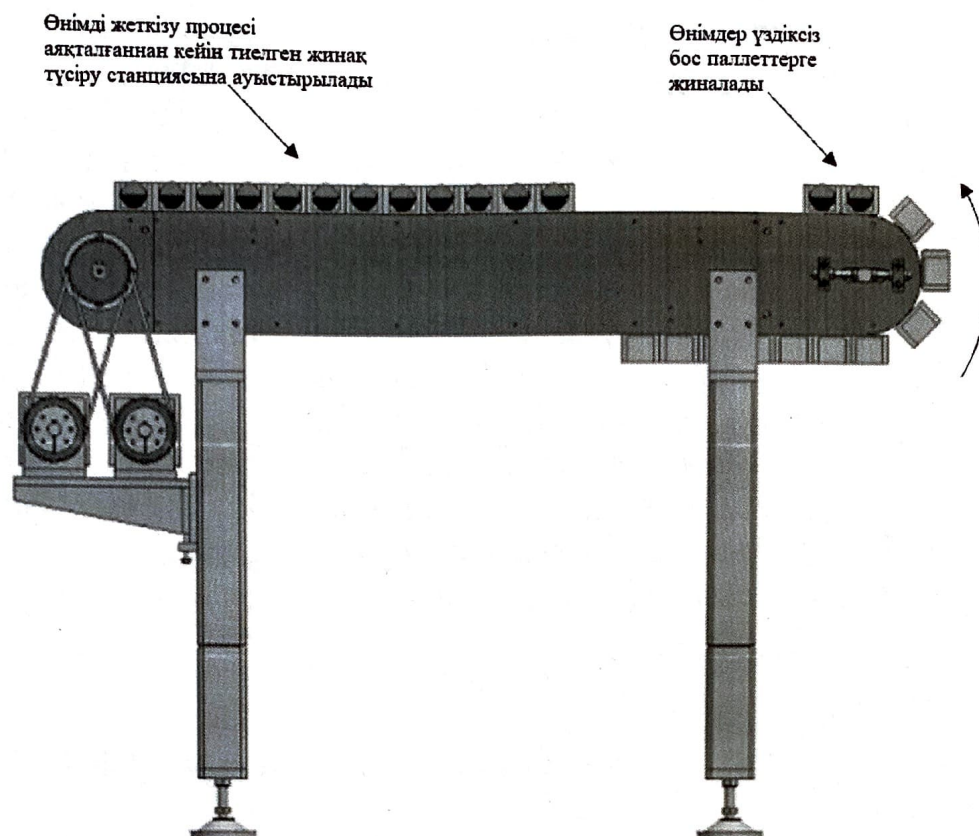


2.5 Сурет – Өнімді беру процесінің изометриялық көрінісі



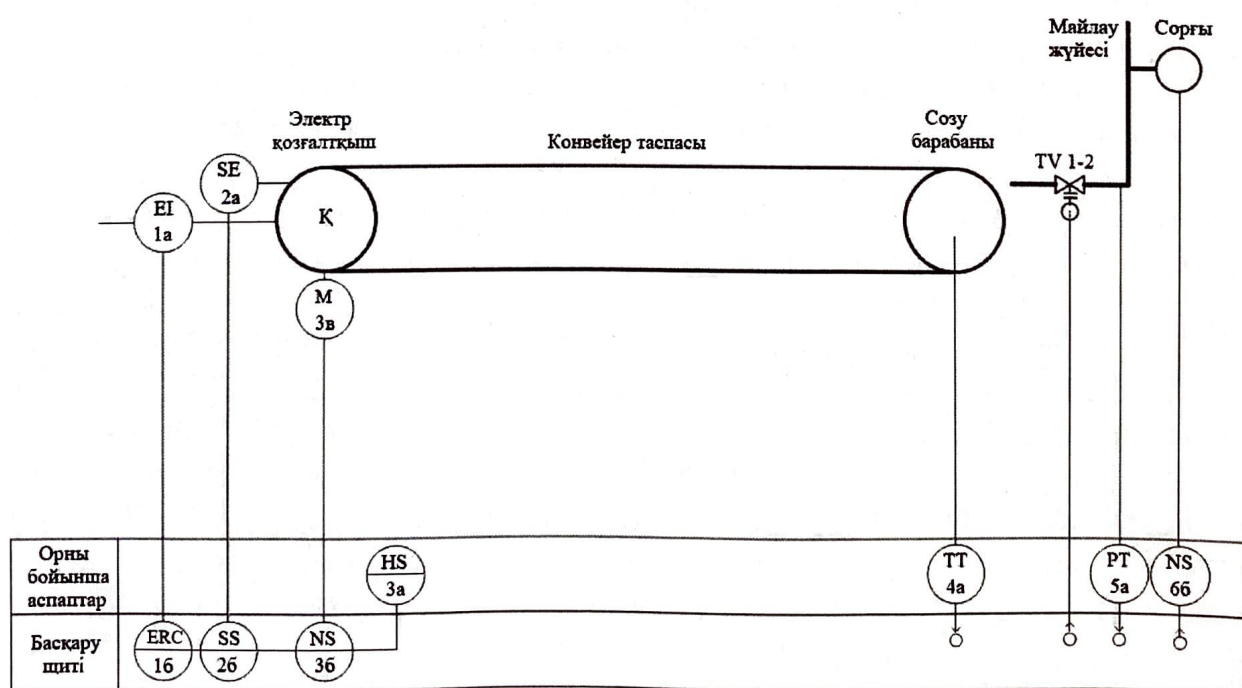
2.6 Сурет – Өнімді беру процесінің жоғарғы көрінісі

Өнімді жеткізу процесі аяқталғаннан кейін тиелген жинақ түсіру станциясына ауыстырылады. Содан кейін түсіру станциясындағы өнімдер жиналып, арнайы ұстағышпен жабдықталған роботты қолды қолданатын картон қораптары орналастырылады. Екі қорап бір уақытта толтырылады. Динамикалық сұрыптау роботының паллеттерінің бір жинағы түсіріліп жатқанда, беру процесі екіншісімен жалғасады. Түсіру аяқталғаннан кейін бос паллет жинағын тасымалдайтын ось, қазір жүктеліп жатқан басқа осьтің қозғалысымен беру процесі аяқталғанша және паллет толығымен тиелгенше синхрондалады. Динамикалық сұрыптаушы жұмыс істеп тұрғанша операция циклді түрде жалғасады. 2.7 - суретте динамикалық сұрыптау роботы оның паллеттерінің біреуі толығымен тиелген және «таңдау және орналастыру» операциясы үшін түсіру станциясына орналастырылған конвейерлік таспа көрсетілген [3, 4].



2.7 Сурет – Басқару объектісі ретіндегі конвейерлік таспа көрінісі

2.8 - суретте конвейерлік таспаны автоматтандырудың функционалды сұлбасы көрсетілген.



2.8 Сурет – Конвейерлік таспаны автоматтандырудың функционалды сұлбасы

Автоматтандырудың функционалды сұлбасын әзірлеудің мақсаты конвейерлік таспаның жылдамдығын реттеу арқылы автоматты басқару болып табылады. Ол үшін конвейерлік таспаны қозғалысқа келтіретін қозғалтқыш жылдамдығын реттеу қажет. Сол себепті қозғалтқышқа арналған ток реттегішін әзірлеу қажет. 1а позициясында орналасқан EI электрлік көрсеткіші ток күшін өлшейді. 2а позициясында орналасқан SE жылдамдық өлшеу датчигі өз кезегінде конвейерлік таспа жылдамдығын өлшейді. Егер конвейер жылдамдығы артып кетсе 1а позициясында орналасқан EI электрлік көрсеткіш сигналы 1б позициясында орналасқан ERC реттегішіне беріледі. Реттегіш ток күшін азайтып, 3б позициясында орналасқан NS магнитті қосқыш арқылы қозғалтқыш жылдамдығын азайтады және керісінше, конвейер жылдамдығы кемісе, реттегіш ток күшін ұлғайтып қозғалтқыш жылдамдығын арттырады.

Автоматтандырудың функционалды сұлбасын әзірлеу арқылы конвейерлік таспаның жылдамдығы реттеліп автоматты басқару жүйесі құрылды.

2.3 ҚҚЖР операциялық күйінің моделі

ҚҚЖР жүйенің белгілі бір уақытта немесе белгілі бір жағдайларда не істеу керектігін көрсететін танымал механизм болып табылатын соңғы күй жүйесі ретінде жасалған. ҚҚЖР күйі жүйенің ағымдағы күйін толығымен анықтайды.

Күйлердің үш түрі бар:

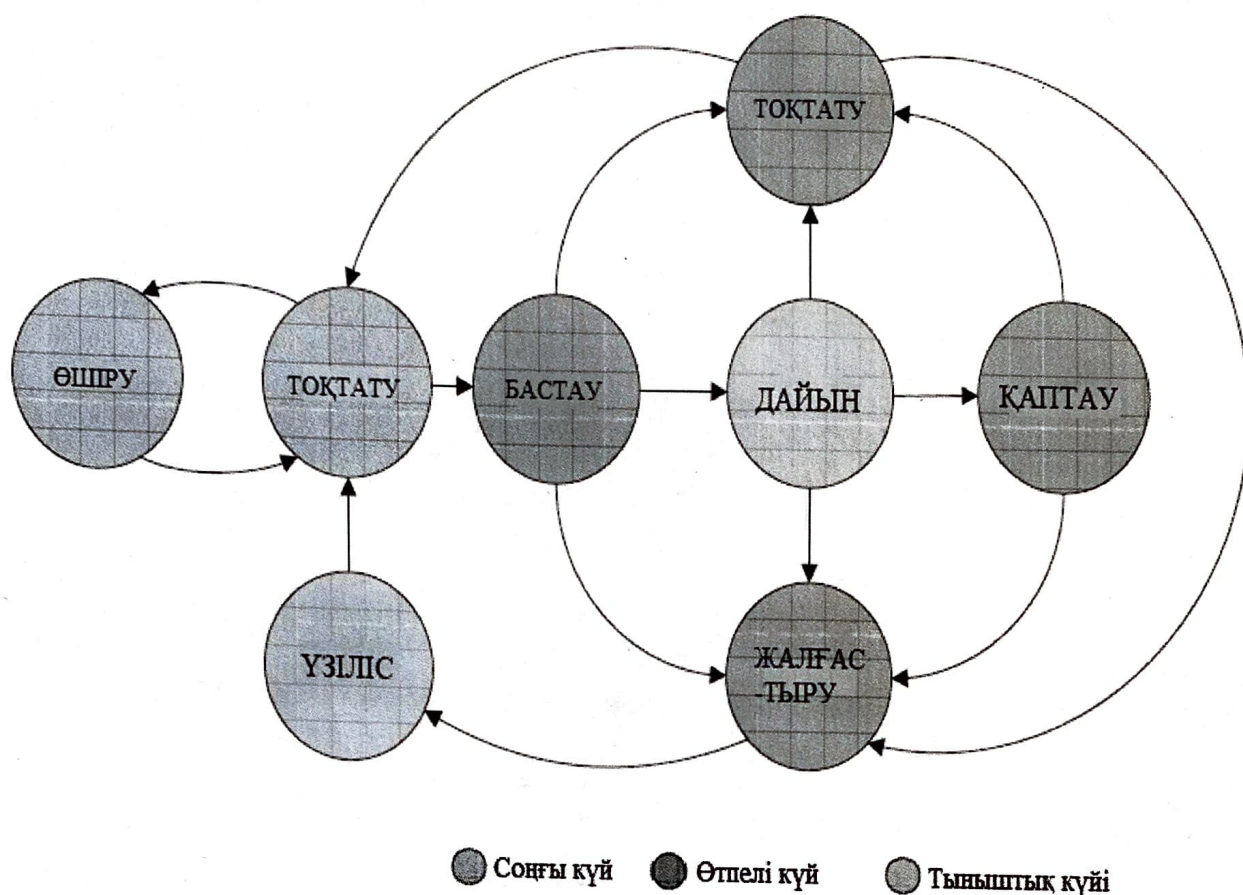
- соңғы күй – қауіпсіз күй, яғни. қозғалатын бөліктер жоқ;
- өтпелі күй - өңдеу әрекетінің қандай да бір түрін көрсететін күй. Ол логикалық ретпен, шектеулі уақыт ішінде немесе белгілі бір күйге жеткенше өңдеу қадамдарын бір рет немесе бірнеше рет орындауды қамтиды. Мысалы, қаптау күйі өтпелі күй болып табылады, себебі ол қатардың орындалуын қамтиды;

- демалыс күйі - машинаның белгілі бір шарттар жинағына жеткенін анықтау үшін қолданылады. Бұл күйде ҚҚЖР өтпелі күйге ауысқанша күйді сақтайды.

ҚҚЖР да жүйенің күйін толық сипаттайтын келесі күйлер бар:

- ӨШІРУ: жүйеге келетін барлық қуат өшіреді, жүйе жауап бермейді.
- ТОҚТАТУ: жүйе қосұлы және тоқтап тұр. Басқа жүйелермен барлық ішкі және сыртқы коммуникациялар жұмыс істейді.

- БАСТАУ: Бұл күй жүйені жұмысқа дайындауға мүмкіндік береді. Ол вакуум генераторын іске қосуды, роботтық қолды, ұстағышты және динамикалық сұрыптау роботын іске қосуды қамтиды [4].

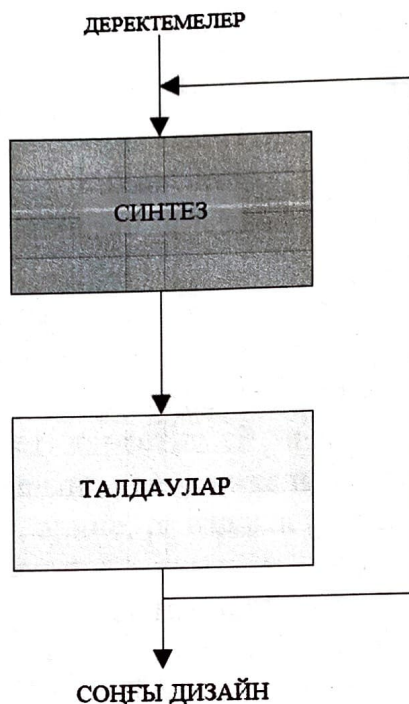


2.9 Сурет – ҚҚЖР күй үлгісі

- ДАЙЫН: Бұл БАСТАУ логикасы аяқталғанын көрсететін күй.
- ҚҚЖР БАСТАУ күйінде қол жеткізілетін жағдайын сақтайды.
- ТОҚТАТУ: Бұл күйде ҚҚЖР орау операциясын орындайды.
- ТОҚТАТУ: Бұл күй жүйені басқарылатын және қауіпсіз тоқтатуға әкелетін логиканы орындайды.
- ЖАЛҒАСЫТРУ: Жүйе кез келген уақытта ЖАЛҒАСЫТРУ күйіне өте алады.
- ҮЗІЛІС командасының логикасы жүйені жылдам, басқарылатын қауіпсіз тоқтатуға әкеледі. Апаттық тоқтату немесе «ТОҚТАТУ» жұмысы жүйені ҮЗІЛІС күйіне әкеледі.
- ЖАЛҒАСТЫРУ логикасын орындағаннан кейін ҚҚЖР кіреді.
- ТОҚТАТУ күйіне сәйкес күй ақпаратын сақтайды. Бұл күйдегі Тоқтату пәрмені ТОҚТАТУ күйіне өтуге мәжбүр етеді. ТОҚТАТУ логикасы аяқталғанын көрсететін тыныш күй болып табылады [9].

2.4 Манипуляторды механикалық жобалау процедурасы

Кез келген механизмді жобалау процесін 2.10 - суретте көрсетілгендей екі негізгі кезеңге бөлуге болады.



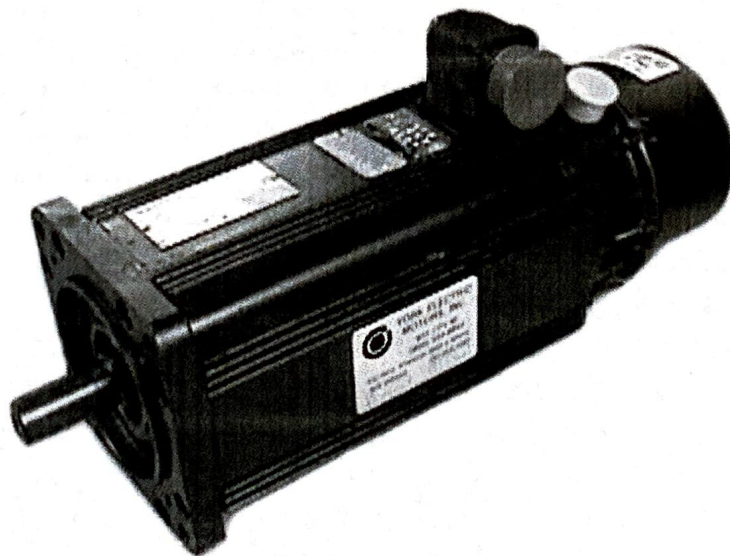
2.10 Сурет - Механизмді жобалаудың негізгі кезеңдері

Талаптарды дұрыс анықтағаннан кейін, жобалау цикліндегі алғашқы қадам синтез фазасынан тұрады, онда дизайнер механизмнің түрін және оның өлшемдерін талаптар орындалатын етіп анықтауға тырысады. Талдау кезеңінде дизайнер механизмді динамикалық және кинематографиялық тұрғыдан талдайды. Итерация қанағаттанарлық дизайнға жеткенге дейін жалғасады. Манипулятордың механикалық дизайны механизмнің дизайнына ұқсас. Алайда, манипуляторларды әдеттегі механизмдерді жобалау әдістерімен жобалау қиын, өйткені манипуляторлар көптеген параметрлерді қамтиды. Тиісінше, тиімді дизайн процедурасына сәйкес болу – бұл тапсырмалар үшін қолайлы манипуляторды құрудың және жұмыс үшін, уақыт пен шығындарды үнемдеудің кілті [17, 18].

Процедураға сәйкес бірінші қадам объективті тапсырмамен белгіленген кіріс жобалау шарттарын анықтау болды. Содан кейін манипулятордың механикалық дизайны үш бөлек фазада жүзеге асырылды: іргелі механизмді жобалау, жетек жүйесін жобалау және толыққанды құрылымдық дизайн. Механизмнің негізгі дизайны кинематикалық талаптарға, соның ішінде жұмыс аймағына, максималды қозғалысқа, жылдамдыққа және бірлескен үдеуге негізделген. Бұл кезеңде бөліктің тірек траекториясы анықталады. Жетек жүйесін жобалау кезеңінде манипулятордың динамикасын өрескел бағалау

негізінде қозғалтқыштардың таралуы және беріліс механизмдерінің түрі анықталды. Манипулятордың көлденең қимасының өлшемдері шамамен есептелді, ал қозғалтқыштар, редукторлар және машина элементтері каталог деректері бойынша таңдалды. Толыққанды құрылымдық жобалау кезеңінде манипулятордың көлденең қимасының өлшемін өзгерту және динамиканы дәл бағалау негізінде механизм элементтерін қайта таңдау жүргізілді. Сондай-ақ, статикалық және динамикалық жүктеме әсерінен манипулятордың жалпы салмағы, майысуы және механикалық құрылымның табиғи жиілігі бағаланды. механикалық құрылымдар да бағаланды [12].

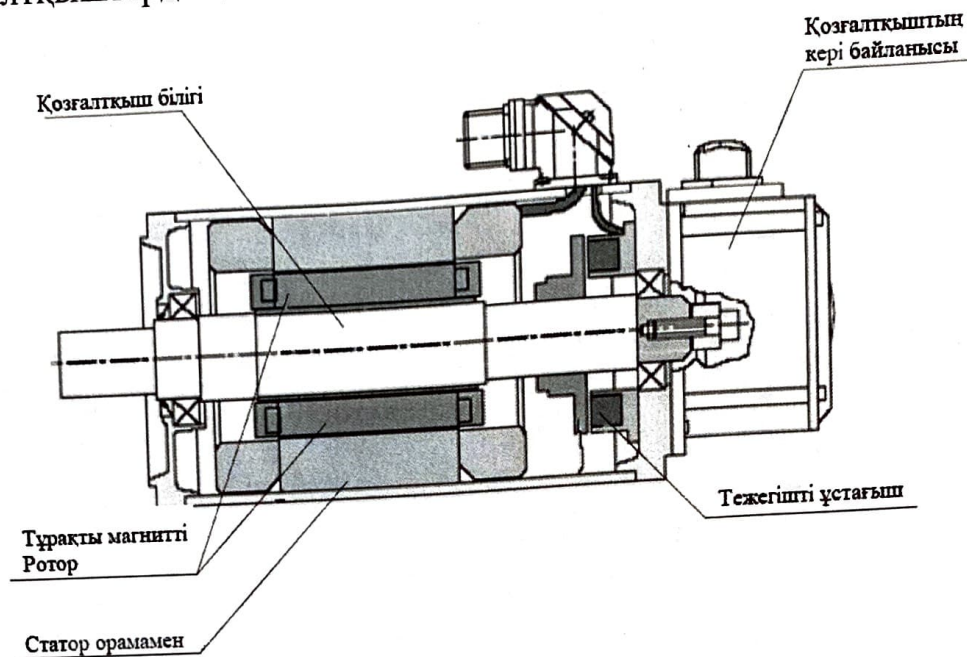
Бұрын өнеркәсіптік манипуляторлар әдетте тұрақты магниттік серво қозғалтқыштарымен басқарылатын. Механикалық коммутатор және тұрақты ток серво қозғалтқышының щеткалары қозғалтқыштың жұмысына шектеулер қояды. Олар сонымен қатар техникалық қызмет көрсету проблемаларын тудыруы мүмкін. Сонымен қатар, тұрақты ток сервоқозғалтқышының механикалық қосқышын және ротордағы арматура орамасын алып тастау арқылы техникалық қызмет көрсетілмейтін қозғалтқыштар іске асырылды. Щеткасыз серво қозғалтқышында механикалық коммутатор электронды түрде ауыстырылады. Бұл дизайн, әрине, ротордың аз инерциясын, ротордың жоғары жылдамдығын, қозғалтқыштың жоғары кернеуін және тұрақты ток сервоқозғалтқыштарме салыстырғанда жоғары сенімділікті қамтамасыз етеді. Сервоқозғалтқыштың тұрақты ток қозғалтқыштарынан артықшылығы болғандықтан, Bosch-Rexroth Indramat шығарған үш фазалы щеткасыз синхронды тұрақты магниттік сервоқозғалтқыштар манипуляторда қолданылды [5].



2.11 Сурет – Үш фазалы синхронды сервоқозғалтқыш

Щеткасыз сервоқозғалтқыш жүйесі орамалы статордан, тұрақты магнитті ротордан, ротордың орналасу сенсорынан және жартылай өткізгіш коммутация

блогынан тұрады. 2.11 және 2.12 - суреттер көлденең қиманы және аталған сервоқозғалтқыштардың нақты көрінісін көрсетеді.



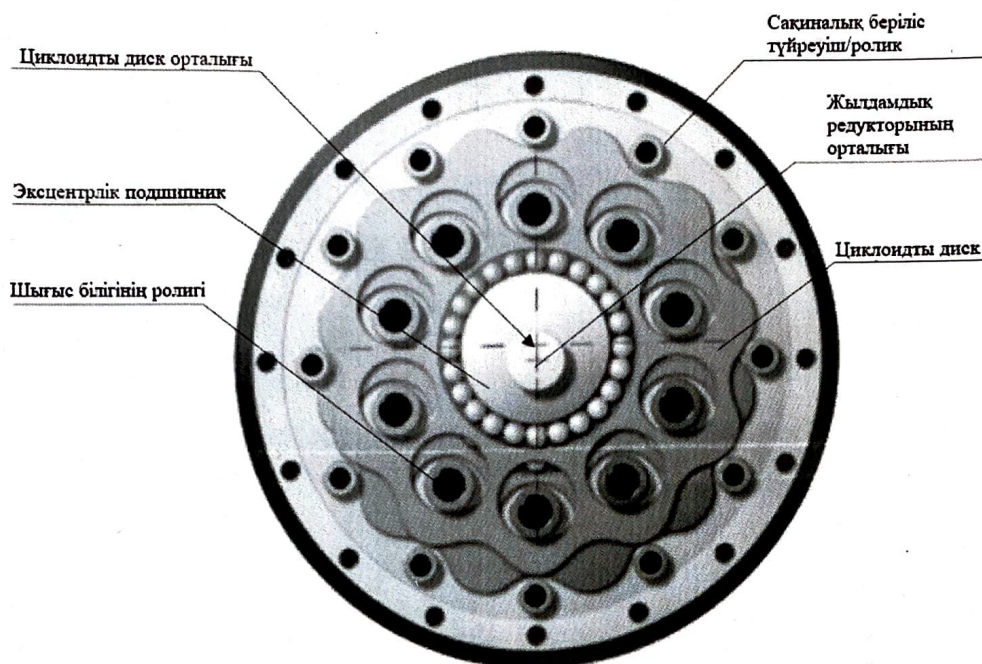
2.12 Сурет – Үш фазалы синхронды сервоқозғалтқыштың көлденең қимасы

Бұл жұмыста SUMITOMO Drive Technologies шығарған Cyclo жылдамдық редукторлары қолданылды. CYCLO редукторы CYCLO редукторының төрт негізгі компонентінен тұрады:

- эксцентрлік мойынтіректері бар жоғары жылдамдықты білік;
- циклоидты дискілер;
- түйреуіштер мен роликтері бар сақиналы редуктордың корпусы;
- жылдамдығы төмен вал саусақ.

Айналу кезінде эксцентрлік бөлік ішкі жағынан бір немесе бірнеше циклоидты дискілерді сақиналы беріліс корпусының ішкі шеңбері бойымен айналдырады. Циклоидты дискілер сақиналы редуктордың айналасында сағат тілімен қозғалса, дискілердің өздері осьтерінің айналасында сағат тіліне қарсы айналады. Циклоидтардың тістері бекітілген сақиналы берілістің түйреуіштерімен тізбектеліп, осылайша төмен жылдамдықта кері айналады. Циклоидтардың азайту коэффициенті дискідегі циклоидтардың тістерінің санымен анықталады. Сақиналы берілістің кем дегенде бір корпусы бар, нәтижесінде беріліс коэффициенті циклоидты дискідегі тістер санына тең болады. Осылайша, жоғары жылдамдықты біліктің әр толық айналымы үшін циклоидты дискілер бір тіске қарама-қарсы бағытта қозғалады [5,6,12].

2.13 - суретте Cyclo жылдамдық редукторының негізгі компоненттері көрсетілген [10].



2.13 Сурет – Цикл жылдамдық редукторының негізгі компоненттері

Жылдамдық редукторының тиімділігі мен үйкелісті ескерместен, сондай-ақ жүктеме инерциясының бөлігі ретінде редуктордың инерциясын ескере отырып, қозғалтқыштағы толық моментті табуға болады:

$$\tau_m = \left[J_m + \frac{J_L}{N^2} \right] \ddot{\theta} \quad (2.1)$$

мұндағы $\tau_m, J_m, \ddot{\theta}$ - қозғалтқыштың моменті, инерция және бұрыштық үдеу, ал J_L, N жүктеме инерциясы және жылдамдық редукторының төмендеу коэффициенті. Бұрыштық үдеу қозғалтқыш жүктемені бұрыштық жеделдету тұрғысынан келесідей ұсынылуы мүмкін:

$$\ddot{\theta}_m = N \ddot{\theta}_L \quad (2.2)$$

Теңдеулерді біріктіру және қайта реттеу. (2.1) және (2.2) береді:

$$\ddot{\theta}_L = \frac{\tau_m N}{J_m N^2 + J_L} \quad (2.3)$$

Қозғалтқыштың берілген моменті үшін жүктеменің бұрыштық үдеуін барынша арттыратын N төмендету коэффициентінің мәнін табу үшін N қатысты $\ddot{\theta}_L$ туындылары. Нәтиже келесідей:

$$\frac{\partial \ddot{\theta}_L}{\partial N} = \frac{(J_m N^2 + J_L) - \tau_m - \tau_m N(2J_m N)}{(J_m N^2 + J_L)} \quad (2.4)$$

Орын ауыстыру келесіні береді:

$$\frac{\partial \ddot{\theta}_L}{\partial N} = \frac{\tau_m (J_L - J_m N^2)}{(J_m N^2 + J_L)^2} \quad (2.5)$$

Туындыны нөлге теңестіре отырып, жүктің максималды үдеуін беретін беріліс қатынасын табамыз:

$$\frac{\tau_m (J_L - J_m N^2)}{(J_m N^2 + J_L)^2} = 0 \Rightarrow J_L - J_m N^2 \quad (2.6)$$

Ауыстыру нәтижесінде мынаны аламыз:

$$N = \sqrt{\frac{J_L}{J_m}} \quad (2.7)$$

Бұл нәтиже негізінен, белгілі моменттің берілген қозғалтқышы үшін сәйкес инерциялармен максималды қуат беруіне қол жеткізуге болатынын көрсетеді. Дегенмен, қозғалтқыш пен жүк арасында байланыс жүйесі болса, онда практикалық түрде болуы мүмкін. Беріліс қорабының инерциясы, жылдамдықты төмендеткіштің тиімсіздігі, механикалық шектеулер оңтайлы қуат беруді жүзеге асыруға кедергі келтіруі мүмкін [6].

3 ЕСЕПТЕУ БӨЛІМ

3.1 Беріліс жүйесін модельдеу

Бұл бөлімде қолды басқарудың роботтық жүйесінің дизайны сипатталған. Манипуляторды басқару жүйесі сызықтық басқару әдістеріне негізделген. Іс жүзінде басқарудың сызықтық әдістерін қолдану, егер басқарылатын жүйенің динамикасын сызықтық дифференциалдық теңдеулер арқылы математикалық модельдеуге болатын болса ғана негізделген. Манипуляторды басқару жағдайында сызықтық басқару әдістерін шамамен әдістер ретінде қарастыру керек, өйткені манипулятордың динамикасы сызықты емес дифференциалдық теңдеулермен дұрысырақ көрсетілген. Алайда беріліс жүйелерінде жоғары қатынасты беріліс қораптарын қолдану манипулятордың қозғалысын реттейтін теңдеулерде сызықтық емес терминдердің әсерін басып тастады, ал басқару жүйесін жобалауда сызықтық әдістерді қолдану анықталды [7,8].

Манипуляторды механикалық модельдеу 3 бөлімде ұсынылды. Бұл тарауда беріліс жүйесін механикалық және электромеханикалық модельдеу, содан кейін басқару жүйесінің параметрлерін реттеу сипатталды.

Манипулятордың механикалық дизайнында көрсетілгендей, қоздырғыштар негізге орналастырылды, ал байланыстар жетек ілмектеріне жетек механизмдерінің қозғалысын бағыттау үшін беріліс жүйесі ретінде қолданылады. Қозғалтқыш үзбесіндегі сәт белгілі болған жағдайда, сілтеме үзбесіндегі момент келесі формула бойынша есептелуі мүмкін

$$\tau \Rightarrow \tau_m N l \quad (3.1)$$

мұндағы N және l - азайту коэффициенті және жылдамдықты төмендеткіштің тиімділігі. Жылдамдықты төмендеткіштің тиімділігі позиция, жылдамдық және үдеу сияқты кинематикалық қатынастарды өзгертпесе де, кез келген моментке қатысты қасиеттерге айтарлықтай әсер ететінін ескеру маңызды.

Егер қозғалтқыштың динамикасы жай біліктің осіне айналатын қатты жүктемемен сипатталады деп болжаса, онда жүйені сипаттайтын теңдеу келесідей болады:

$$\tau_m = J_m \ddot{\theta}_m \quad (3.2)$$

мұндағы J_m – қозғалтқыш білігінің массасының айналу осіне қатысты инерция моменті, ал $\ddot{\theta}_m$ оның бұрыштық үдеуі. Қозғалтқыш шығысына жүктеме түскенде және жылдамдықты төмендеткішке қосылғанда, қозғалтқыш білігінде қалыптасқан жалпы момент τ_T қозғалтқышпен бөлінетін моменттің қосындысына тең τ_m және қозғалтқыш білігімен қабылданатын жүктеме τ_L .

$$\tau_T = \tau_m + \tau_L \quad (3.3)$$

τ_L жүктеме моментін теңдеуге сәйкес есептеуге болады

$$\tau_L = \frac{\tau}{N\eta} \quad (3.4)$$

$$\bar{\tau}_T = \tilde{J}_m \ddot{\theta}_m + (\tilde{N}\tilde{\eta})^{-1} \{ \tilde{C}(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) \} \quad (3.5)$$

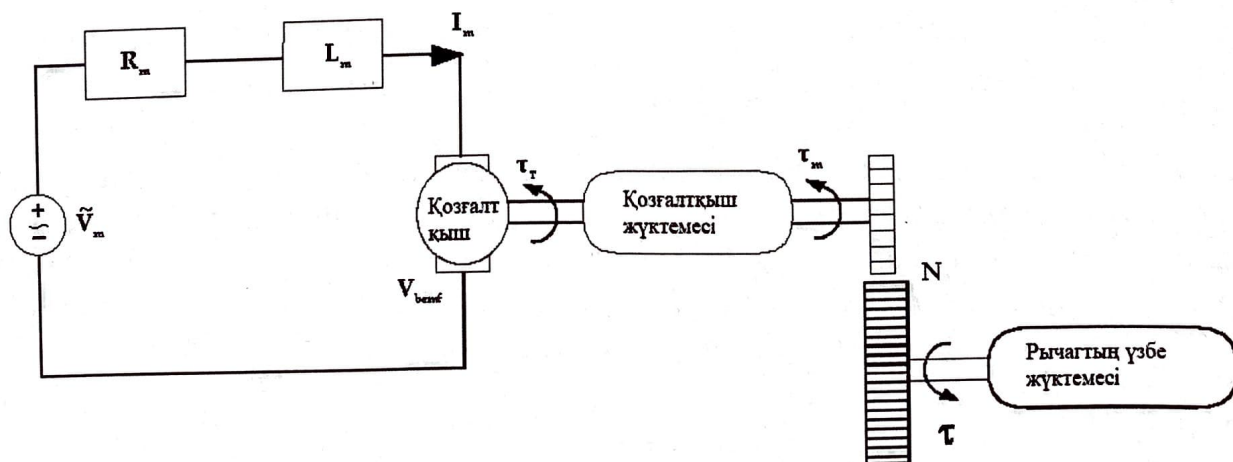
$\tilde{J}_m, \tilde{N}$ және енді $\tilde{\eta}$ матрицалармен дұрыс жұмыс істеу үшін диагональды матрицалар болып табылады. Әрі қарай осы теңдеуді басқара отырып, манипулятордың қозғалыс теңдеулері үшін келесі өрнекті алуға болады:

$$\bar{\tau}_T = \left[\tilde{J}_m + (\tilde{N}^2 \tilde{\eta})^{-1} \tilde{J} \right] \ddot{\theta}_m + (\tilde{N}\tilde{\eta}^{-1}) \left\{ \tilde{C}(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) \right\} \quad (3.6)$$

Теңдеудің оң жағындағы бірінші мүшесін тиімді инерция матрицасы деп атауға болады. Теңдеуден ротордың инерциясы манипулятордың жалпы динамикасына айтарлықтай әсер етуі мүмкін екенін көруге болады.

3.2 Электромеханикалық модельдеу

Қозғалтқыш пен жылдамдық редукторының электромеханикалық сипаттамалары 3.1 - кестеде келтірілген. Екі жетек ілмектері үшін бірдей қозғалтқыштар қолданылды.



3.1 Сурет – Қозғалтқыштың, жылдамдықты азайтқыштың және механикалық жүктеменің сұлбалық көрінісі

Қозғалтқыштың динамикалық үлгісін жасау үшін якорь орамаларына Кирхгофтың кернеу заңы қолданылды, бұл:

$$V_m = L_m \dot{I}_m + I_m R_m + V_{bemf} \quad (3.7)$$

3.1 Кесте – Қозғалтқыштар мен жылдамдық редукторларының электромеханикалық сипаттамалары

Параметр	Сипаттама	Мағынасы	Бірліктер
J_m	Қозғалтқыш инерциясы	43×10^{-4}	kg m^2
K_m	Тұрақты қозғалтқыш моменті	1.73	Nm A^{-1}
K_e	Тұрақты қозғалтқыш кернеуі	1.06	V s rad^{-1}
R_a	Орамның кедергісі	1.88	Ω
L_a	Орамның индуктивтілігі	15.5×10^{-3}	H
T_s	Үздіксіз тоқтау моменті	12	Nm
T_p	Теориялық максималды момент	43.5	Nm
N	Жылдамдықты төмендету коэффициенті	119	-
η	Жылдамдықты төмендеткіштің тиімділігі	0.8	-

V_{bemf} (3.7) теңдеудегі кері электр қозғаушы күш. Бұл қозғалтқыштың кернеуіне қарсы тұратын ішкі кернеу және ротор магнит өрісінде айналғанда пайда болады. Ол қозғалтқыш білігінің бұрыштық жылдамдығына сызықты пропорционал. Яғни,

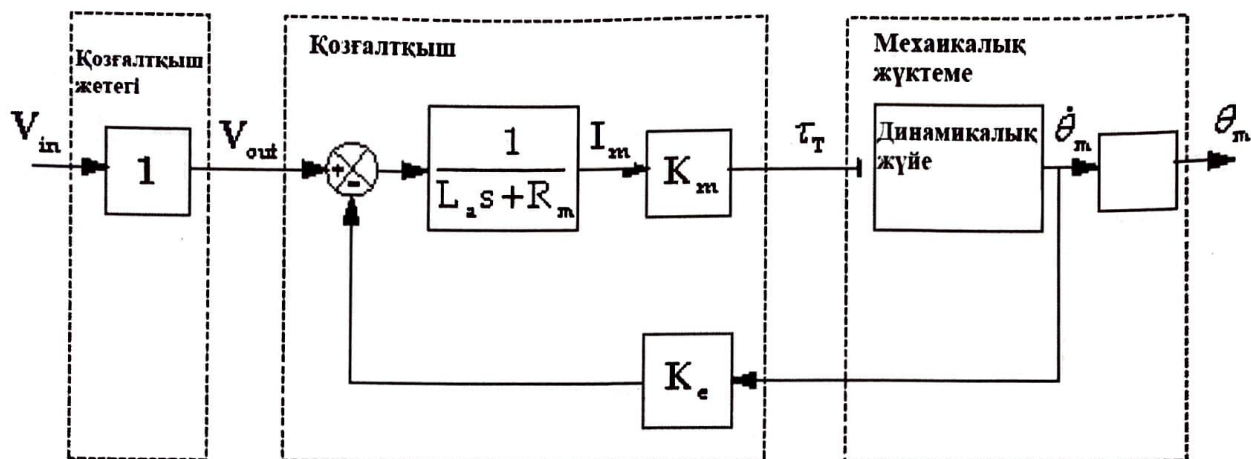
$$V_{bemf} = K_e \dot{\theta}_m \quad (3.8)$$

мұндағы K_e қозғалтқыш кернеуінің тұрақтысы деп аталады.

Электрмеханикалық модельдеуден кейін басқару моментінің әрекетін жетекті нақты қуаттандыратын физикалық басқару айнымалыларымен байланыстыру үшін жүйенің электрлік және механикалық құрамдас бөліктері арасында байланыс орнатылды. Электрлік және механикалық жүйелер бір-бірімен алгебралық момент теңдеуі арқылы қосылады. Тұтастай алғанда, қозғалтқыш білігінде жасалған айналу моменті жылдамдық пен жағдайға тәуелсіз тиімді токтың артуымен сызықты түрде артады:

$$\tau_T = K_m I_{eff} \quad (3.9)$$

Жетек жүйесімен бірге (3.6), (3.7), (3.8) және (3.9) теңдеулерінен алынған бір топтың жалпы құрылымдық сұлбасын 3.2 - суретте көрсетілгендей көрсетуге болады.



3.2 Сурет – Электр механикалық жүйенің құрылымдық сұлбасы және механикалық жүктеме

Сызықтық әдістерге негізделген басқару жүйесін жобалаудың бірінші қадамы ретінде әрбір жетек үшін жеңілдетілген жүктеме қабылданды. Атап айтқанда, (2.7) тендеудегі центрден тепкіш күштер, ауырлық күші және үйкеліс сияқты барлық сызықтық емес терминдер еленбейді. Матрицалық түрдегі манипулятордың қозғалыс тендеулері:

$$\bar{\tau} = \tilde{J}_{eff} \ddot{\theta}_m \quad (3.10)$$

мұнда,

$$J_{eff} = \tilde{J}_m + (\tilde{N}^2 \eta)^{-1} \tilde{J}(\theta) \quad (3.11)$$

Басқару мәселесін бекітілген инерциямен бір осьті басқаруға дейін азайту үшін әрбір жетекпен қабылданатын тиімді инерция басқарылатын қосылыс инерциясы мен буындар арасындағы байланыс инерциясының қосындысы ретінде алынды. Әр буын жүйесінің динамикасы содан кейін беріледі [7,8,9].

$$\tau_{Ti} = [J_{mi} + (N_i^2 \eta)^{-1} (J_{ii} + J_{ij})] \ddot{\theta}_i \quad (3.12)$$

3.3 Басқару жүйесінің аппараттық құралдары

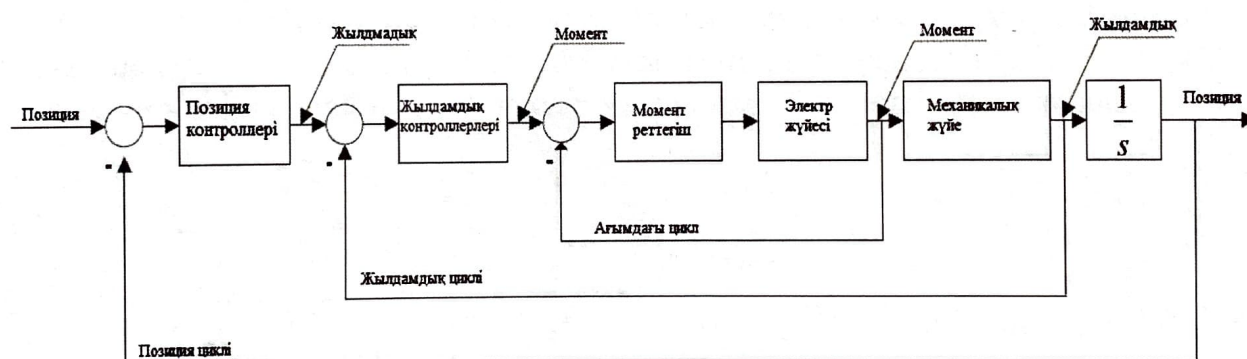
ҚҚЖР басқару жүйесінде Bosch-Rexroth Indramat компаниясының VisualMotion сияқты басқару жүйелері пайдаланылады. VisualMotion - 32 сандық интеллектуалды қозғалтқыш жетектерін басқаруға қабілетті бағдарламаланатын көп осьті қозғалысты басқару жүйесі [13]. Қозғалысты

басқару үшін пайдаланылатын ДК бағдарламалық құралы VisualMotion Toolkit (VMT) деп аталады. VisualMotion Toolkit (VMT) – бағдарламалауға, параметрлеуге, жүйе диагностикасына және қозғалысты басқару жүйесін басқаруға арналған бағдарламалық құрал. VMT сонымен қатар DDE серверін қамтиды, ол Microsoft Windows бағдарламалары мен қозғалысты басқару жүйесі арасындағы байланыс протоколы болып табылады. VisualMotion құралдар жинағымен пайдаланылатын аппараттық құрал - бұл PPC-R қозғалысты басқару тақтасы.

ҚҚЖР қозғалысты басқару жүйесі келесі компоненттерден тұрады:

- PPC-R қозғалысты басқару тақтасы
- RECO02 I/O енгізу/шығару модульдері
- VisualMotion Toolkit program
- ECODRIVE03-SGP01 қозғалтқыш жетектері
- Тұрақты магнитті синхронды сервомоторлар

ECODRIVE03-SGP01 сандық қозғалтқыш жетектерінде қозғалысты басқарудың біріктірілген жүйесі бар. Басқару тізбегінің құрылымы каскадты (кірістірілген) позициядан, жылдамдықтан және момент/күш коэффициенттен тұрады. Жетектің жұмыс режиміне байланысты тек айналдыру моментін басқару тізбегі айналу моментін және жылдамдықты басқару тізбегі жұмыс істей алады. Басқару құрылымы суретте көрсетілген.



3.3 Сурет – Бір буынды каскадты басқару

Жоғарыдағы суретте көрсетілгендей, ендірілген қозғалысты басқару жүйесі тоқтағы және жылдамдық коэффициентінде ПИ контроллерін және позиция тізбегінде пропорционалды контроллерді пайдаланады. Қозғалысты басқару жүйелері коэффициентінде интегралды жағдай әдетте қолданылмайды. Бұл «ашық» позициялық серво циклі деп аталады [8].

Тоқтағы және жылдамдық тізбегіндегі ПИ контроллерлері келесідей реттелді:

1. Ашық тізбек K , компенсацияланбаған фазалық үстіңгі орын талабын қанағаттандыратыны анықталды.

2. 1-қадамдағы кроссовер жиілігі бар компенсацияланбаған жүйенің Bode графигін салынды және төменгі жиілікті күшейтуді бағаланды.

3. Бұрыш жиілігі, ω_c , жаңа кроссовер жиілігінен төмен болу үшін таңдалды.

4. Контроллер параметрлері жабық тізбектің өткізу қабілеттілігі мен фазалық шеткі талаптарын қанағаттандыратындай реттелгенше жобалау итеративті түрде орындалды.

ПИ реттегішінің беріліс функциясы:

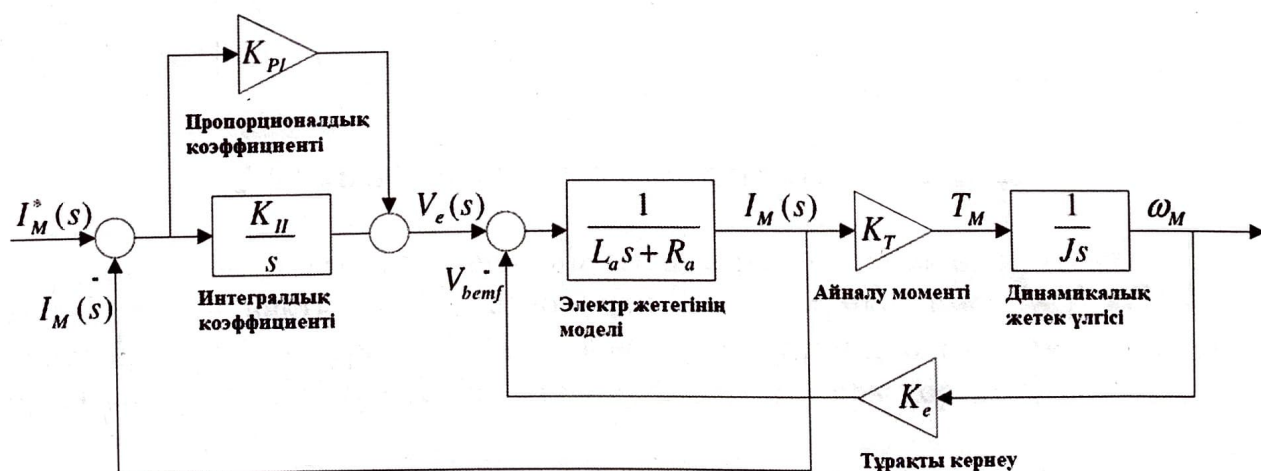
$$G_C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{K_i \left(\frac{K_p}{K_i} s + 1 \right)}{s} = K \frac{(\tau s + 1)}{s} \quad (3.13)$$

мұнда бұрыштық жиілік берілген

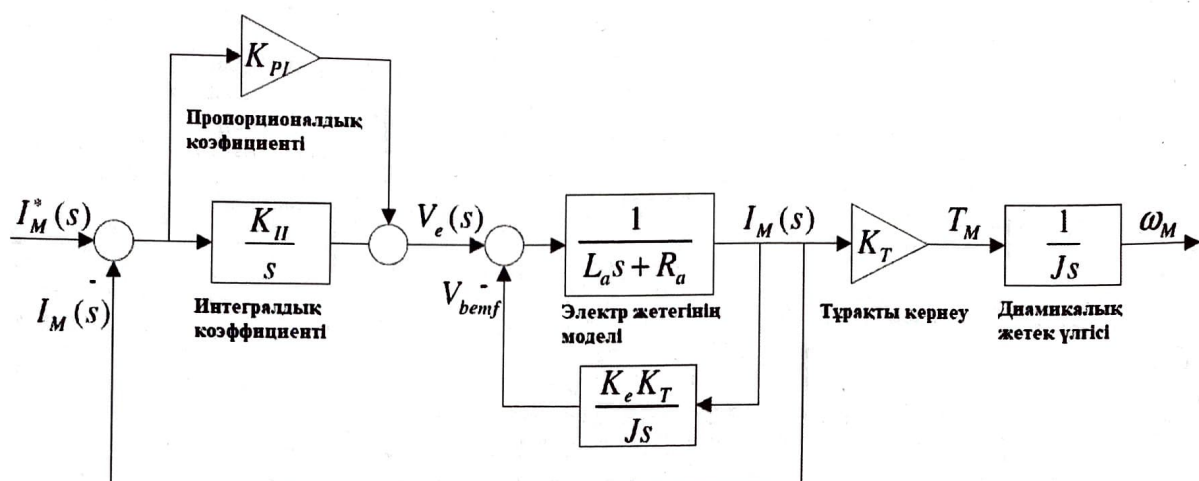
$$\tau = \frac{K_p}{K_i} = \omega_c \quad (3.14)$$

3.4 Ток тізбегіндегі реттегіш параметрлерін орнату

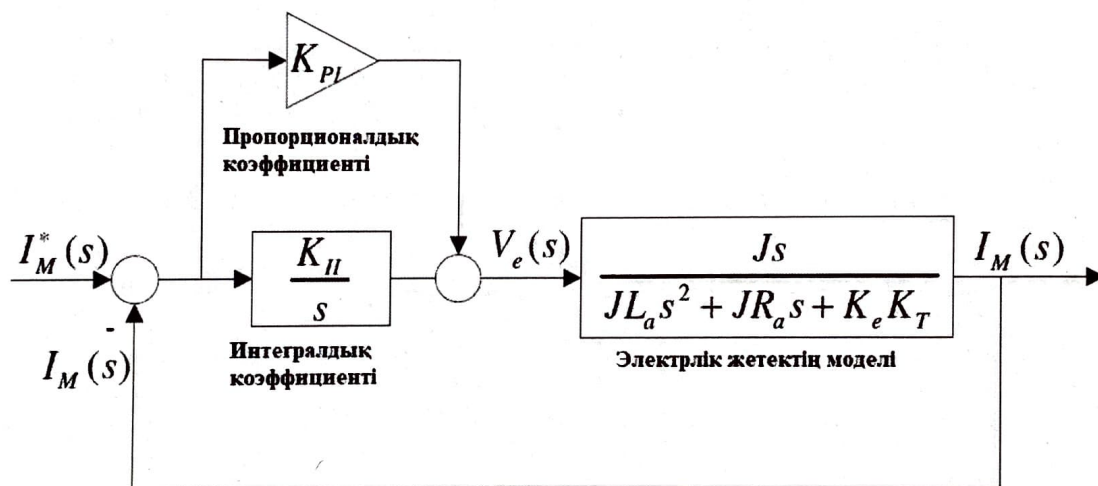
3.4 - суретте ток тізбегінің құрылымы көрсетілген. Бұл суреттегі блок-схема шешілмейтіндіктен, блок-схеманы жеңілдету әдістері 3.5 және 3.6 - суретте көрсетілгендей ішкі және сыртқы тізбекті бөлу үшін қолданылған.



3.4 Сурет – Айналу моментін реттеу тізбегінің блок-схемасы

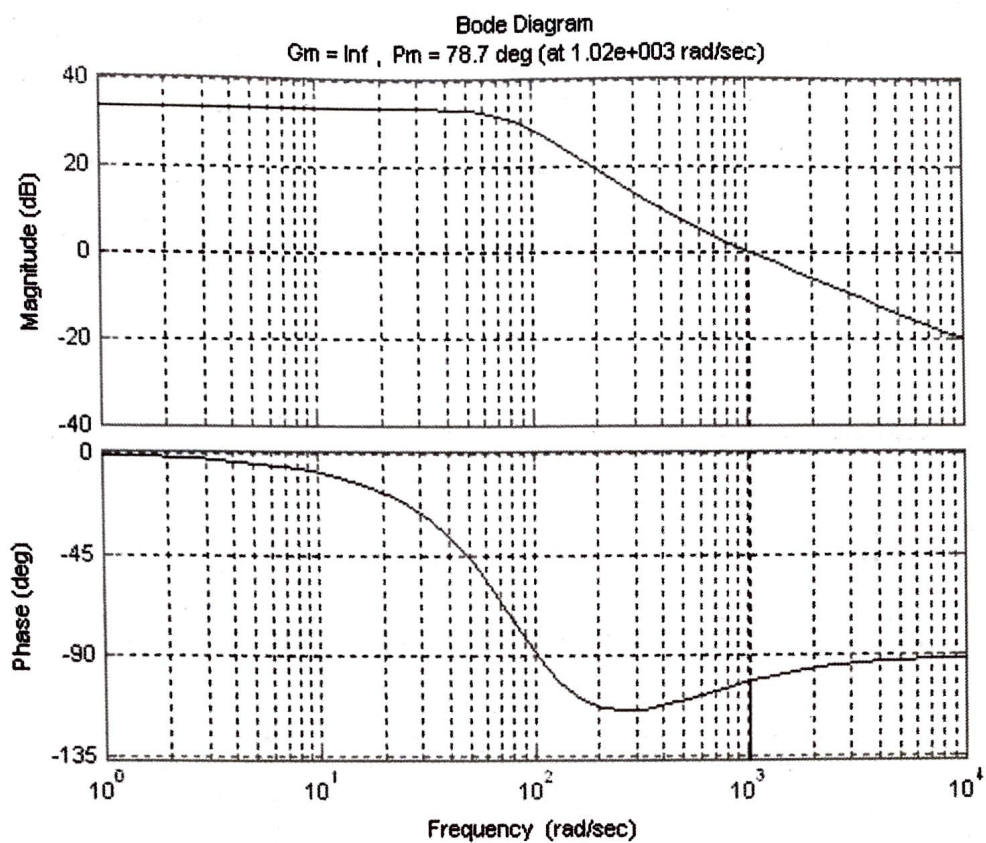


3.5 Сурет – Ауыспалы тізбектер кірістірілген тізбек ретінде жеңілдету жасалған сұлбасы

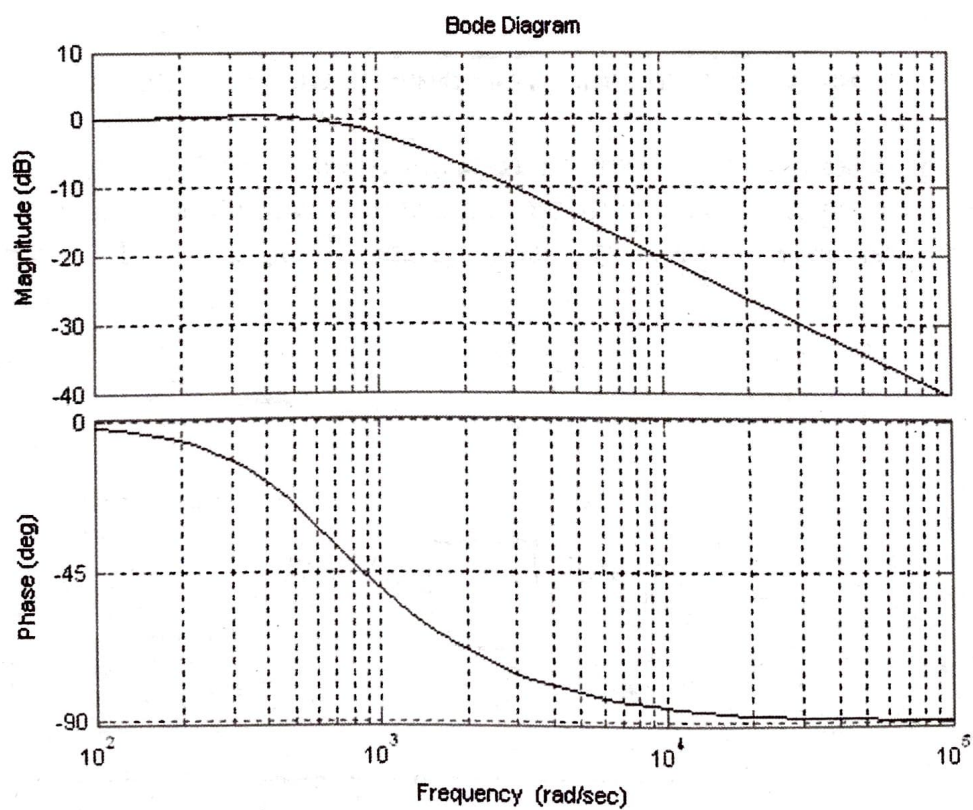


3.6 Сурет – Жеңілдетілген ток тізбегі блок схемасы

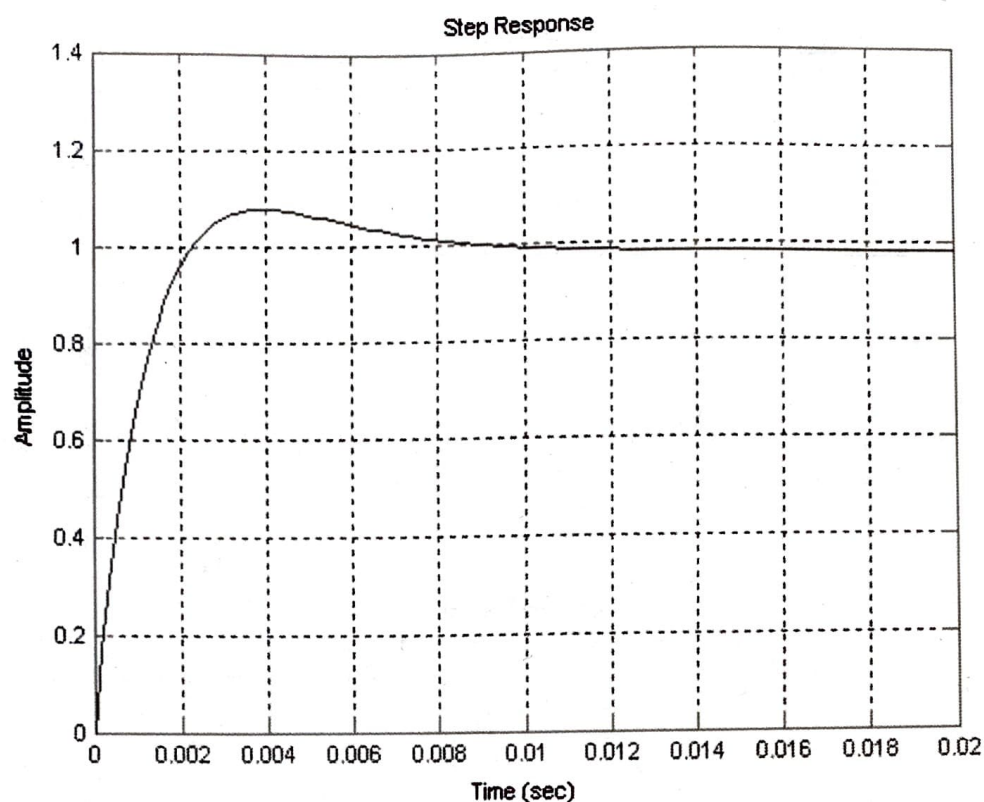
Тізбектегі ток ПИ реттегішінің параметрлерін жетек өндірушісі орнатады және оларды нақты қосымшалар үшін түзету мүмкін емес. 3.7 және 3.8 – суреттерде, 3.9 - суреттегі ток тізбегін реттеушінің блок-схемасы негізінде алынған ашық және тұйық тізбектердің диаграммалары көрсетілген [10].



3.7 Сурет – Ашық тізбек токтың негізгі диаграммасы



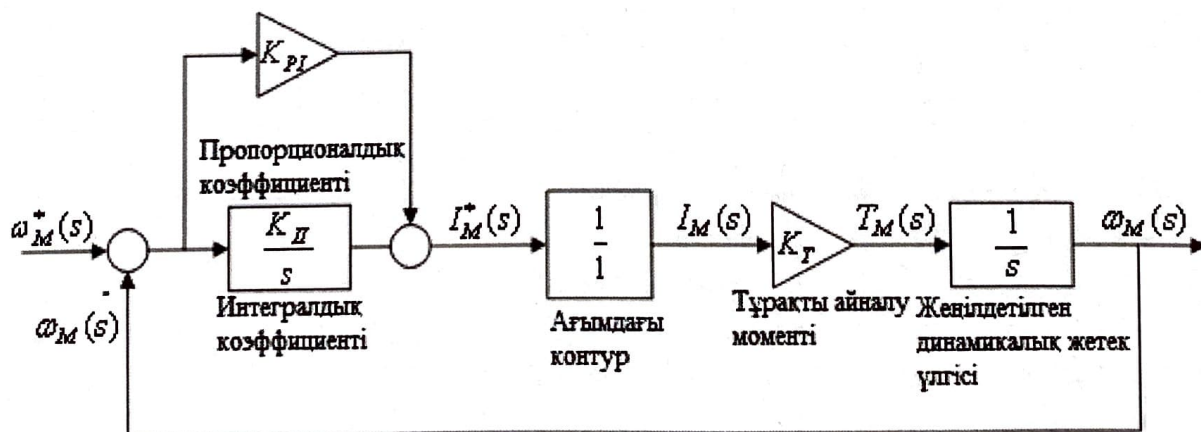
3.8 Сурет – Тұйық ток тізбегінің негізгі диаграммасы



3.9 Сурет – Ток тізбегінің өтпелі сипаттамасы

3.5 Реттегіш тізбегінің параметрлерінің жағдайын орнату

Жылдамдық коэффициентінде ПИ контроллерінің параметрлерін реттеу үшін тоқтағы коэффициент идеалды ретінде қабылданып, бірлік ретінде ұсынылды. 3.10 - суретте жылдамдық тізбегінің құрылымдық сұлбасы көрсетілген.

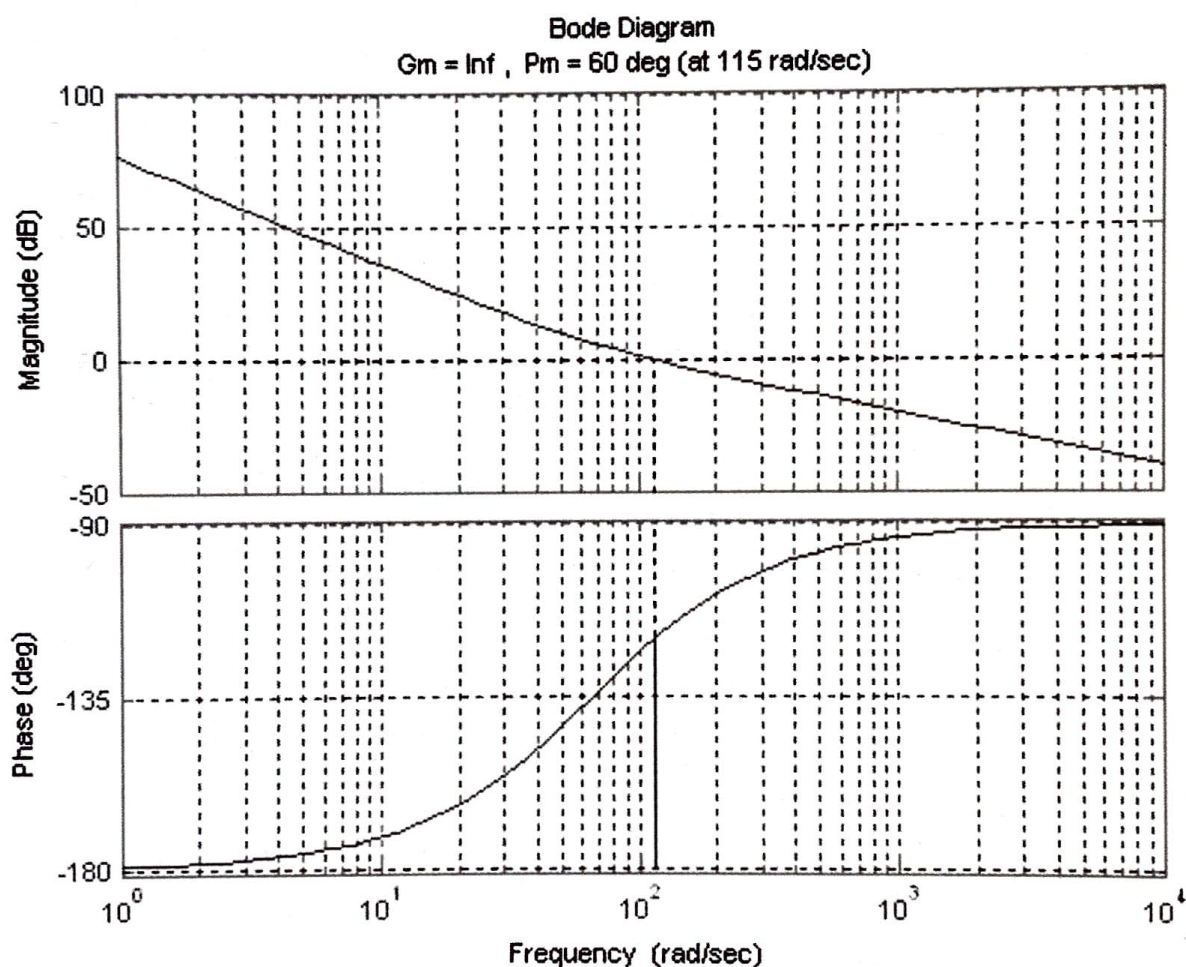


3.10 Сурет – Жылдамдық тізбегінің блок схемасы

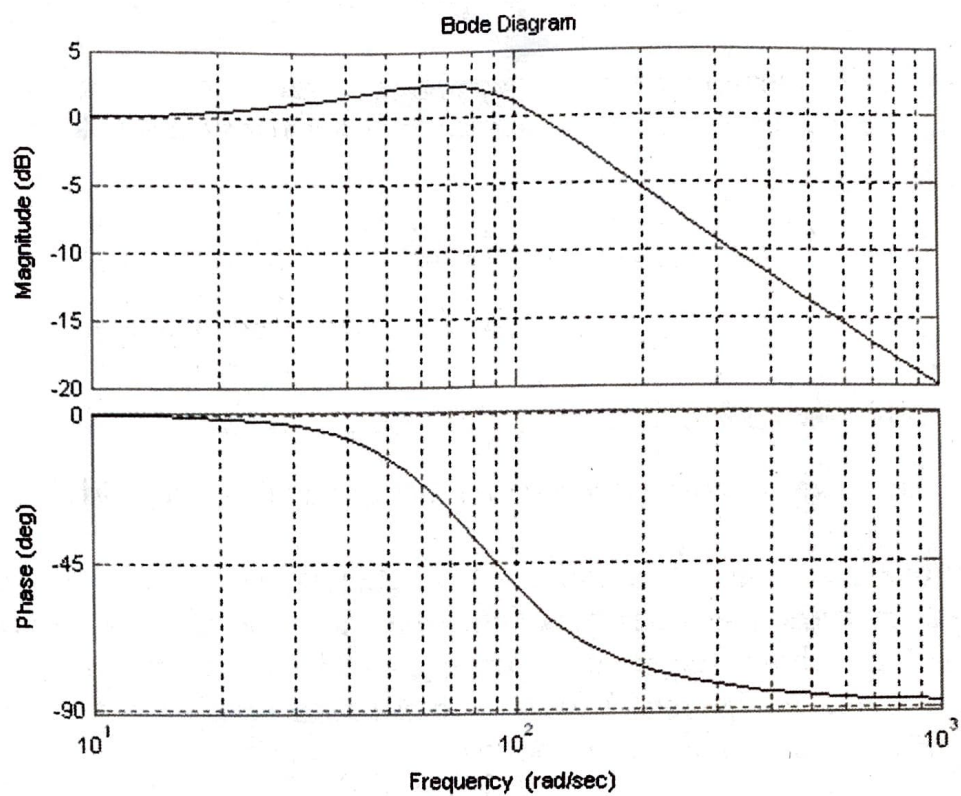
Жалпы алғанда, параметрлерді реттеудің жалпы қабылданған ережесі интегралды кірісті алып тастаудан басталады. Содан кейін пропорционалды кіріс коэффициенті серво жылдамдығының реакциясы тұрақты болатын деңгейге дейін реттеледі.

3.2 Кесте – Жылдамдық тізбегін басқару параметрлері

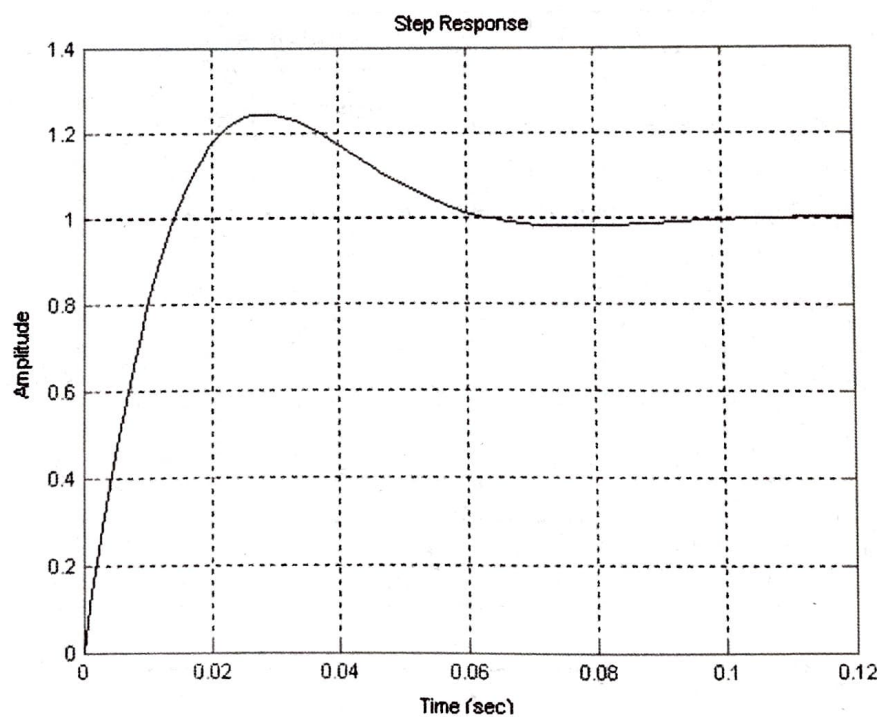
Параметрлер	Сипаттама	Мәні	Бірліктер
K_I	Интегралдық коэффициент	0.8	$A \cdot \text{сек}/\text{рад}$
K_P	Пропорционалдық коэффициент	45	$A \cdot \text{сек}/\text{рад}$



3.11 Сурет – Негізгі жылдамдық диаграммасының ашық тізбегі



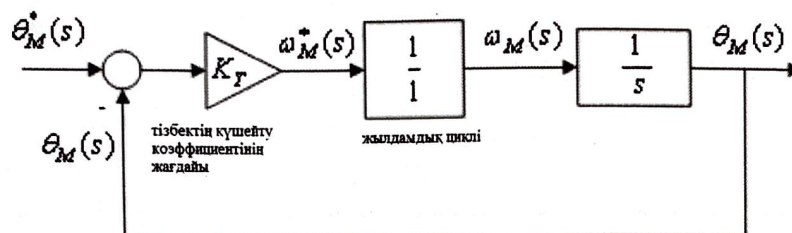
3.12 Сурет – Жылдамдықтың тұйық тізбегіндегі негізгі диаграммасы



3.13 Сурет – Жылдамдық тізбегінің өтпелі сипаттамасы

3.6 Реттегіш тізбегінің параметрлерін орнату

Жылдамдық реттегішінің параметрлерін орнатқаннан кейін, 3.14 - суретте көрсетілгендей, жылдамдық контурының айналасында тұйық тізбек алынады.

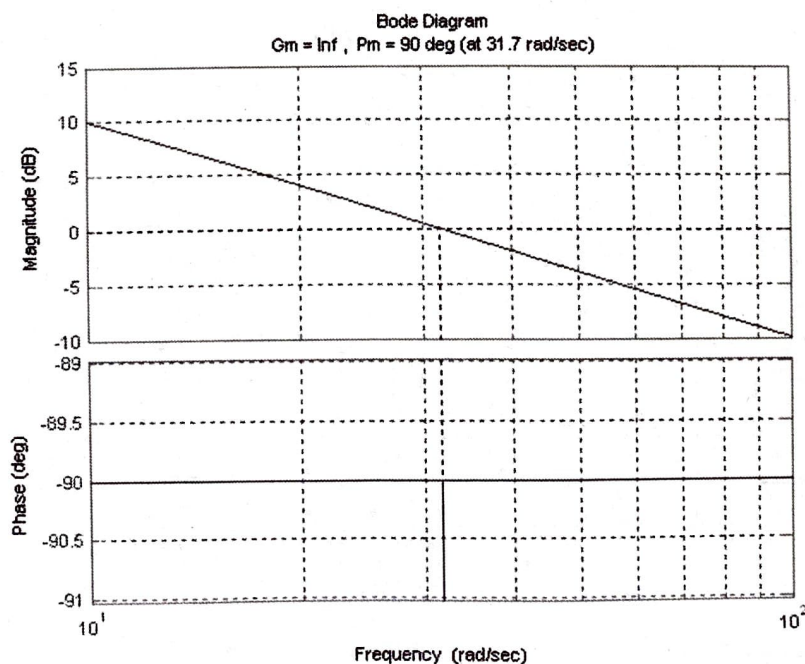


3.14 Сурет – Позициялық тізбектің құрлымдық сұлбасы

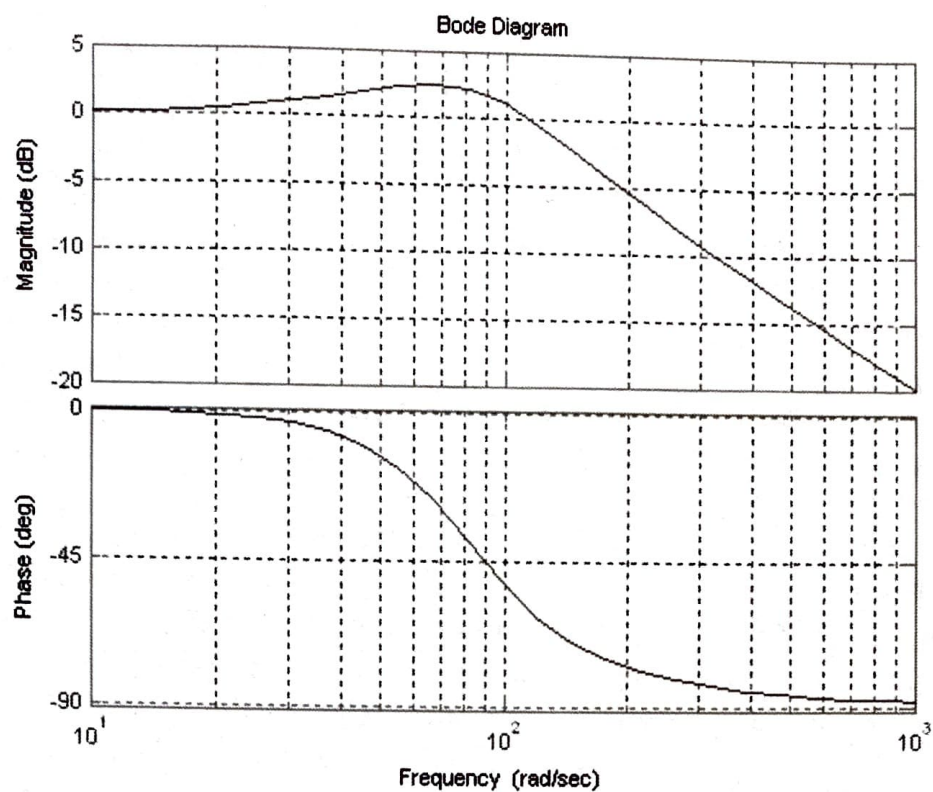
3.15 және 3.16 –суреттерде, 3.17 - суретте келтірілген позиция тізбегін басқарудың құрлымдық сұлбасы негізінде алынған ашық және тұйық тізбектің диаграммалары көрсетілген. 3.17 - суретте позиция реттеушісінің 1 рад позиция командасына сатылы реакциясы көрсетілген. Суреттерден көрініп тұрғандай, позиция тізбегі 90° фаза бойынша орнықтылық қорына ие және тұйық тізбектің өткізу қабілеті $25,2 \text{ рад/сек}$ ($\sim 4 \text{ Гц}$) [11, 12].

3.3 Кесте – Реттегіш параметр контурының жағдайы

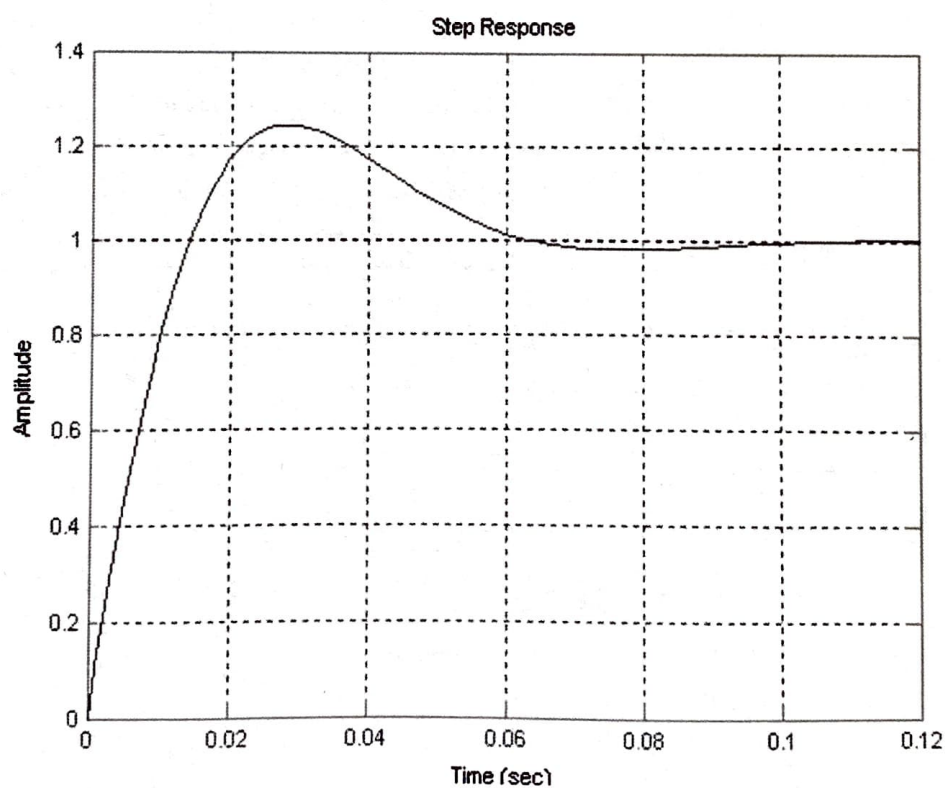
Параметрлер	Сипаттама	Мәні	Бірліктер
K_{PI}	Интегралдық коэффициент	25	сек^{-1}



3.15 Сурет – Ашық тізбектің негізгі диаграммасы



3.16 Сурет – Жылдамдықтың тұйық контурының негізгі диаграммасы



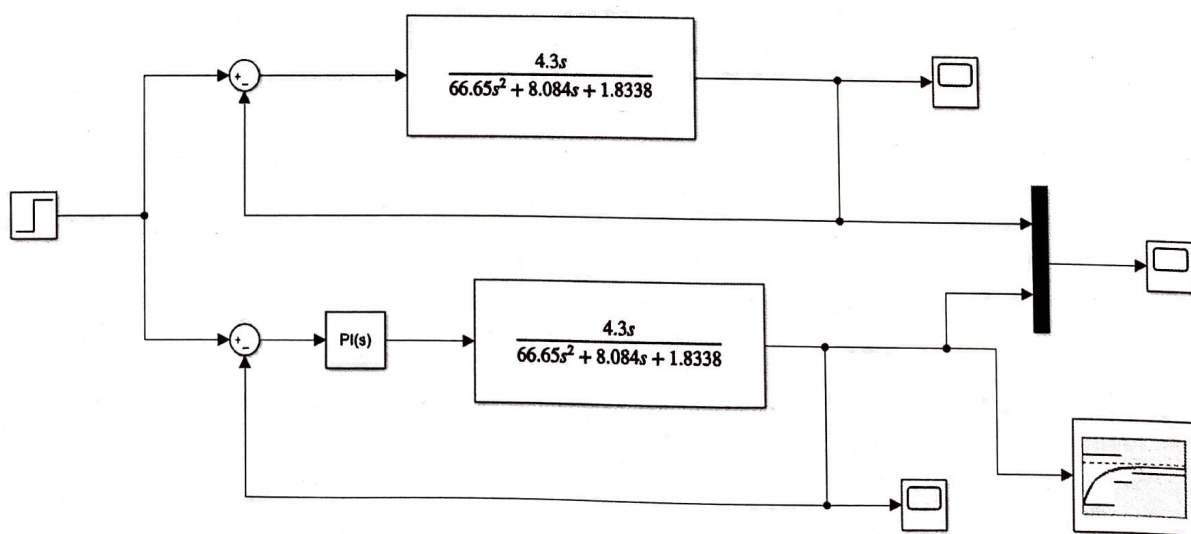
3.17 Сурет – Тізбек жылдамдығының өтпелі сипаттамасы

Күрделі автоматты жүйелерді жүйелік модельдеу күрделі сандық есептеулерді қажет етуі мүмкін.

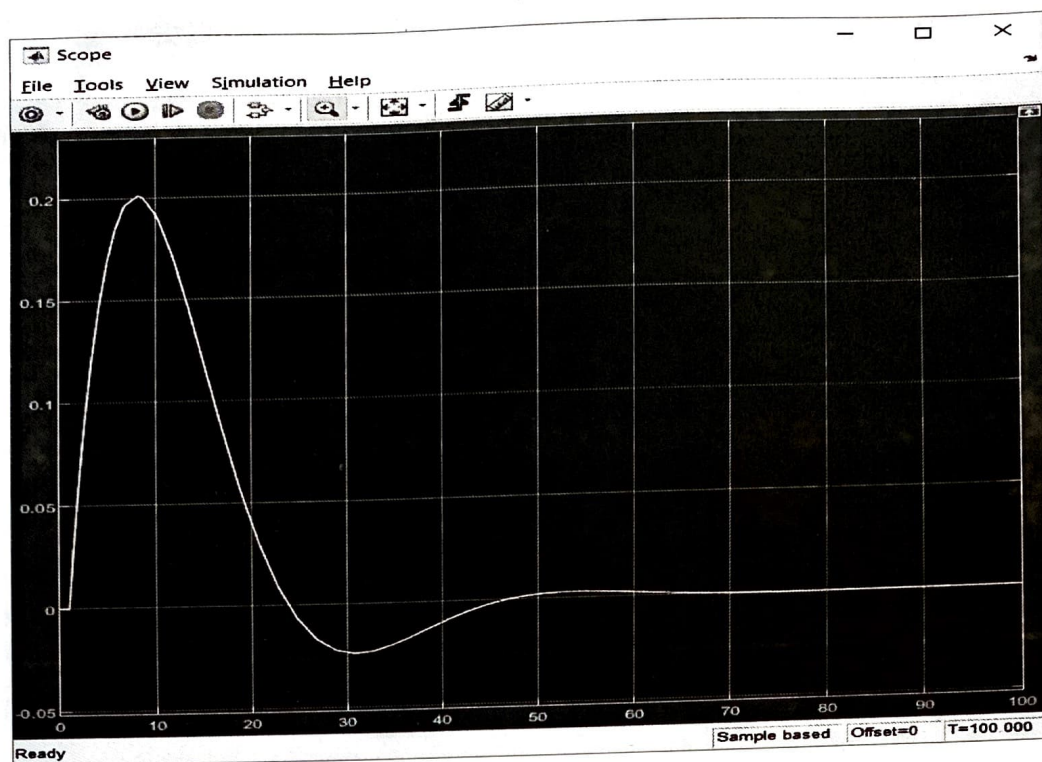
Алдыңғы бөлімдерде талқыланғандай, әртүрлі инженерлік салалардағы робототехниканың кең ауқымы әртүрлі салалардағы үлгілерді көрсетуге қабілетті жаңа дизайн құралдарының қажеттілігін анықтады. MATLAB/SIMULINK және LABVIEW бағдарламалық пакеттері бұл мәселені шешу үшін қуатты құралдарды ұсынады. Бұл құралдардың көмегімен динамикалық жүйелерді модельдеуді және басқару жүйелерін жобалауды орындауға, сондай-ақ модельдеу үшін қажетті кодтарды автоматты түрде жасауға болады [17, 18].

Mathworks ұсынған MATLAB — техникалық есептеулерге арналған жоғары өнімділік тілі. Ол есептерді, визуализацияны және бағдарламалауды қолдану оңай ортада біріктіреді, мұнда есептер мен шешімдер таныс математикалық белгілермен көрсетіледі [13,14].

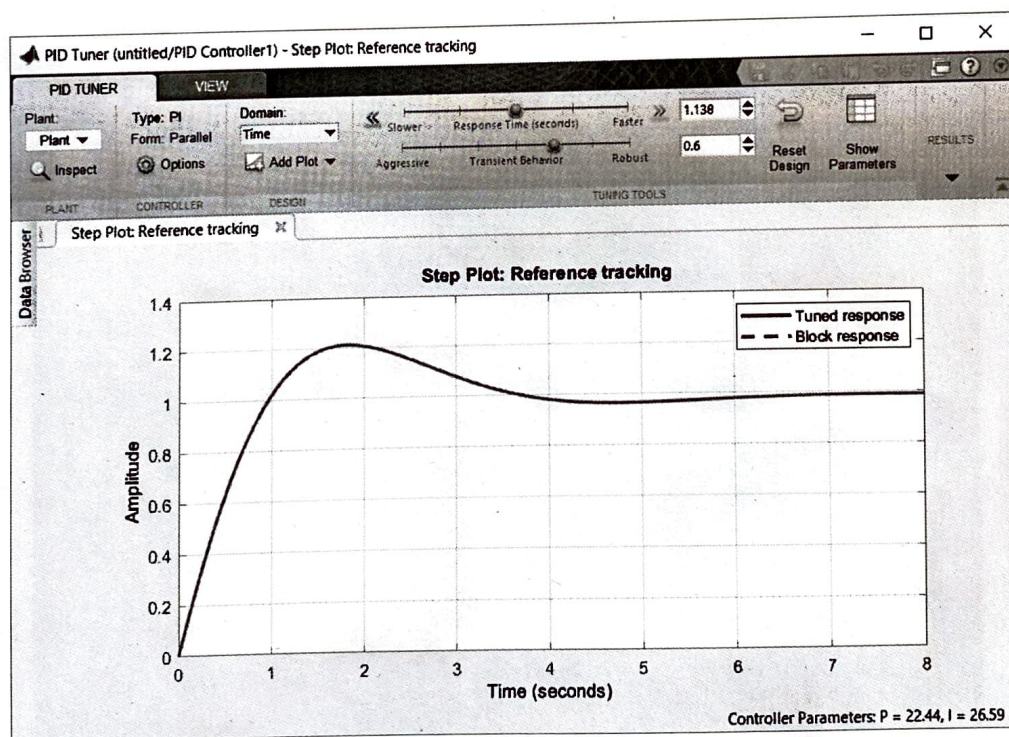
SIMULINK – блок-схемаға бағытталған графикалық ортада жүйелерді динамикалық модельдеуге мүмкіндік беретін MATLAB қосымшасы. SIMULINK әртүрлі инженерлік салалардағы нақты динамикалық жүйелердің әрекетін зерттеу үшін пайдаланылуы мүмкін. SIMULINK жүйесінде модельдеуді әзірлеу палитрадан блоктарды сызба аймағына сүйреп апаруды және блоктарды сигнал ағындарын көрсететін сызықтармен байланыстыруды қамтиды. SimMechanics SIMULINK мүмкіндіктерін механикалық жүйелерді модельдеуге және имитациялауға арналған құралдармен кеңейтеді. SimMechanics – SIMULINK ортасында пайдалануға арналған блок кітапханаларының және арнайы модельдеу функцияларының жинағы. Механикалық құрылымның еркіндік дәрежелерін білдіретін қатты денелердің кез келген санынан тұратын механикалық жүйелерді осы кітапханалардың блоктары арқылы модельдеуге болады [15,16].



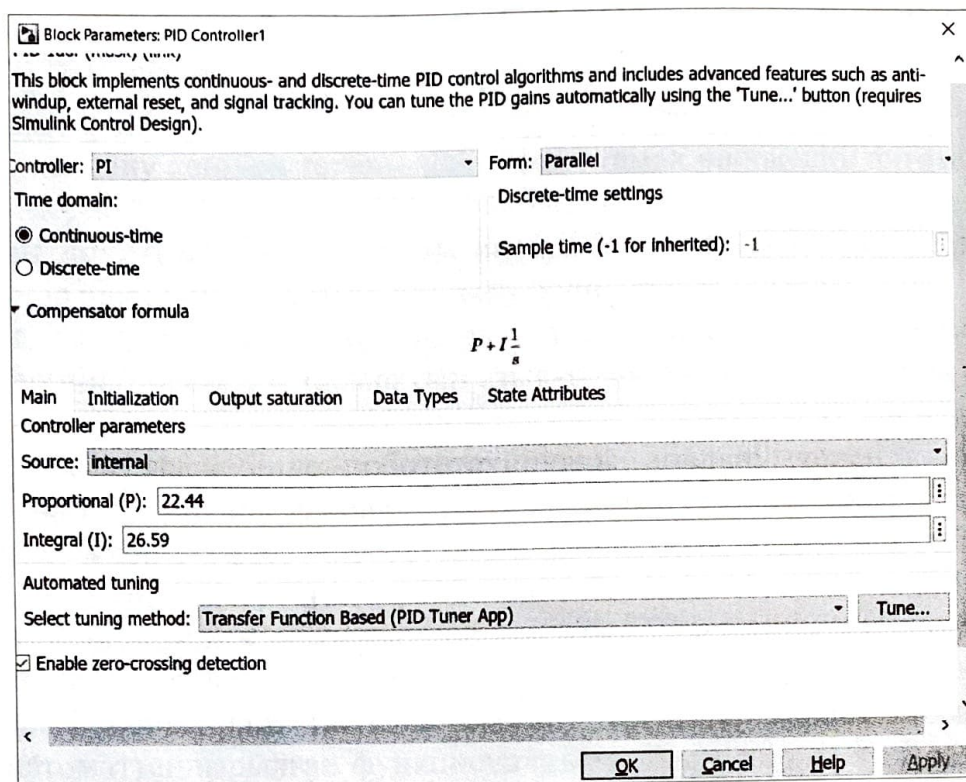
3.18 - Автоматты реттеу жүйесінің matlab бағдарламасындағы моделі



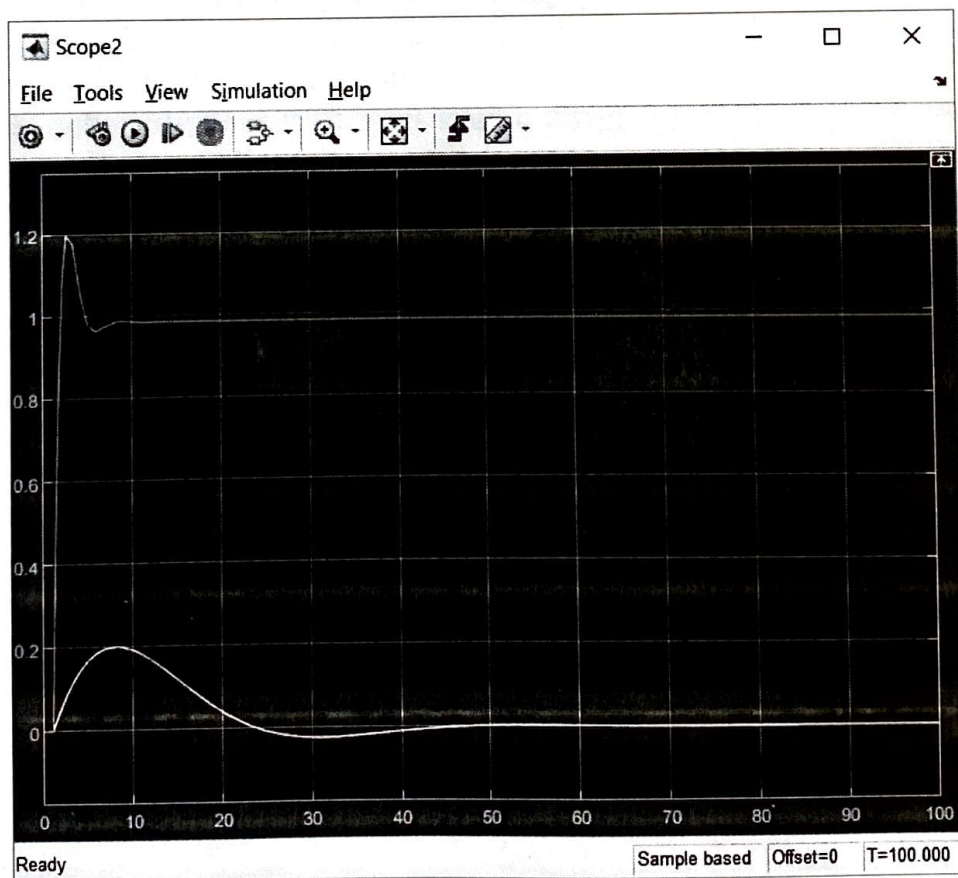
3.19 (а) - Басқару объектісінің реттегішсіз өтпелі сипаттамасы



3.19 (б) - Басқару объектісінің реттегішсіз өтпелі сипаттамасы



3.20 - Реттегіш параметрлерін орнату терезесі



3.21 - Басқару объектісінің ПИ реттегішімен салыстырмалы өтпелі сипаттамасы

ҚОРЫТЫНДЫ

Соңғы жылдары халық тұтынатын тауарлар өндірісінде автоматты жүйелерді қолдану кеңінен тарады. Дегенмен, тамақ өнеркәсібі автоматтандыру және коммерциялық себептерге байланысты басқа салалар сияқты оңай қабылдаған жоқ. Адам баласы қанша икемді болса да, қиындықтар туындады. Сондықтанда адам баласы автоматтандыру жүйесін іске асырды.

Жылдам дамып келе жатқан тұтыну тауарлары өнеркәсібінің негізгі бөлімшелерінің бірі болып табылатын азық-түлік өндірісі автоматты жүйелерді әзірлеушілер мен интеграторлар үшін тартымды салаға айналууда. Соңғы он жылда тамақ өнеркәсібінде робототехниканы қолдану кеңейді және жаңа, қызықты қосымшалар жиі пайда болды. Автоматты басқару, өңдеу, қаптау, кесу және өнімді жалпы өңдеу - роботтарды пайдалануды автоматтандыру үшін қызығушылықтың негізгі бағыттары болып табылады.

Осы дипломдық жұмыс барысында кондитерлік өнеркәсіптің автоматтандыру жүйесі қарастырылды. Оның ішінде қайталап қаптау процессіндегі конвейрлік таспаны басқару процессі қарастырылды. Осы жүйенің автоматтандырылған функционалды сұлбасы әзірленді. Қозғалтқышқа арналған реттеу жүйесі әзірленді және Matlab бағдарламасында модель құрылды.

Жалпы қайта қаптау жүйесін іске асыру нәтижесінде:

- өндірістік процестерді автоматтандыру;
- ішкі өндіріс желісін максималды өнімділікке жеткізу;
- адам еңбегінің үлесін айтарлықтай азайту;
- бақылауды күшейту және топтық қаптаманы қалыптастырудағы «адам факторын» жою кеңінен орын алды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 British Robot Association, "BRA Robot Facts", Aston Science Park Inc., (no date given).
- 2 International Standards Organization, ISO/TR8373.
- 3 Groover, M. P., "Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing", Prentice Hall International Inc., 2011.
- 4 Craig, J. J., "Introduction to Robotics", Addison-Wesley Publishing Company Inc., 2016.
- 5 Кошимбаев Шамиль Кошимбаевич. Автоматтандыру негіздері (Өндірісті цифрлендіру) [Электронный ресурс] : оқу құралы / Ш.К. Кошимбаев, Б. А. Сулейменов, У. Н. Иманбекова ; ҚР білім ж-е ғылым мин-гі; Сатпаев ун-т. - Алматы : Сатпаев
- 6 Sciavicco, L., Siciliano, B., "Modeling and Control of Robot Manipulators", McGraw-Hill, 2015.
- 7 Niku, S. B., "Introduction to Robotics Analysis, Systems Applications", Prentice Hall International Inc., 2017.
- 8 Koren, Y., "Robotics for Engineers", McGraw-Hill, 2012.
- 9 Asada, H., Slotine, J.J.E., "Robot Analysis and Control", John Wiley and Sons, 2016.
- 10 Paul, R.P., "Robot Manipulators, Mathematics, Programming, and Control", the MIT Press, 2018.
- 11 Gopalswamy, A., Gupta, P., Vidyasar, M., "A New Parallelogram Linkage Configuration for Gravity Compensation Using Torsional Springs", International Conference on Robotics and Automation, 2015.
- 12 Miro, J.V., White, A.S., "Modeling an Industrial Manipulator a Case Study", Simulation Practice and Theory, Vol. 9, pp. 293-319, 2012.
- 13 Erzincanli, F., Sharp J.M., "Meeting the need for robotic handling of food products", Food Control, Vol. 8, No.4 pp. 185-190, 2019.
- 14 Орынбет М. М. Автоматтандыру негіздері [Электронный ресурс] : оқу құралы / М. М. Орынбет ; ҚР білім ж-е ғылым мин-гі, Қ. И. Сәтбаев атындағы Қаз. ұлт. техн. зерттеу ун-ті. - Алматы : ҚазҰТЗУ, 2019. - 262 б. : сурет. - ISBN 978-601-323-173-0.
- 15 Wallin, P. J., "Robotics in the food industry: An update", Trends in Food Science & Technology, Vol. 8, 2015.
- 16 Lee, H.S., Chang, S.L. "Development of a CAD/CAE/CAM system for a robot manipulator", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 140, pp. 100 104, 2014.
- 17 Трещев Иван Андреевич. Защищенные автоматизированные системы [Электронный ресурс] : для студентов техн. спец. / И.А. Трещев. - 2019. - 14 с. : ил. - ISBN 978-5-4496-3257-9.
- 18 Саринаова А. Ж. Автоматтандырылған жүйелер бақылаудың базалық берілгендері жобалауы [Текст] : оқу-әдіс. құралы / А. Ж. Саринаова. - Алматы : Эверо, 2018. - 97 б. : сурет. - ISBN 978-601-327-087-6