

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Нурболатов Дарын Төлендіұлы

Роботтарды манипуляциялауға арналған микропроцессорлық басқару жүйесін  
құру

Дипломдық жобаға  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

5B070200—«Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ**

Физика-математика

кандидаты, қауымдастырылған

профессор

 Н.У.Алдияров

«21» мамыр 2021 ж.

«Роботтарды манипуляциялауға арналған микропроцессорлық басқару жүйесін құру» тақырыбына

Дипломдық жобаға

**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Нурболатов Дарын Төлендіұлы

Ғылыми жетекші

доктор PhD, сениор. лектор



Абжапаров.Қ.А.

«24» мамыр 2021 ж.

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ


Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

5B070200 - Автоматтандыру және басқару

**ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ**

Физика-математика  
кандидаты,  
қауымдастырылған профессор  
 Н.У.Алдияров  
«27» мамыр 2021 ж.

**Дипломдық жобаны дайындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Нурболатов Дарын Төлендіұлы

Жобаның тақырыбы: «Роботтарды манипуляциялауға арналған микропро-  
цессорлық басқару жүйесін құру»

Университеттің «24» қараша 2020 жылғы ғылыми кеңесінің № 2131-б  
шешімімен бекітілген.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзімі «2» мамыр 2021 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: дипломалды практикасындағы  
жиналған мәліметтер.

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

- а) кіріспе;
- б) технологиялық бөлім, арнайы бөлім;
- в) экономикалық бөлім, еңбек қорғау бөлімі;

Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажет сызбалар  
көрсетілген): автоматтық сұлбасы, принципіалдық сұлбасы, құрылымдық сұлба  
Ұсынылған негізгі әдебиеттер

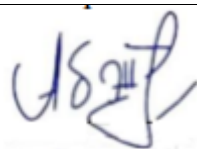
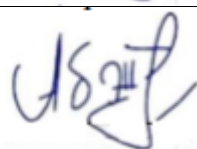

[1] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир— 1989. – 624 б.

[2] Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами. СПб.  
– 2001. – 168 б.

Дипломдық жұмысты даярлау  
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, дайындалатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Технологиялық бөлім	3 ақпан 2021ж.	
Арнайы бөлім	27 наурыз 2021ж.	

Аяқталған дипломдық жобаның және оларға  
қатысты диплом жобасы бөлімдерінің кеңесшілері мен нормалық  
бақылаушының қолтаңбалары

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Экономикалық бөлім	Қ.А.Абжапаров доктор PhD, сениор лектор	24.05.2021	
Қауіпсіздік және еңбекті қорғау бөлімі	Қ.А.Абжапаров доктор PhD, сениор лектор	24.05.2021	
Нормалық бақылаушы	Н.С. Сарсенбаев техн. ғыл. кандидаты Ассистент- профессор	27.05.2021	

Ғылыми жетекшісі



Қ. А.Абжапаров

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы



Д. Т. Нурболатов

Күні «27» қаңтар 2021 ж.

## АҢДАТПА

Кіріспеде қазіргі уақытта манипуляциялық роботтарды басқару саласындағы негізгі проблемалар қарастырылып, шешілетін міндеттердің өзектілігі анықталды.

Бірінші бөлімде күрделі электромеханикалық объект ретінде манипуляциялық роботты басқарудың негізгі ерекшеліктері талданады, сонымен қатар манипуляциялық роботты басқару жүйесінің архитектурасын құру принциптері тұжырымдалған.

Екінші бөлімде басқару жүйесін синтездеуге негіз болатын манипуляциялық роботтың математикалық моделін жасауға арналған. Зерттеу жүргізу үшін негіз ретінде алты білікті Puma-560 манипуляторы таңдалды.

Үшінші бөлімде басқару жүйесін дамытуға және зерттеуге арналған. Негізгі мақсаттар оған қойылатын талаптарды анықтау, синтездеу және технологиялық талаптарға сәйкестігін бағалау болды.

## АННОТАЦИЯ

Во введении рассмотрены основные проблемы, существующие в настоящее время в области управления манипуляционными роботами, и определена актуальность решаемых задач.

В первом разделе выполнен анализ основных особенностей управления манипуляционным роботом как сложным электромеханическим объектом, а также сформулированы принципы построения архитектуры системы управления манипуляционным роботом.

Второй раздел посвящен разработке математической модели манипуляционного робота, которая служит основой для синтеза СУ. В качестве основы для проведения исследований был выбран шестизвенный манипулятор PUMA-560.

Третий раздел посвящен разработке и исследованию системы управления. Основными целями являлось определение требований к ней, синтез и оценка соответствия технологическим требованиям.

## ANNOTATION

O In the introduction, the main problems that exist at present in the field of control of manipulative robots are considered, and the relevance of the problems being solved is determined.

In the first section, the analysis of the main features of the manipulation robot control as a complex electromechanical object is carried out, and the principles of building the architecture of the manipulation robot control system are formulated.

The second section is devoted to the development of a mathematical model of a manipulation robot, which serves as the basis for the synthesis of control systems. The six-link manipulator PUMA-560 was chosen as the basis for the research.

The third section is devoted to the development and research of the control system. The main goals were to determine the requirements for it, synthesize and assess compliance with technological requirements.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Манипуляциялық роботты басқару жүйесін құру талаптары мен принциптерін анықтау	11
1.1 Манипуляциялық роботтарды қолдана отырып, технологиялық процестер мен жабдықтарды талдау	11
1.2 Манипуляциялық роботқа және басқару жүйесіне қойылатын технологиялық талаптарды айқындау	19
1.3 Қазіргі манипуляциялық роботты басқару жүйелерін талдау	23
1.4 Манипуляциялық роботты басқарудың заманауи жүйесін құру принциптерін әзірлеу	29
2 Манипуляциялық роботтың математикалық моделін жасау	36
2.1 Манипуляциялық роботтың кинематикалық схемасын жасау	36
2.2 Жалпы математикалық модель	39
3 Басқару жүйесін дамыту және зерттеу	45
3.1 Манипуляторды басқару жүйесін дамыту	45
3.2 Басқару жүйесінің құрылымдық схемасы	46
3.3 Басқару жүйесінің сапа критерийлерін анықтау	47
Қорытынды	53
Қолданылған әдебиеттер	54



## КІРІСПЕ

Қазіргі кезде өндірістің әртүрлі салаларында кең ауқымда технологиялық жұмыстар орындау үшін өндірістік манипуляциялық роботтар (МР) қолданылады. Олар бірқатар ерекшеліктері бар күрделі электромеханикалық объект ретінде саналады. Біріншіден, манипуляциялық роботтар көптеген тәуелсіз немесе өзара байланысты буындарды қамтитын күрделі кинематикалық құрылымымен ерекшеленеді. Екіншіден, өзара байланысты буындар кеңістіктегі жағдайының өзгеруі манипуляторға әсер ететін физикалық күштерге әсер етеді. Үшіншіден, көптеген қозғалтқыштарды синхронды басқару қажет.

Осы ерекшеліктердің болуына байланысты манипуляциялық роботтарды өндіріс процесіне енгізу үшін арнайы жасалынған басқару жүйелері (БЖ) қажет. Олар оператор мен манипуляциялық роботтың өзара әрекеттесуін ұйымдастыруға қызмет етеді және технологиялық операцияны автоматтандыруға қажетті процестердің орындалуын қамтамасыз етеді. Қазіргі уақытта отандық өнеркәсіпте қолданылатын манипуляциялық роботты басқару жүйелерінің көпшілігі шетелдік өнім болып табылады. Олар жабық шешім болғандықтан, оларды қолданған кезде басқару жүйесі мен олардың компоненттерін жабдықтауға және техникалық жағынан қамтамасыз етуге шетелдік фирмаларға тәуелділік бар. Сонымен қатар, оларды қолдану өндіруші белгілеген функционалды шешімдермен анықталады, бұл мәселелерді шешуде қолдануға мүмкіндіктерін шектейді.

Басқару жүйесін тікелей дамытумен қатар манипуляциялық роботтарды басқа технологиялық объектілермен, мысалы, металл өңдеу машиналарымен біріктіру қажеттілігі туындайды. Бұл тапсырма басқару жүйесінің архитектурасын өзгертуді қажет етеді.

Осылайша, жұмыстың мақсаты - динамикалық параметрлердің өзгеруі жағдайында жоғары сапа бақылауын қамтамасыз ететін қозғалыс контроллеріне негізделген манипуляциялық өнеркәсіптік роботты басқару жүйесін құру және зерттеу.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

- 1) жалпы тәсілдерді талдау және манипуляциялық роботты басқаруға қойылатын талаптарды анықтау;
- 2) манипулятордың кинематикасы мен динамикасының ерекшеліктерін зерттеп, оның математикалық моделін қалыптастыру;
- 3) әр түрлі реттегіштермен манипуляциялық роботты басқару жүйесін әзірлеу және зерттеу;
- 4) манипуляциялық роботты басқару жүйесінің аппараттық және бағдарламалық жасақтамасын әзірлеу;

5) манипуляциялық роботтың эксперименттік стендтегі дамыған басқару жүйесін зерттеу.

Алға қойылған міндеттерді шешу үшін матрицалық және операциялық есептеулер, беру функциялары аппараты және құрылымдық схемалар, кеңістіктік түрлендіру әдістері және объектіге бағытталған бағдарламалау қолданылады. Синтезделген жүйелерді зерттеу зертханалық және өндірістік жабдықтарда имитациялық әдістерін қолдану арқылы жүргізілді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы өндірістік манипуляциялық роботты басқару мәселесін шешуге жаңа тәсілдерді әзірлеумен және енгізумен анықталады және келесілерден тұрады:

1) қозғалыс реттегіші мен өнеркәсіптік компьютердің көмегімен қос процессорлы архитектураға негізделген манипуляциялық роботты басқару жүйесін құру құрылымы мен принциптері ұсынылған, бұл есептерді шығару мәселелерін тиімді бөлуге және шешуге мүмкіндік береді;

2) кинематиканың тура және кері есептерін есептеу моделі, звеноларға әсер ететін моменттерді есептеуге мүмкіндік беретін динамикалық модель және электромеханикалық модель кіретін манипуляциялық роботтың жалпыланған математикалық моделі жасалды;

3) берілген дәлдікті сақтай отырып есептеу уақытын минимизациялауға негізделген Лагранж-Эйлер әдісін қолдана отырып динамикалық модельді есептеуді оңтайландыру әдісі әзірленді, бұл бақылаудың қажетті сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді;

4) позициялық реттегіштерді құрудың нұсқалары ұсынылады және манипуляциялық роботтың басқару жүйесінің сапасының интегралды бағалары алынады, олар әр түрлі жұмыс режимдерінде оларды ұтымды пайдалану шекараларын анықтайды.

## **1 Манипуляциялық роботты басқару жүйесін құру талаптары мен принциптерін анықтау**

Қазіргі уақытта манипуляциялық роботтар адам өмірінің әртүрлі салаларында кеңінен қолданылады. Оларды пайдалану технологиялық процестердің өнімділігін арттыруға, қауіпті аймақтардағы адамдардың болуын болдырмауға және агрессивті ортада операцияларды жүргізуге мүмкіндік береді.

Манипуляциялық робот - бұл әртүрлі жұмыстарды орындау үшін материалдардың, бөлшектердің, құралдардың немесе арнайы құрылғылардың белгілі, алдын-ала қозғалуын жүзеге асыруға арналған қайта бағдарламаланған көпфункционалды манипулятор. Манипулятор роботының маңызды құрамдас бөлігі - манипулятордың өзі - жұмыс органымен жабдықталған, кеңістіктегі объектілерді жылжытқанда адам қолының қызметіне ұқсас моторлық функцияларды орындайтын құрылғы [1].

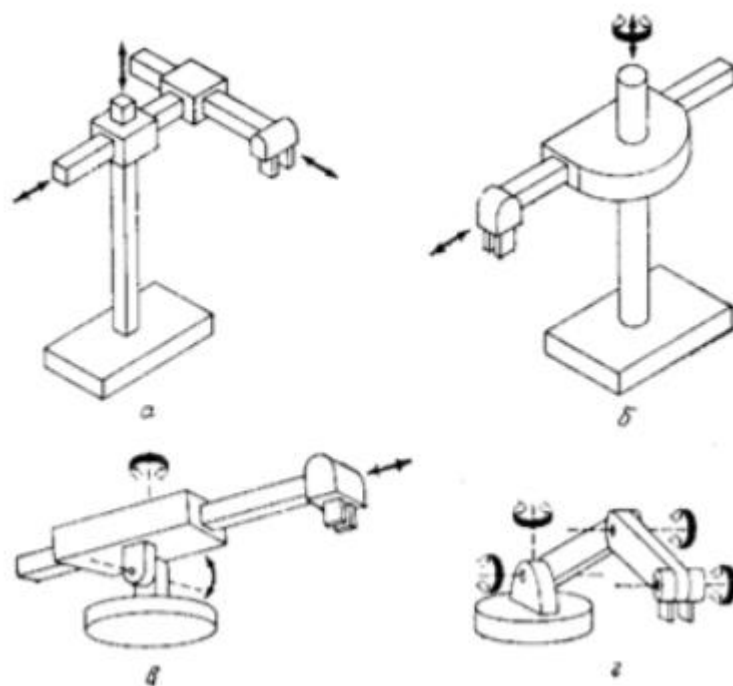
Өзінің құрылымы бойынша манипулятор - бұл жеке элементтерінің арасында механикалық буындар болатын көп буынды машина. Қазіргі қолданыстағы манипуляциялық роботтардың көпшілігі қимылдарды орындау үшін электр қозғалтқыштарын пайдаланады. Пневматикалық және гидравликалық жетектер жұмыс денесін басқару үшін қолданыла алады.

### **1.1 Манипуляциялық роботтарды қолдана отырып, технологиялық процестер мен жабдықтарды талдау**

Қолдану саласына байланысты манипулятордың механикалық бөлігін құрудың әртүрлі схемаларын қолдануға болады. Оның «қолы» мен «білегінің» құрылымын бөліп алу керек.

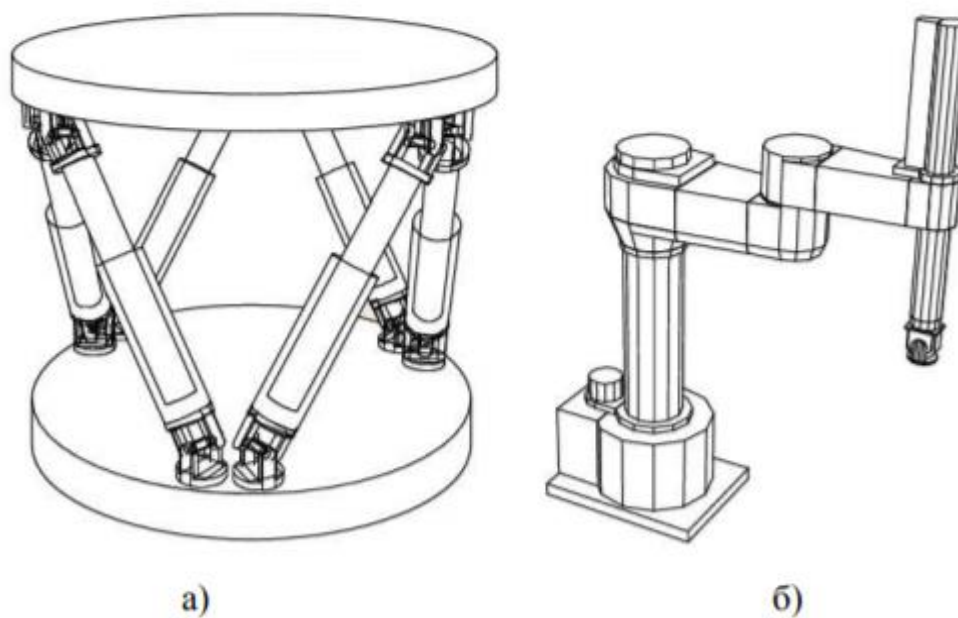
"Қолдың" негізгі құрылымы – айналмалы (вращательными - В) және аудармалы (поступательными - П) буындармен өзара байланысқан байланыстардың тізбегі. Байланыстардың сипаты мен саны бойынша кеңістіктік қозғалыстарды ұйымдастырудың келесі санаттарын бөлуге болады:

- декарттық координаттар жүйесі бар роботтар (3П) (сурет 1.1, а);
- цилиндрлік координаттар жүйесі бар роботтар (В3П) (сурет 1.1, б);
- сфералық координаттар жүйесі бар роботтар (2ВП) (сурет 1.1, в);
- айналмалы координаттар жүйесі бар роботтар (nВ) (сурет 1.1, d)



Сурет 1.1 - Манипуляциялық роботтардың түрлері

Сонымен қатар, қазіргі уақытта параллель байланыстарды қолданатын манипуляторлар (сурет. 1.2, а) және SCARA-манипуляторлар (Selective Compliant Assembly Robot Arm) (сурет. 1.2, б) дамуда.



Сурет 1.2 - Параллель байланысы бар манипулятордың және SCARA-манипулятор

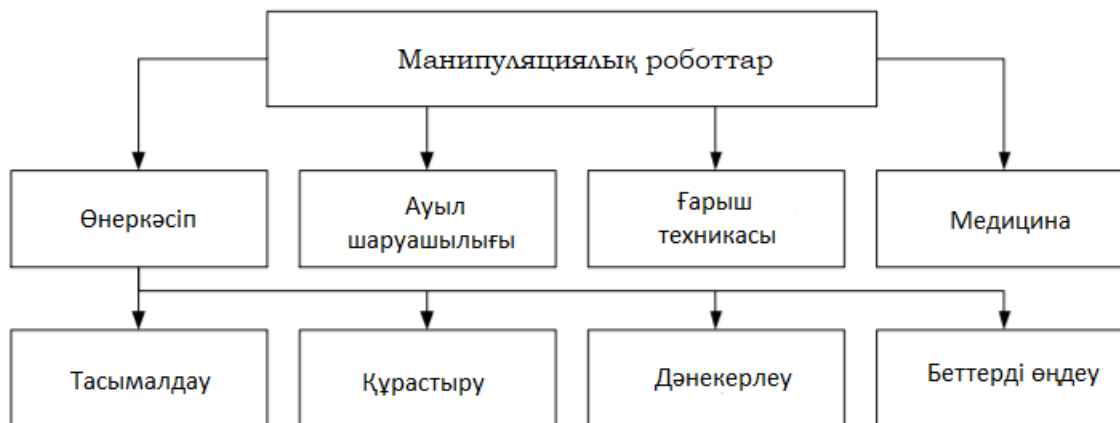
Қазіргі уақытта өндірілген манипуляторлардың көпшілігі айналмалы координаттар жүйесі бар роботтардың қатарына жатады. Олар қозғалыс жүзеге асырылатын жұмыс аймағының ең үлкен көлемін қамтамасыз етеді. Олардың құрылымы жұмыс аймағында кедергілер болған кезде пайда болатын немесе пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажет болатын ықтимал қозғалыстарға шектеулер қою кезінде де жұмыс органының белгіленген жағдайы мен бағытына қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Манипуляциялық роботтардың негізгі өндірушілері-ABB, Fanuc, Kawasaki, KUKA, Yaskawa. Айта кету керек, қазіргі уақытта өндірілген манипуляторлар алты немесе одан да көп еркіндік деңгейіне ие, өйткені бұл кеңістіктегі жұмыс органының ыңғайлы және дәл орналасуы мен бағдарлануын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [3].

Манипуляциялық роботтардың нақты іске асырылуы мен құрылысын таңдау, ең алдымен оны тікелей қолдану саласымен анықталады. Қазіргі уақытта оларды қолданудың негізгі бағыттары (сурет 1.3):

- өнеркәсіп;
- ауыл шаруашылығы;
- ғарыш техникасы;
- медицина.

Осы салалардың арасында қолдану аясы өнеркәсіпте кеңінен таралды.



Сурет 1.3 - Манипуляциялық роботтарды қолдану салалары

Манипуляциялық роботтарды орындалатын операциялардың төрт негізгі класын ажыратуға болады:

1. Тасымалдау, орау;
2. Құрастыру;
3. Дәнекерлеу және кесу;
4. Беттерді өңдеу.

Тасымалдау операциялары объектілерді берілген нүктелер арасында жылжытудан тұрады. Мұндай манипуляторлардың жұмыс сапасының негізгі көрсеткіші позициялау дәлдігі болып табылады. Көптеген операцияларда шамамен 0,1 мм шамасы жеткілікті.

Егер манипулятор бөлшектерді тасымалдау үшін қолданылса, ол күрделі технологиялық операцияның бөлігі ретінде әрекет етеді, мысалы, металл өңдеу машинасында өңдеу. Бұл жағдайда манипуляциялық роботтың негізгі талаптары позициялау дәлдігі және қозғалыс шектеулерін сақтау болып табылады, өйткені операцияны кеңістіктің шектеулі аймағында орындауға болады.

Манипуляциялық роботты ұтымды пайдалану мәселесінің мысалы ретінде машинада өңдеуге байланысты өндірістік операцияны келтіруге болады (сурет 1.4). Манипулятор бөлікті арнайы орналасқан паллеттен алып, жұмыс аймағының шектеулерін ескере отырып, оны өңдеу аймағына орналастыруы керек, өнімді өңдеу үшін берілген траектория бойымен жылжытып, жұмыс аяқталғаннан кейін дайын өнімдер аймағына жеткізуі керек [2].



Сурет 1.4 - Манипуляциялық роботты пайдалана отырып, станокта бұйымдарды өңдеу

Нақты мысал ретінде бөлшектерді конвейерге жылжытатын манипуляциялық робот (сурет. 1.5). Бұл операция келесі объектінің орнын анықтаудан, оны ұстап алудан және қозғалатын бетке жылжытудан тұрады.



Сурет 1.5 – Тасымалдаушы манипулятор

Құрастыру операциялары бөлшек пен негізгі өнімді біріктіруден тұрады. Бұл жағдайда негізгі міндет - бөлшектерді бір-біріне қатысты дәл орналастыру қажеттілігі. Құрастыру конвейерде жүргізілген жағдайда манипулятор тек бөлікті орналастырып қана қоймай, оны қажетті дәлдікпен орындауы керек. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда объектіні бекіту үшін жұмыс органының берілген күшін ұстап тұру қажет болуы мүмкін.

Қазіргі уақытта SCARA манипуляторлары көбінесе кішкентай өнімдерді құрастыруда қолданылады (сурет 1.6). Осы түрдегі манипуляциялық робот жоғары құрастыру жылдамдығын және түпкілікті өнімнің әртүрлі нұсқаларына икемділікті қамтамасыз етеді. Олар электронды құрылғыларды құрастыруда кеңінен қолданылады. Компоненттердің миниатюрасына, дайын өнімдердің кішкентай өлшемдеріне және өнімнің едәуір көлеміне байланысты позициялау дәлдігіне (0,01 мм-ге дейін) және қозғалу жылдамдығына (шамамен 1 м/с) жоғары талаптар бар. Бұл сонымен қатар манипуляциялық роботтың осы талаптардың орындалуын қамтамасыз ететін айтарлықтай есептеу мүмкіндіктеріне ие болуына әкеледі.



Сурет 1.6 - Құрастырушы SCARA-манипулятор

Үлкенірек объектілерді жинау кезінде, әдетте, айналмалы координаттар жүйесінде жұмыс істейтін көп буынды манипуляторлар қолданылады. Бұл жағдайда сапаның маңызды критерийлері позициялаудың тұрақты дәлдігін (шамамен 0,5 мм) және істен шығуды (50 000 сағатқа дейін) қамтамасыз ету болып табылады. Елеулі жүктерді жылжыту қажеттілігіне байланысты бұл манипуляторлардың жүк көтергіштігі жоғары (50 кг немесе одан да көп), бұл қуатты қозғалтқыштарды қолдануды қажет етеді.

Жылжытылатын объектілердің едәуір массасы динамикалық факторлардың манипулятордың қозғалысына әсерінің артуына әкеледі, бұл манипуляциялық роботты басқару құрылымын күрделендіруді және өнімділік талаптарын арттыруды талап етеді.

Өнімдерді дәнекерлеу және кесу манипуляциялық роботтан позициялау дәлдігін (0,05-0,1 мм) ғана емес, сонымен қатар берілген траекторияны сақтауды талап етеді. Осыған байланысты манипулятордың статикалық сипаттамаларына ғана емес, оның динамикасына да жоғары талаптар туындайды. Атап айтқанда, мұндай манипуляторлардың жұмысының маңызды ерекшелігі - қозғалыс кезінде оның кеңістіктік конфигурациясының өзгеруін ескеру қажеттілігі.

Ірі заттарды құрастыру сияқты, дәнекерлеу манипуляторлардан жоғары көтергіштік қабілетін талап етеді, өйткені қондырғылардың массасы едәуір үлкен.

Дәнекерлеу процесі стационарлы түрде (1.7, а - сурет) және құрастыру линиясының бөлігі ретінде де (1.7, б - сурет) жүруі мүмкін. Екінші жағдайда, жинау операцияларына ұқсас, манипуляциялық робот тек берілген бағдарлама бойымен қозғалыстарды орындап қана қоймай, сонымен қатар қозғалысты қадағалап отыруы керек [6].





а)



б)

Сурет 1.7 - Дәнекерлеу жұмыстары

Бетті өңдеуге арналған манипуляциялық роботты екі классқа бөлуге болады:

1. Байланыссыз өңдеуге арналған манипуляторлар;
2. Беткеймен қуат операцияларын орындайтын манипуляторлар.

Бірінші класс өнімнің беткі қабатымен тікелей байланыссыз өңдеуден тұратын бояу (1.8, а - сурет) немесе тазалау сияқты операцияларды қамтиды. Бұл жағдайда манипуляциялық роботтарға қойылатын негізгі талап - өнімнің бетінен тұрақты қашықтықты сақтау. Бұндай манипуляциялық роботтар, әдетте, өңделген беттің сапасына қойылатын талаптарды қанағаттандыру үшін беткейден қашықтық датчиктерімен жабдықталған.

Екінші сыныпқа манипулятор бөлікті өңдеу үшін қолданылатын тапсырмалар кіреді (1.8, б - сурет). Бұл жағдайда ол қажетті құралмен жабдықталуы керек және оның басқару жүйесі тиісті алгоритмдерді қолдауы керек. Оған қойылатын тікелей талаптар операцияның ерекшелігімен анықталады.



a)

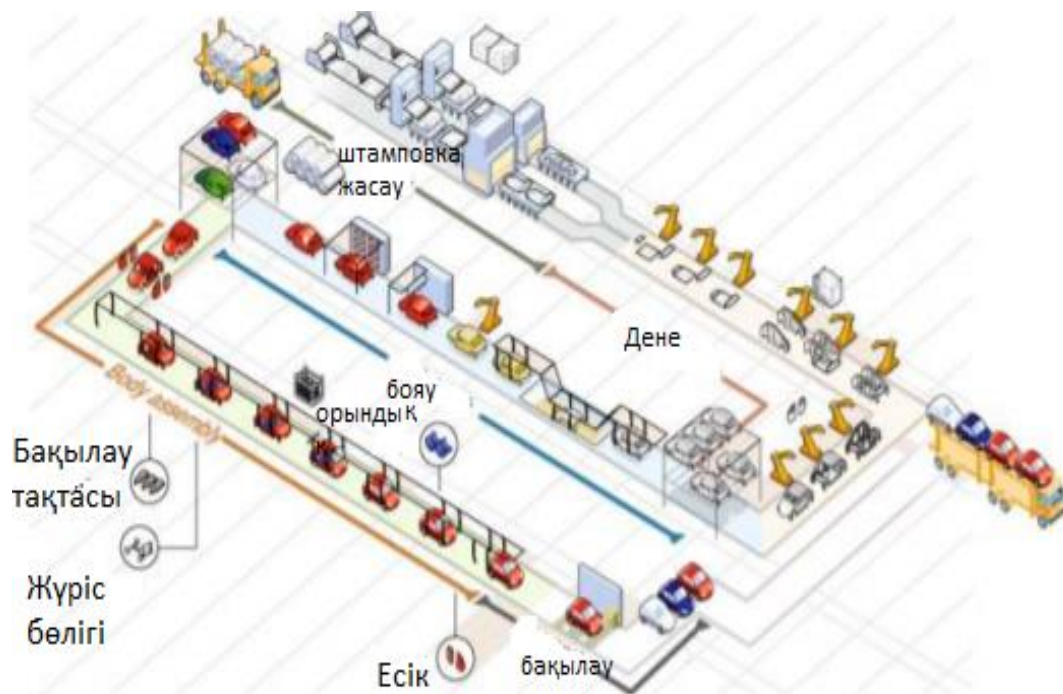


б)

Сурет 1.8 - Өнеркәсіптік манипуляторлармен бетті өңдеу

Қазіргі уақытта өнеркәсіпте икемді өндірістік жүйелер қолданылады, олардың құрамына металл өңдеу машиналары мен өнеркәсіптік роботтар кіруі мүмкін. Бұл жағдайда оның жеке компоненттерінің жұмысы бір-бірімен үйлестірілуі керек. Бұл жағдайда ең тиімді шешім икемді өндірістік жүйелердің барлық компоненттерін құру үшін бірыңғай архитектураны қолдану болады.

Жеке өндірістік аймақтар өндіріс аясында құрастыру желілеріне біріктірілуі мүмкін (1.9 - сурет), бұл технологиялық процестің жекелеген компоненттері арасындағы өзара іс-қимылдың одан да күрделенуіне әкеледі. Бұл жағдайда өнімді өңдеу кезінде жеке құрылғылардың өзара әрекеттесуінен басқа, өндірістің жеке кезеңдерінің орындалуын синхрондау талаптары туындайды [4].

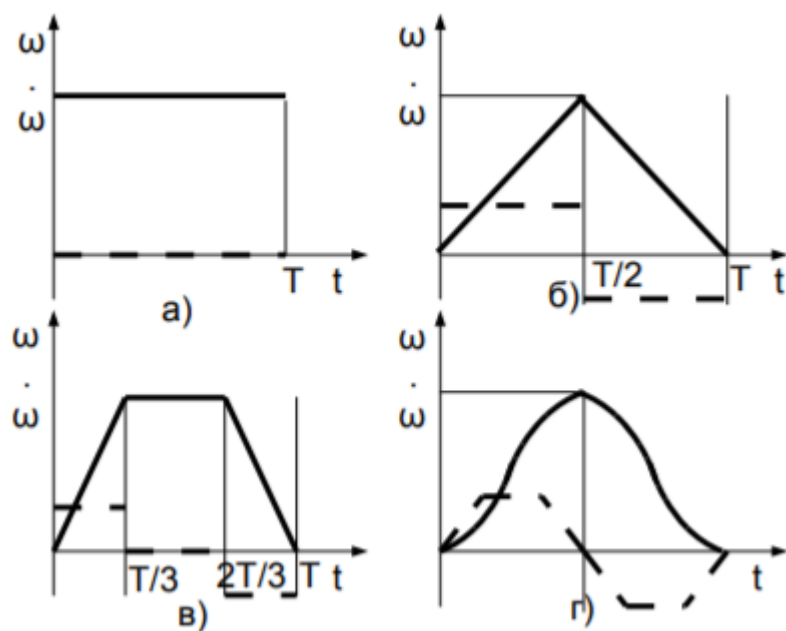


Сурет 1.9 - Автомобиль өндірісінің құрастыру желісі

## 1.2 Манипуляциялық роботқа және басқару жүйесіне қойылатын технологиялық талаптарды айқындау

Талдауға сәйкес, манипуляциялық роботтың негізгі міндеттері жұмыс органының орналасуы және берілген траекторияны ұстау болып табылады.

Манипуляторды белгілі бір траекторияны ұстанбастан белгілі бір нүктеге орналастыру немесе жылжыту, ең алдымен, манипулятордың кинематикалық құрылымын ескеруді қажет етеді. Бұл жағдайда манипуляторға және оның жеке компоненттеріне әсер ететін физикалық күштерді білдіретін динамикалық сипаттамалар технологиялық операцияның сапасына айтарлықтай әсер етпейді. Қазіргі заманғы жалпы өнеркәсіптік манипуляторлар позициялау дәлдігін шамамен 0,05-0,1 мм қамтамасыз етеді. Жылжыту мен орналастыруға кететін уақытты азайту қажеттілігін ескере отырып, траектория мен жылдамдық профилін қалыптастыру тәсілдерін анықтау қажет (1.10 - сурет) [5].



Сурет 1.10 - Жылжу жылдамдығы профилінің нұсқалары

Жоғарыда келтірілген графиктерден жылдамдықтың өзгеруінің таңдалған Заңына байланысты операцияның орындалу уақыты/жылдамдығының қатынасы, сондай-ақ үдеу қисығы (нүктелі сызықпен көрсетілген) өзгеретінін көруге болады. Көріп отырғанымыздай (1.10 - сурет) үшбұрышты (1.10, б - сурет) және трапециялы (1.10, в - сурет) профильдер өзгеру орнында үдеу қисығының бұзылуына әкеледі. S-қисығын қолдану (1.10, г - сурет) жылдамдықты қалыптастыру үшін жылдамдық пен үдеудің күрт өзгеруінсіз тегіс қозғалыс қисығын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Бұл шешім манипулятордың механикалық және электрлік компоненттеріне жүктемені азайтады, осылайша оның қызмет ету мерзімін арттырады.

Берілген траектория бойынша қозғалысты жеке нүктелер арасындағы көптеген шағын қозғалыстардың жиынтығы ретінде қарастыруға болады. Осыған сүйене отырып, жылдамдық профилі туралы жоғарыда айтылғандар осы тапсырмаға да қатысты. Айта кету керек, бұл жағдайда жылдамдық пен үдеудің өзгеру заңдары траекторияның кез-келген нүктесінде берілген позициялау дәлдігін сақтау талаптары негізінде анықталуы керек.

Контурлық қозғалыстардың айрықша ерекшелігі - бұл манипулятордың динамикалық сипаттамаларының қозғалысты басқару сапасына елеулі әсері. Ең алдымен, бұл манипулятордың жеке буындарының физикалық параметрлерінің өзгеруінен көрінеді (буындарға қатысты инерция моменттері, жеке буындардың өзара әрекеттесу күші).

Манипуляциялық роботтың мақсатына байланысты қозғалу үшін әртүрлі типтегі жетектер қолданылады (1.11 - сурет).



Сурет 1.11 - Манипуляциялық роботтарда қолданылатын жетектердің түрлері

Айтарлықтай тұрақты күш салуды талап ететін мәселелерде, атап айтқанда, манипулятордың жұмыс органын басқару үшін пневматикалық (жүк көтергіштігі төмен манипуляторлар) және гидравликалық (жүк көтергіштігі жоғары) жетектерді пайдалануға болады. Ең алдымен, бұл объектіні сенімді бекіту қажет болатын құрастыру және тасымалдау-тиеу операцияларына қатысты. Бұл жағдайда мұндай жетектерді пайдалану ең аз шығынмен қажетті нәтижеге қол жеткізуге мүмкіндік береді, бірақ сыртқы қысым көздерін пайдалануды қамтиды [7].

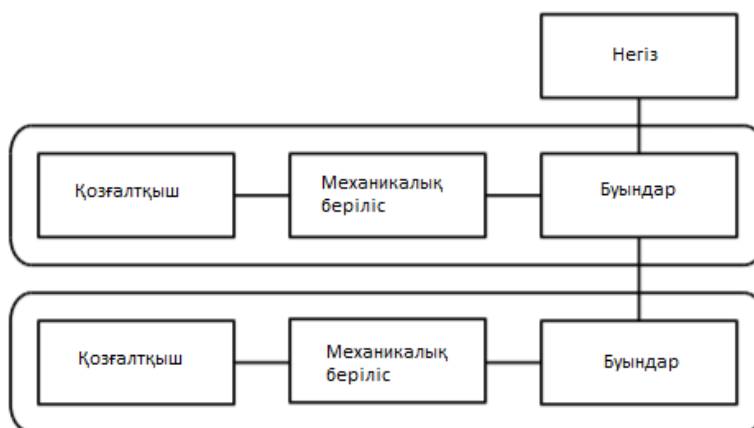
Қазіргі кездегі манипуляциялық роботтардың көп бөлігі қозғалыстарды орындау үшін электрлік жетектерді қолданады. Пневматикалық және гидравликалық жетектерге қатысты оның басты артықшылықтары:

- жоғары ПӘК;
- шағын өлшемді;
- басқарудың қарапайымдылығы;
- қуаттылықтың кең ауқымы.

Қазіргі заманғы өндірістік манипуляторларда көбінесе тұрақты ток қозғалтқыштар, сатылы және вентильді қозғалтқыштар қолданылады. Ең жиі қолданылатын тұрақты ток қозғалтқыштары және вентильді қозғалтқыштар. Тұрақты ток қозғалтқыштары әдетте жүк көтергіштігі аз (10 кг-ға дейін) манипуляторларда қолданылады. Жүк көтергіштігі жоғары манипуляциялық роботтарда вентильді электрқозғалтқыштары қолданылады, бұл үлкен ПӘК-ке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Аз шығындармен жеткілікті жоғары ПӘК-ті қамтамасыз ететін асинхронды қозғалтқыштарды қолданудың болашағы зор.

Манипуляторды басқару жүйесін жасау кезінде оның кинематикалық құрылымындағы сызықты емес элементтерді ескеру қажеттілігі маңызды мәселе болып табылады (1.12 - сурет). Олардың негізгісі - құрғақ және тұтқыр үйкелістің әсері. Сондай-ақ, жеке буындардың арасындағы серпімді

байланыстарды және қозғалтқыштардан буындарға механикалық берілістерді ескеру қажет. Манипуляциялық роботтардағы механикалық берілістің негізгі түрлері - тісті және белдік.



Сурет 1.12 – Манипулятордың кинематикалық құрылымы

Айта кету керек, беттерді күшпен өңдеуге байланысты технологиялық операцияларда жұмыс органы бетімен әрекеттескенде айтарлықтай серпімді байланыстар пайда болады. Сонымен қатар, серпімді байланыстар жоғары жүктеме сыйымдылығы бар манипуляциялық роботтарда айтарлықтай әсер етеді (шамамен 500 кг және одан жоғары).

Егер манипуляциялық роботтарды тұтастай қарастыратын болсақ, онда кинематикалық бейсызықтықтың әсері динамикалыққа қарағанда әлдеқайда аз болады. Бұдан шығатын болсақ, оның жекелеген элементтері арасындағы байланысты қатаң түрде қабылдауға болады. Бұл жағдайда манипулятордың динамикалық моделінде буындардың өзара әрекеттесуінен болатын барлық әсерлер ескеріледі [10].

Манипуляциялық роботты басқару үшін оның электромеханикалық моделінің күй айнымалыларын анықтайтын өлшеу датчиктері болуы қажет. Әр сілтеме үшін өлшенетін негізгі айнымалылар:

- бұрыштық координат;
- бұрыштық жылдамдық;
- жүктеме тогы.

Бұрыштық мәндер манипуляциялық роботтың байланысының кеңістіктегі орнын анықтауға мүмкіндік береді. Манипулятордың механикалық құрылымында редуктор бар болғандықтан, қозғалтқыштардың бұрыштық координаталары мен жылдамдықтарын буындардың сәйкес мәндеріне айналдыру үшін төмендету коэффициенттерін ескеру қажет.

Сызықтық координаттарды анықтау звенолардың бұрыштық координаталарын кеңістіктегі жұмыс денесінің ағымдағы орнын және бағытын

анықтайтын декарттық координаттар мен Эйлер бұрыштарының жиынтығына айналдыруға арналған кинематикалық есептерді шешуді қажет етеді. Роботтар үшін манипуляциялау дәлдігін анықтау, әдетте, сызықтық координаттарда қалыпқа келтірілген. Көптеген технологиялық операциялар үшін қажетті дәлдік 0,1-1 мм аралығында өзгереді.

Позиция мен жылдамдықтан басқа манипуляторды басқару үшін буындарға әсер ететін күштердің моменттерін өлшеу қажет болуы мүмкін. Бұл айналу моментін басқару үшін ең маңыздысы.

Қозғалтқыштың жүктеме тогын өлшеу қозғалтқыш білігіндегі айналу моментін жанама түрде анықтауға және алынған ақпарат негізінде манипулятордың динамикалық сипаттамаларын есептеуге мүмкіндік береді. Токты өлшеу және оны осы сәтте қайта есептеу арнайы момент датчиктерін қолданудың алдын алады.

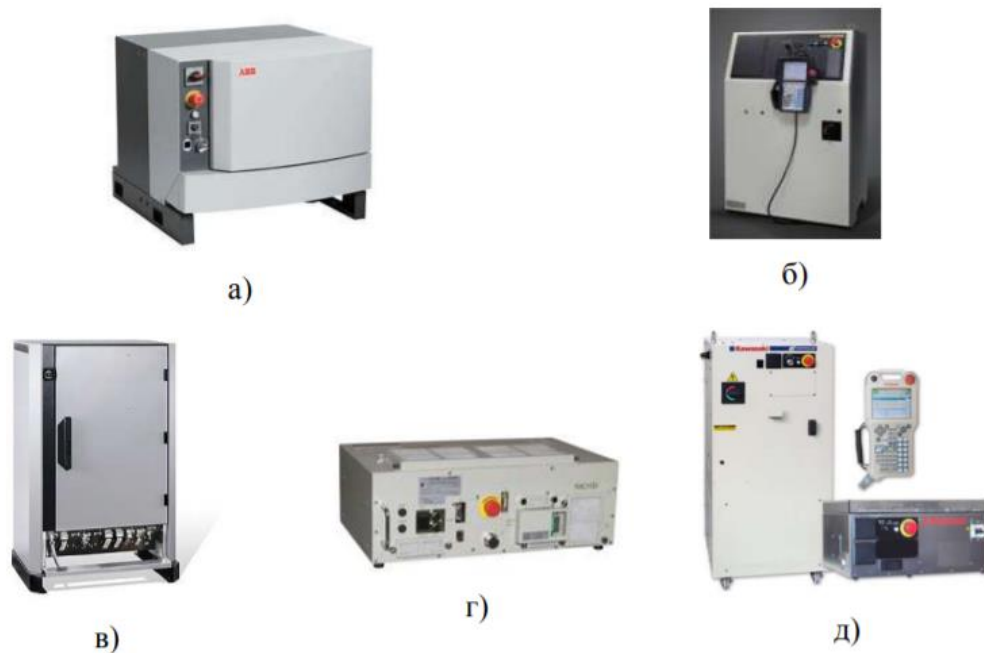
Жұмыс денесін сезетін жүйелер оның өңделетін объектімен немесе бетімен өзара әрекеттесуінен туындайтын күшті өлшеу үшін қосымша датчиктерді қолдануды талап етеді [8].

### **1.3 Қазіргі манипуляциялық роботты басқару жүйелерін талдау**

Қазіргі уақытта манипуляциялық роботтарды басқарудың ең кең тараған жүйелерін АBB, Fanuc, KUKA, Yaskawa Motoman, Kawasaki шығарады (1.13 - сурет). Осы проблемаларды шешу үшін олар жабық меншік шешімдерін қолданады. Бұл соңғы пайдаланушының манипуляциялық роботты басқару жүйесін және сол өндірушінің манипуляциялық роботын қамтитын жүйені алуына әкеледі. Бұл тәсіл түпкілікті шешімнің жұмыс қабілеттілігіне кепілдік беруге мүмкіндік береді, бірақ қолданушы тарапынан кеңейту мүмкіндігін шектейді.

Айта кету керек, әрбір өндіруші осы компоненттерді іске асырудың өзіндік тәсілдерін қолданады. Манипуляциялық роботты басқару жүйесін құру ерекшеліктері төменде KUKA және АBB манипуляциялық роботты басқару жүйелерінің мысалында келтірілген.

KUKA компаниясының заманауи СУ манипуляциялық роботы нақты уақыт VxWorks кеңейтімдерімен Windows XP ОЖ пайдаланатын өнеркәсіптік компьютер негізінде орындалады. Манипуляторды басқару үшін мамандандырылған кеңейту тақталары қолданылады, соның ішінде осьтерді Басқару тақтасы (кеңейту мүмкіндігі бар негізгі нұсқада 8-ге дейін), енгізу-шығару тақталары және желілік контроллер [12].



а) АВВ, б) Fanuc, в) KUKA, г) Yaskawa Motoman, д) Kawasaki  
 Сурет 1.13 - Жетекші өндірушілердің манипуляциялық роботтарын басқару жүйелері

Манипуляциялық робот арнайы портативті терминалдың көмегімен басқарылады. Деректер алмасу үшін Ethernet, Modbus және DeviceNet протоколдары қолданылады.

Kuka манипуляторлары айнымалы ток серво қозғалтқыштарымен жабдықталған, абсолютті энкодер позиция сенсоры ретінде қолданылады. Жүк көтергіштігіне байланысты техникалық сипаттамалар өзгеруі мүмкін (1.1-кесте).

Кесте 1.1 - KUKA роботтарында қолданылатын қозғалтқыштарды салыстыру

Жүк көтергіштігі, кг	Қуаты, кВт	Айналу жылдамдығы (ном/макс), мин-1	Датчик «рұқсаттылығы», имп/айн
15	0,78	3000	512
150	3,77	3000/4200	512
210	4,87	3000/4500	512



Манипулятор ұсынатын позициялау қателігі 0,05-0,15 мм аралығында болады.

Пайдаланушы қажетті алгоритмді құрылымдық түрде сипаттауға мүмкіндік беретін KRL тілін қолдана отырып, технологиялық мәселелерді шешуге арналған бағдарламалар жасай алады. Бұл ретте траекторияны қалыптастыру (жұмыс органының талап етілетін бағдарын бере отырып, позициялық, желілік, шеңберлік және сплайндық орын ауыстыруды қамтитын), жабдықтың кіріс/шығысын басқару, сондай-ақ арнайы сигналдарды басқару операцияларына қол жеткізуге болады. Сондай-ақ, KUKA роботтары жүйелік айнымалылар жиынтығы арқылы манипулятордың динамикалық және кинематикалық параметрлерін анықтау механизмін қолдайды [6].

ABB манипуляциялық роботты басқару жүйесі модульдік құрылыс принциптерін қолданады, онда жеке манипуляторларды басқаруға арналған бірқатар контроллерлер Ethernet интерфейсі арқылы бір орталық контроллерге қосыла алады. Бұл шешім манипуляторлар тобын орталықтандырылған басқаруды ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Сол мақсатта портативті қашықтан басқару құралы да қолданыла алады.

ABB роботтары 3-150 кг жүктеме сыйымдылығы үшін қуаты 1-4,5 кВт аралығында болатын айнымалы тоқты серво қозғалтқыштарды қолданады. Бұл 0,06-0,1 мм орналасу дәлдігін қамтамасыз етеді.

ABB роботтары RAPID тілінің көмегімен бағдарламаланған, бұл бірнеше параллель тапсырмаларды синхрондау мүмкіндігі бар басқару алгоритмдерін жасауға мүмкіндік береді, сонымен қатар стандартты циклдарды қолданады. Сондай-ақ, тіл координаттар жүйесін анықтауға және манипуляторды орналастыру кезінде ерекшеліктерді шешуге арналған стандартты құралдарды ұсынады. KRL тілімен салыстырғанда, бұл бірнеше бағдарламаның синхронды орындалуын жүзеге асыруды жеңілдетеді, бірақ сонымен бірге оларды құрылымдау мүмкіндігі шектеулі [9].

Осы ерекшеліктерден басқа манипуляциялық роботтарды басқарудың заманауи жүйелері манипулятордың физикалық сипаттамаларын өлшейтін, сондай-ақ сыртқы ортаның өзгеруін бағалайтын әртүрлі датчиктер арқылы алынған ақпаратқа негізделген адаптивті басқару алгоритмдерін қолдайды. Бұл манипуляторға орнатылған өлшегіштер де, арнайы алгоритмдердің көмегімен мәліметтерді жинауға және талдауға арналған перифериялық құрылғылар да болуы мүмкін.

Осы саладағы зерттеулердің негізгі бағыттары манипуляциялық және мобильді роботтарды басқару қағидаттарына, динамикалық және логикалық басқару әдістерін қолдана отырып басқару тәсілдерін талдауға, сондай-ақ компьютерлік басқарумен робототехникалық жүйелерді жобалау әдістеріне

арналған. Сонымен қатар, роботтарды интеллектуалды басқару жүйелерін дамыту жеке бағыт болып табылады.

Жүргізіліп жатқан зерттеулер теориялық зерттеулерге де, практикалық нәтижелер алуға да негізделеді. Жүргізілген жұмыс нәтижесі ретінде ТУР манипуляторларының сериясын алуға болады (1.14 – сурет). Осы сериядағы манипуляторлар KUKA компаниясының манипуляторларында қолданылатын шешімдерге ұқсас, сол себепті «АВТОВАЗ» ААҚ технологиялық желілерінде қолданылатын жабдықтың орнына қолдануына мүмкіндік береді.

Басқару жүйесі RS-485, ModBus, Sercos немесе UCSNet сияқты әртүрлі сандық интерфейстер арқылы ДК негізінде жасалған орталық контроллерге әртүрлі басқару және перифериялық жабдықты қосуға мүмкіндік беретін ашық модульдік архитектура негізінде құрылған.



Сурет 1.14 - МС-400 тік фрезерлік станогы бар роботтандырылған кешеннің құрамындағы ТУР-30

Осы әзірлеуде жүзеге асырылған Windows ОЖ негізіндегі манипуляциялық роботты басқару жүйесін толық іске асыру бұл жағдайда қатал нақты уақытта бақылауды қажет етеді. Бұл жоғары жылдамдықты қажет ететін бірқатар міндеттерде осы жүйені пайдалану мүмкіндігін шектейді. Салыстыру үшін, жоғарыда сипатталған KUKA компаниясының манипуляциялық роботты басқару жүйесіне мысал келтіруге болады, олар компьютерден басқа VxWorks сияқты кеңейтімдерді, сондай-ақ мамандандырылған архитектуралық шешімдерді пайдаланады.

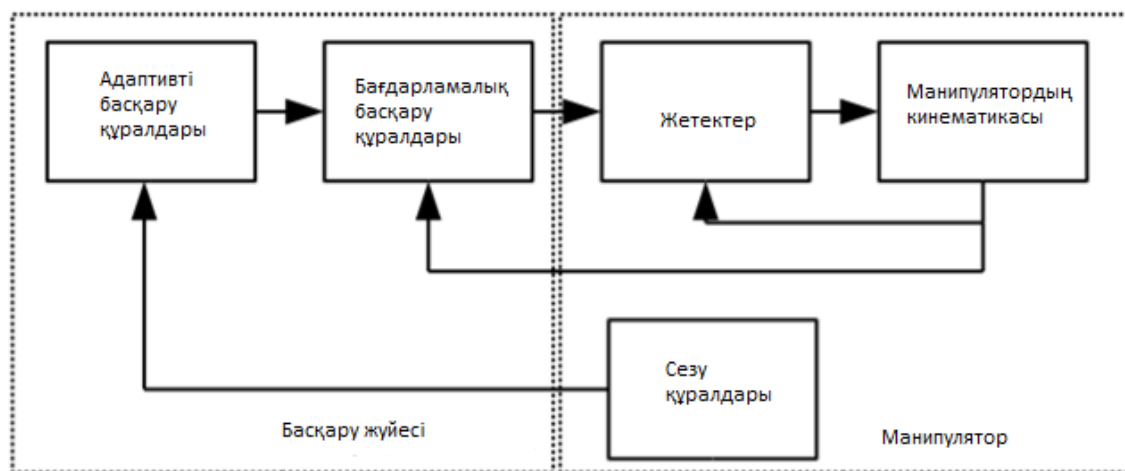
Сонымен қатар, көптеген отандық кәсіпорындар шетелдік өндірістің манипуляциялық роботты басқару жүйесін қолданады, ал өткен ғасырдың 80-ші

жылдарында жасалған өзіндік әзірлемелер заманауи технологиялық талаптарға сәйкес келмейді.

Осылайша, импортты алмастыру мәселелерін шешуге, сондай-ақ отандық манипуляциялық роботтардың жұмыс істеу мүмкіндіктерін кеңейтуге бағытталған өнеркәсіптік манипуляциялық роботты басқарудың заманауи отандық жүйесін дамыту қажеттілігімен байланысты мәселе туындайды.

Талдау негізінде манипуляциялық роботты басқарудың заманауи жүйесінде қолданылатын жалпы құрылымдық шешімдерді анықтауға және келесі компоненттерді бөлуге болады (1.15 – сурет):

- түпкі пайдаланушы тарапынан басқаруға және технологиялық міндеттерді шешуге арналған бағдарламалық басқару құралдары;
- сыртқы әсерлер мен параметрлердің өзгеруі жағдайында манипуляторды басқару үшін қажетті бейімделгіш және/немесе робасты басқару құралдары;
- манипулятор буындарын тікелей басқаруды жүзеге асыратын жетектер; - жұмыс кеңістігінің жай-күйі туралы егжей-тегжейлі ақпаратты талап ететін күрделі технологиялық міндеттерді шешуге арналған сезім құралдары.



Сурет 1.15 – Манипуляциялық роботтың басқару жүйесінің құрылымдық схемасы

Бағдарламалық жасақтаманы басқару құралдарына манипулятордың электромеханикалық компоненттерін, ең алдымен осьтік қозғалтқыштарды басқаруға арналған, сонымен қатар соңғы пайдаланушының басқару бағдарламасын орнатуға мүмкіндік беретін алгоритмдердің негізгі жиынтығы кіреді [11].

Заманауи манипуляторлар әртүрлі типтегі қозғалтқыштарды қолданатындығын ескере отырып, қажетті басқару алгоритмдеріне қолдау көрсету қажет.

Оған әртүрлі интерполяция алгоритмдері, сызықтық, дөңгелек және сплайнды қосады.

Адаптивті басқару құралдарына манипулятор мен қоршаған ортаның өзгеретін параметрлерін есепке алу үшін қажетті құралдар кіреді. Бұл жағдайда минималды талап-оның қозғалысы нәтижесінде динамикалық сипаттамалардың өзгеруін ескеру.

Осылайша, басқару жүйесімен орындалатын есептеулер өте күрделі, өйткені олар жоғары деңгейлі матрицалық операцияларды, кинематика мен динамика мәселелерін шешуді, сондай-ақ реттегішті есептеу үшін өлшенген мәліметтер негізінде манипуляциялық роботтың күй айнымалыларын есептеуді қажет етеді.

Қазіргі заманғы манипуляциялық роботтардың кемінде алты басқарылатын осі бар екенін ескере отырып, жүйе оларды басқару мүмкіндігін қамтамасыз етуі керек, сонымен қатар қажет болған жағдайда қосымша осьтерді кеңейтуді қолдауы керек.

Манипулятор осьтерінің электр жетектерін басқару кезінде бірқатар айнымалыларға (кернеу, ток, үдеу) және манипуляциялық роботтың жұмыс аймағының параметрлеріне шектеулер қойылғандықтан, осы шектеулерді қолдануға мүмкіндік беретін алгоритм қажет.

Қажетті басқару сапасын қамтамасыз ету үшін манипуляциялық роботты басқару жүйесі әртүрлі ішкі және сыртқы факторларды ескеруі керек (манипулятордың кеңістіктік конфигурациясының өзгеруі, тіркеменің немесе бөліктің массасы мен конфигурациясы). Бұл манипуляторға әсерін өтеуге мүмкіндік беретін басқару алгоритмдерін енгізуді қажет етуі мүмкін. Манипуляциялық роботты басқару жүйесіндегі негізгі функция ретінде ішкі факторлардың әсерін азайту үшін манипулятордың кинематикалық және динамикалық модельдерін есептеу мүмкіндігі қамтамасыз етілуі керек, мысалы, байланыстардың өзара әсері және қозғалу кезінде олардың инерция моменттерінің өзгеруі.

Осы талаптардан басқа, манипуляциялық роботты басқару жүйесін қолданудың ыңғайлылығын арттыруға және оны пайдалану мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік беретін бірқатар факторлар бар.

Манипуляциялық роботты басқару жүйесін дамытудағы маңызды сәт оны икемді өндірістік жүйенің бөлігі ретінде Технологиялық жабдықтың басқа түрлерімен бірге пайдалану мүмкіндігі болып табылады. Бұған қол жеткізу үшін басқару жүйесін құру принциптері қозғалысты басқару жүйесін (сот) құрудың жалпы принциптеріне сәйкес келуі керек. Бұл шешім икемді өндіріс жүйесінің жеке компоненттері арасындағы ең тиімді өзара әрекеттесуге қол жеткізуге мүмкіндік береді [15].

Осыған байланысты басқару жүйесі жоғары жылдамдықты ақпарат беру құралдарымен жабдықталуы керек. Бұл ақпаратты келісу және бөлісу, сондай-ақ

сыртқы құрылғыларды басқару мүмкіндіктерін қажет етеді. Бұл жағдайда екі тәсіл мүмкін:

- кіріс/шығыс порттарын пайдалану;
- желілерді пайдалану;

Бірінші жағдайда, манипуляциялық роботты басқару жүйесінен, ең алдымен, кіріс/шығыс санын кеңейту мүмкіндігі қажет. Қазіргі заманғы басқару жүйелері әдетте 2048 кіріс/шығысқа дейін қолдайды, бұл көптеген сыртқы құрылғыларды қосу үшін жеткілікті.

Жергілікті өнеркәсіптік желілерді бірлесіп жұмыс істеу үшін бірнеше басқару жүйелерін біріктіру немесе интеллектуалды перифериялық жабдықты қосу үшін пайдалануға болады.

Басқару бағдарламасын орындау үшін манипуляциялық роботты басқару жүйелері басқару бағдарламасын құру, сақтау және орындау үшін функционалдылықты қамтамасыз етуі керек. Ол үшін басқару жүйесіне ақпаратты енгізу, пайдаланушымен алмасу және басқару бағдарламасын әзірлеу барысын басқару құралдары қажет. Басқару бағдарламасын жазудың бірыңғай стандартының болмауы бағдарламалаудың өзіндік тәсілдерін әзірлеуді талап етеді.

Пайдаланушы интерфейсі операторға манипуляциялық роботты басқару жүйесінің жұмысын бақылауға, оны жұмыс жағдайында ұстау үшін қажетті операцияларды орындауға (бағдарламаны іске қосуды тоқтату, робототехнологиялық кешеннің (РТК) режимдері мен параметрлерін бақылау) мүмкіндік беруі тиіс. РТК жұмысы үш негізгі режимде жүзеге асырылуы мүмкін:

- қолмен-манипуляторды пайдаланушы басқарады;
- автоматты-бағдарлама орындалады;
- оқыту-басқару бағдарламасының жазбасы жүргізіледі.

#### **1.4 Манипуляциялық роботты басқарудың заманауи жүйесін құру принциптерін әзірлеу**

Басқару жүйелері заманауи өндірістің талаптарына сай болуы үшін әртүрлі манипуляторлар мен перифериялық жабдықтарды қолдана отырып, технологиялық операцияларда қолдануға бейімделуі керек. Мұны қамтамасыз ету үшін модульдік және ашық архитектура принциптері манипуляциялық роботты басқару жүйесін дамытуға негізделуі керек.

Модульділік принципі - тапсырманы орындауға ең қолайлы компоненттер жиынтығын басқарудың соңғы жүйесін жинақтау мүмкіндігі. Ұсынылған негізгі компоненттер (1.16 - сурет) модульдер болып табылады, олардың құрамы мен іске асырылуы манипуляциялық робот орындайтын нақты тапсырмамен анықталуы мүмкін [13].

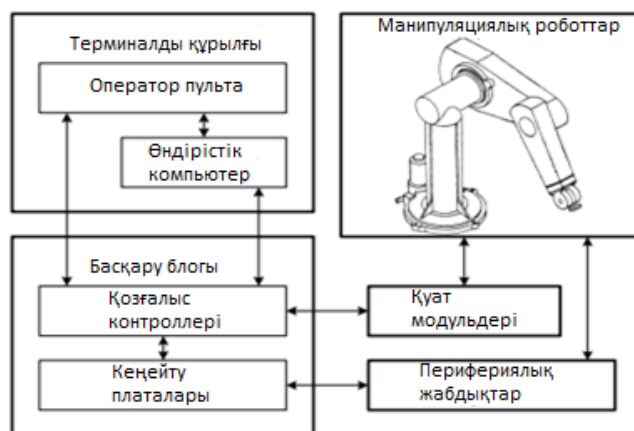
Ашық архитектураның принципі соңғы пайдаланушыны басқару жүйесінің жеке компоненттерін конфигурациялау және құру, ашық деректер алмасу протоколдарын пайдалану және қолданушы бағдарламалары мен алгоритмдерін жасау үшін бағдарламалық модульдерге қол жетімділікті қамтамасыз ету болып табылады.

Осы қағидаларды қолдана отырып басқару жүйесін нақты іске асыру, ең алдымен, аппараттық архитектураға және оның негізгі іске асырылуына байланысты.

Манипуляциялық роботты басқарудың заманауи жүйесінің аппараттық архитектурасының негізгі компоненттері (1.16 - сурет) мыналар болып табылады:

1. Басқару блогы (ББ);
2. Пайдаланушы интерфейсінң терминал құрылғысы (ТҚ);
3. Қуат модульдері;
4. Перифериялық жабдықтар.

Басқару блогы қозғалыс есептеулерін жүргізуге, тұтастай жүйенің, оның жеке компоненттері мен перифериялық жабдықтардың күйін бақылауға, пайдаланушы мен жүйелік бағдарламалардың орындалуына жауап беретін негізгі компонент болып табылады. Басқару блогына басқару жүйесінің жеке компоненттері арасындағы өзара әрекеттесу құралдары кіреді.



Сурет 1.16 – Манипуляциялық роботты басқару жүйесінің аппараттық архитектурасы

Терминал құрылғысының міндеті – оператордың басқару жүйесімен өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету. Ол үшін ақпаратты енгізу/шығарудың тиімді құралдары болуы керек. Оператордың қашықтан басқару құралы басқару жүйесімен ақпарат алмасу, жүйені қосу/өшіру, пайдаланушы бағдарламаларын іске қосу және орындау, манипуляциялық роботтың жұмыс режимдерін таңдау

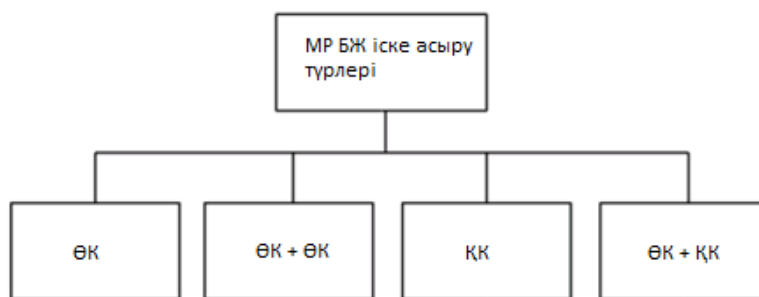
және конфигурациялау, оның жай-күйі туралы сигнал беру функцияларын орындайды. Жүйелік міндеттерден басқа, оператордың қашықтан басқару құралы оператордың терминал құрылғысының бағдарламалық жасақтамасымен өзара әрекеттесуін қамтамасыз етуі керек. Атап айтқанда, оның басқару бағдарламаларын енгізуге, бағдарламалық жасақтаманың жұмыс режимдерін ауыстыруға және бағдарламалық жасақтама компоненттерімен өзара әрекеттесуге арналған құралдары болуы керек [14].

Манипуляциялық роботты басқарудың заманауи жүйесінің маңызды элементі оның негізгі сапалық көрсеткіштерін анықтайтын электр жетегі болып табылады. Заманауи манипуляциялық роботтың электр жетегін басқару жүйесі сандық іске асырылуы керек. Осы шартты орындамай, қозғалыс динамикасы мен дәлдігінің жоғары көрсеткіштерін қамтамасыз ету мүмкін емес. Электр жетегін басқару мәселесін шешудің тиімді құралы оның функционалды және физикалық екі компонентке бөлінуі болып табылады: қуат модулі (ҚМ) және бағдарламалық қамтамасыздандыру алгоритмі. Бұл шешім манипуляциялық роботтың осьтерін басқаруды қарапайым және дәл синхрондауға, нақты уақыттағы күй айнымалыларына қол жеткізуге, реттегіштердің құрылымы мен параметрлерін динамикалық түрде өзгертуге мүмкіндік береді.

Бірқатар технологиялық операцияларды орындау кезінде манипуляциялық роботты басқару жүйесіне перифериялық құрылғыларды басқару қажеттілігімен байланысты қосымша міндеттер туындауы мүмкін. Мұндай құрылғыларға кеңейтілген жүйелік және басқару бағдарламаларын құру кезінде қолданылатын әртүрлі сенсорлар, өлшегіштер және сезімтал құралдар кіруі мүмкін. Мұндай міндеттердің қатарына, мысалы, жұмыс органының берілген күшімен беттерді өңдеу немесе оны техникалық көру жүйесінің көрсеткіштеріне сәйкес орналастыру кіреді.

Басқару жүйесінің аппараттық базасын құрудың қазіргі кездегі тәсілдері құрылғылардың екі негізгі класын қолдануға негізделген: өнеркәсіптік компьютерлер (ӨК) және қозғалыс контроллері (КҚ). Келесі опцияларды бөлуге болады (сурет - 1.17).

Компьютерді пайдалану кезінде үйлесімді құрылғылардың кең класында жүзеге асырылатын оңай тасымалданатын жүйені құруға болады.



Сурет 1.17 – Манипуляциялық роботты басқару жүйесінің альтернативті архитектурасы

Бұл тәсілдің басты кемшілігі – басқару жүйесінің компоненттері жүйелік құралдармен синхрондалған жеке тапсырмалар түрінде жұмыс істейтін нақты уақыттағы операциялық жүйені қолдануды қажет ететін бір құрылғы аясында бүкіл басқару жүйесін құру қажеттілігі. Бұл тәсіл басқару және интерфейс тапсырмаларын бөлуге мүмкіндік бермейді, бұл аппараттық немесе бағдарламалық жасақтама қателерінің ықтималдығын арттырады.

Бірнеше компьютерді қолданудың басты артықшылығы – олардың арасындағы тапсырмаларды бөлу мүмкіндігі. Басқару блогы іске қосылған бірінші компьютер "нақты уақытты" басқару мәселелерін шешеді, ал екінші компьютер терминал құрылғысының функцияларын орындайды. Компьютерлердің өзара әрекеттесуі әртүрлі өндірістік протоколдар негізінде қамтамасыз етіледі.

Бұл тәсілдің кемшілігі – жеке компоненттердің көптігі мен қайталануы. Мұндай шешім пайдаланылған ресурстарды көру тұрғысынан тиімсіз.

Тағы екі тәсіл – мамандандырылған қозғалыс контроллерінің негізгі архитектурасы ретінде пайдалану.

Біреуін пайдалану қозғалыс контроллері оған басқару және интерфейс компоненттерін енгізуді талап етеді. Бұл жағдайда басты мәселе-толыққанды пайдаланушы интерфейсін құру ішкі бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеушінің қажетті функционалдылықты алу үшін қозғалыс контроллерін айтарлықтай өңдеуді қажет етеді. Сонымен қатар, бір компьютерді пайдалану сияқты, басқару жүйесінің бірнеше компоненттерін бір құрылғыда іске асыру қажет, бұл оның жұмысының тұрақсыздығына әкелуі мүмкін.

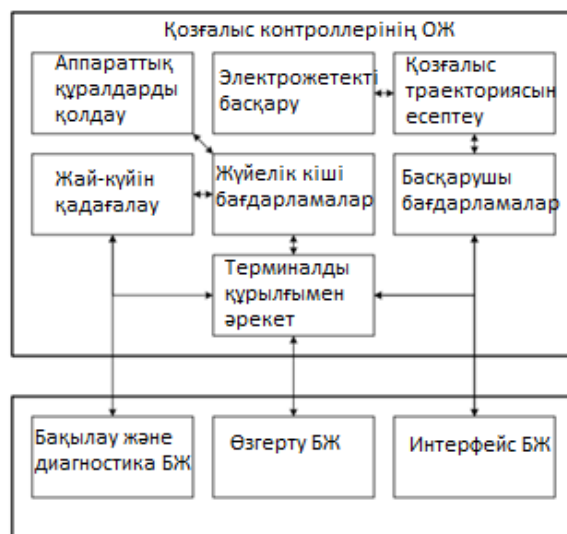
Осы мәселелерді шешу үшін қозғалыс контроллерін оның жұмысын және пайдаланушы интерфейсін басқаруды қамтамасыз ететін терминал құрылғысымен бірге пайдалануға болады. Терминал ретінде пайдаланушы интерфейсін құруға қажетті мүмкіндіктер беретін кез-келген құрылғыны немесе жүйені пайдалануға болады. Бұл жағдайда ең қарапайым шешім өнеркәсіптік компьютерді пайдалану болады. Алдыңғы тәсілдерден айырмашылығы, бұл жағдайда өнеркәсіптік компьютерде мамандандырылған ОЖ-ны пайдалану



қажет емес, өйткені нақты уақыт режимінде орындалатын процестер қозғалыс контроллерінде жүзеге асырылады. Бұл жағдайда ДК функциялары мен қозғалыс контроллері қайталанбайды, өйткені олардың әрқайсысы жеке тапсырмаларды орындайды. Олардың өзара әрекеттесуі үшін EtherCAT, ModBus, PROFINET, Ethernet/IP сияқты өнеркәсіптік деректер интерфейсін пайдалануға болады.

Өнімділік пен функционалдылық талаптарына сәйкес келетін манипуляциялық роботты басқарудың заманауи жүйесін құрудың жоғарыда қарастырылған тәсілдерінен басқару блогы ретінде қозғалыс контроллерін және терминалды құрылғыны құру үшін өнеркәсіптік компьютерді қолдану мүмкіндігі манипуляциялық роботты басқару жүйесінің құрылымын тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Бағдарламалық жасақтама құрылымында (1.18 – сурет) екі сыныпты бөлу керек: қозғалыс контроллері және терминал құрылғысы.



Сурет 1.18 – Қозғалыс контроллерінің бағдарламалық жасақтамасы

Қозғалыс контроллерінің бағдарламалық жасақтамасына басқару блогының жұмысын және манипуляциялық роботтың басқару жүйесінің аппаратурасымен өзара әрекеттесуді қамтамасыз етуге арналған элементтер кіреді. Оған келесі міндеттерді қамтамасыз ететін компоненттер кіреді:

1. Аппараттық қамтамасыз ету;
2. Электр жетегін басқару;
3. Қозғалыс траекториясын жоспарлау және есептеу;
4. Жүйенің күйін бақылау;
5. Жүйелік бағдарламалардың орындалуы;
6. Пайдаланушыларды басқару бағдарламаларын орындау;

## 7. Терминал құрылғысымен өзара әрекеттесу.

Аппараттық құралдарды қолдау дегеніміз – әртүрлі сенсорларды сұрау, деректерді беру интерфейстерінің жұмысын ұйымдастыру, манипуляциялық роботтың күйін және басқару жүйесінің басқа элементтерін сұрау сияқты мәселелерді шешуге арналған компоненттер. Сондай-ақ, бағдарламалық жасақтаманың осы компонентіне қозғалыс контроллерінде орындалатын процестерді синхрондау кіреді.

Электр жетегін басқаруға кері байланыс арналарын, координат түрлендірулерінің алгоритмдерін, контроллер параметрлерін есептеуді, басқару сигналдарын генерациялауды, қуат ажыратқыштарын ауыстыруды сұрастыру кіреді [17].

Қозғалтқышты басқару алгоритмдері қозғалыс реттегішінде тікелей жүзеге асырылады. Басқарудан басқа, олар қозғалтқыштардың күй айнымалылары туралы ақпарат беруі керек (ток, айналу моменті, жылдамдық, күй, орналасу қателігі). Олардың көмегімен басқарудың күрделі алгоритмдерін құруға және манипуляциялық роботтың ағымдағы күйін бақылауға болады.

Кинематикалық және динамикалық байланыстар манипуляциялық роботтың жұмысына айтарлықтай әсер ететіндіктен, қажетті сипаттамаларды қамтамасыз ету үшін адаптивті басқару жүйесін құру қажет болуы мүмкін. Біріншіден, бұл серпімді жүйелерге, сондай-ақ саңылаулар мен құрғақ үйкеліс сияқты сызықты емес элементтердің әсері айтарлықтай болатын жүйелерге қатысты. Оларды басқару үшін реттегіштердің күрделі түрлері қажет.

Қозғалыс траекториясын жоспарлау және есептеу құралдарының жиынтығына траекторияны жоспарлаушы (ТЖ), кинематиканың тікелей және кері міндеттерін есептеу бағдарламалары, басқару бағдарламаларын өңдеу жүйесі сияқты компоненттер кіреді.

Траекторияны жоспарлаушының міндеті – манипуляциялық роботтың жұмысында қолданылатын траекториялардың негізгі түрлерін есептеу: сызықтық, дөңгелек, сплайндық. Оларды жүзеге асыру үшін манипуляциялық роботтың кинематикасын есептеу бағдарламаларымен өзара әрекеттесетін тиісті интерполяторлар қажет.

Кинематиканы есептеу бағдарламаларын пайдалану берілген қозғалыстарды басқару бағдарламасында қолданылатын координаталық жүйеден манипуляторда қолданылатын координаталық жүйеге және керісінше аудару үшін қажет. Көп буынды манипуляторлар бірқатар күрделі кеңістіктік түрлендірулерді қажет ететіндіктен, есептеу алгоритмдерін жылдамдық үшін оңтайландыру керек.

Жүйенің жай-күйін бақылау құралдарына күзет таймері, жүйелік авариялық датчиктердің жай-күйін бақылау құралдары, физикалық шамалар деңгейлері және басқару жүйесінің жұмыс қабілеттілігін анықтауға және

ақаулықтардың алдын алу және жою жөнінде шаралар қабылдауға мүмкіндік беретін басқа да құралдар сияқты компоненттер кіреді.

Манипуляциялық роботты басқару жүйесін жұмыс күйінде ұстау қозғалыс контроллерінде орындалатын жүйелік бағдарламалардың міндеті болып табылады. Олар әртүрлі деректерді жаңартуға, өнімділікті бақылауға арналған басқару жүйесі және пайдаланушы бағдарламаларындағы процестерді синхрондау [16].

Басқару бағдарламаларын өңдеу жүйесі пайдаланушы берген басқару бағдарламасын талдауды және оны қозғалыс контроллерінің командалық жүйесіне ауыстыруды қамтамасыз етеді. Басқару бағдарламасын жазу кезінде пайдаланылатын құралдар жиынтығы қозғалысты басқару, координаталық жүйе арасындағы координаталарды түрлендіру, перифериялық жабдықпен өзара әрекеттесу командаларын қамтуы тиіс.

Терминал құрылғысымен өзара әрекеттесу құралдары пайдаланушымен деректер мен басқару ақпаратын бөлісуге арналған. Оларға ақпаратты беруге арналған әртүрлі буферлер, жүйенің күй айнымалылары бар интерфейс құралдары жатады. Ең алдымен, негізгі кіріс-шығыс интерфейсін анықтау керек.

Меншікті протоколдардың көпшілігі азды-көпті жабық болғандықтан, негізгілері ретінде өнеркәсіптік Ethernet (Profinet, EtherCAT, EtherNet / IP) сияқты ашық стандартқа негізделген біреуін таңдау керек.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, манипуляциялық роботты басқарудың заманауи жүйесі нақты уақыт режимін жүзеге асыруға мүмкіндік беретін аппараттық шешімдерді қолдана отырып, модульділік пен ашықтық қағидаттарына негізделуі керек, сонымен қатар күрделі технологиялық мәселелерде манипуляторды басқаруға мүмкіндік беретін басқару алгоритмдерінің жиынтығын ұсынуы керек деп қорытынды жасауға болады.

## 2 Манипуляциялық роботтың математикалық моделін жасау

Манипуляциялық роботтар сияқты күрделі мехатронды нысандарды басқару жүйелерінің сипаттамаларына олардың кинематикалық және динамикалық параметрлері айтарлықтай әсер етеді. Нәтижесінде басқару жүйесін іске асыруда қолдануға ыңғайлы олардың егжей-тегжейлі математикалық сипаттамасын беру қажет.

Бұл мәселені шешуде өзара байланысты екі бағытты ажыратуға болады. Біріншісі – манипулятордың нақты кинематикалық моделін құру, бұл оның кеңістіктік конфигурациясын нақты анықтауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде жұмыс органының қозғалыс заңдылықтарын сипаттауға мүмкіндік береді. Екінші бағыт – манипуляторда бар динамикалық сипаттамалар мен байланыстарды сипаттау, бұл берілген траектория бойынша қозғалу кезінде оның мінез-құлқын сипаттауға мүмкіндік береді [18].

### 2.1 Манипуляциялық роботтың кинематикалық схемасын жасау

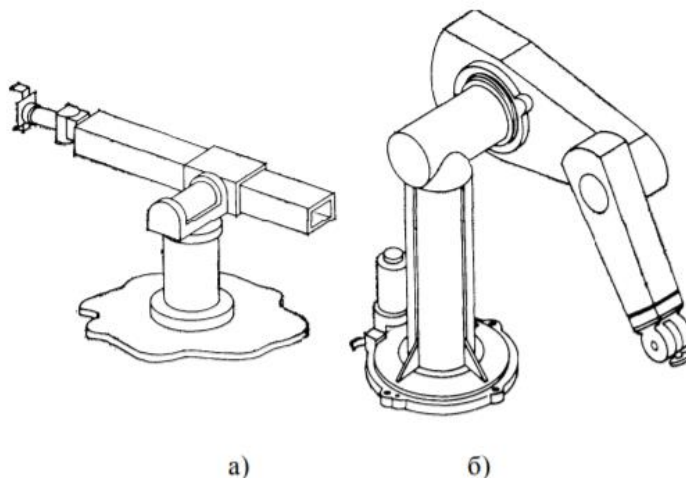
Бұл жұмыста Nokia өндірген Unimation PUMA-560 манипуляциялық роботының мысалында зерттеулер жүргізілді (2.1-сурет), ол өндірісте де, ғылыми зерттеулерде де кең тарады. Бұл манипулятор бірқатар жұмыстарда оның ерекшеліктері мен сипаттамалары қарастырылғандығына байланысты таңдалды, бұл оның физикалық параметрлерін бағалау сияқты негізгі мәселелерді қайта шешудің қажеттілігінсіз әрі қарай зерттеуге мүмкіндік береді.



Сурет 2.1 – PUMA-560 манипуляциялық роботы

Манипулятордың кинематикалық диаграммасын сипаттау оның жалпы өлшемдері мен жұмыс кеңістігінің параметрлерін білуді талап етеді.

Манипуляциялық роботтың әртүрлі конфигурациясы олардың құрылымы мен сипаттамалары бойынша ерекшеленеді. Оларды 1-бөлімде көрсетілгендей кинематикалық байланыстар түріне қарай жіктеуге болады. Өнеркәсіпте ең көп таралған және айналмалы буындары бар манипуляциялық роботтар (2.2 - сурет). Мысал ретінде өндірісте кеңінен таралған ABB, Fanuc, KUKA, Yaskawa, Kawasaki сияқты компаниялардың манипуляторларын атап өтуге болады.



а) стэнфордтық манипулятор, б) PUMA-560 манипуляциялық робот  
Сурет 2.2 – Көпбуынды манипуляциялық роботтар

1-бөлімде жүргізілген талдаудан манипуляторлар әр түрлі координаталық жүйелерді қолданады, олардың әрқайсысы математикалық сипаттаманың сипаттамаларына ие. Басқару жүйесін жасау кезінде түсініксіздікті болдырмау үшін қозғалыстарды сипаттайтын координаттар жүйесін анықтау керек. Өндірісте қолданылатын манипуляциялық робот жағдайында ең ұтымды нұсқа - декарттық координаттар жүйесін (позицияны анықтау үшін) және Эйлер бұрыштарын (манипулятордың бағытын көрсету үшін) пайдалану. Осылайша, манипулятордың кинематикалық сипаттамаларын сипаттаудың негізгі міндеті - өзінің және таңдалған жұмыс координаталық жүйелер арасындағы түрлендіру.

Манипулятордың траекториясын жоспарлау және оның кеңістіктегі орнын анықтау үшін кинематиканың тікелей және кері есептері түрінде екі негізгі міндеттерді шешу қажет.

Тура есептің шешімі манипулятордың орналасуы туралы ақпаратты өзінің координаттар жүйесінен жұмысшыға (абсолютті) түрлендіруге қызмет етеді, бұл манипулятордың жұмыс органының координаттарын анықтау үшін қажет.

Кері мәселені шешу жұмыс органының позициясы бойынша манипулятордың қажетті кеңістіктік конфигурациясын есептеуге арналған және оның қозғалу жолын жоспарлаудағы басты мәселе болып табылады.

Бұл есептерді шешу үшін манипулятордың жалпы сипаттамаларын оларды талдауға және координаталық түрлендіру теңдеулерін жазуға ыңғайлы түрде сипаттау қажет. Қолданыстағы тәсілдердің ішіндегі негізгілері сызықтық немесе матрицалық теңдеулер жүйесі түрінде көрінуі болып табылады.

Бұл жағдайда манипулятордың кинематикалық схемасы осы түрдегі теңдеумен сипатталады:

$$T = \prod_{i=1}^n A_i, \quad (2.1)$$

онда:

$T$  – жұмыс органының позиция матрицасы,  
 $A_i$  –  $i$ -буындардың түрлендіру матрицалары,  
 $N$  – буындар саны.

Манипулятордың қозғалысы кезінде оның кеңістіктік конфигурациясында өзгерістер болады, бұл өз кезегінде оның жеке элементтеріне әсер ететін күштердің өзгеруіне әкеледі. Осы өзгерістерді ескере отырып, манипуляциялық роботтың динамикалық сипаттамаларын, олардың манипулятордың кинематикалық құрылымымен байланысын сипаттау қажет.

Манипуляциялық роботтың динамикалық сипаттамаларын сипаттауды келесі кезеңдерге бөлуге болады:

- 1) жеке буындарға әсер ететін сәттерді анықтау;
- 2) жеке буындар арасындағы байланыстар жиынтығының сипаттамасы;
- 3) динамикалық сипаттамаларды әрі қарай талдауға ыңғайлы түрде ұсыну.

Қозғалыс процесінде манипуляциялық роботқа әсер ететін күштер екі негізгі момент жасайды:

- 1) гравитациялық момент;
- 2) орталықтан тепкіш және Кориолис момент.

Гравитациялық моменттер ауырлық күшінің манипулятор байланыстарына әсер етуімен анықталады. Олар жылдамдыққа тәуелсіз әрекет етеді және манипулятордың потенциалдық энергиясының көрінісі болып табылады.

Манипулятордың кеңістіктегі қозғалысы кезінде орталықтан тепкіш және Кориолис моменттері пайда болады. Жеке буындар арасында кинематикалық байланыстар болғандықтан, оларға әсер ететін күштер тек өз жылдамдығымен ғана емес, сонымен қатар басқа сілтемелердің жылдамдығымен де анықталады.

Динамикалық өзара әрекеттесудің жалпыланған сәттері байланыстардың бір-біріне қатысты жеделдетілген қозғалысы кезінде позициясының өзгеруіне байланысты туындайды [21].

Манипулятор динамикасының жалпы теңдеуі [57, 58, 59] түрінде жазылуы мүмкін:

$$\tau(t) = D(q(t))\ddot{q}(t) + h(q(t), \dot{q}(t)) + c(q(t)), \quad (2.2)$$

мұнда:

$\tau(t)$  –  $n \times 1$  манипулятордың буынындағы жалпыланған моменттердің векторы;

$q(t)$  –  $n \times 1$  бекітілген манипулятор айнымалыларының векторы;

$\dot{q}(t)$  –  $n \times 1$  жалпыланған жылдамдықтардың векторы;

$\ddot{q}(t)$  –  $n \times 1$  жалпыланған үдеулердің векторы;

$D$  –  $n \times n$  манипулятордың инерция матрицасы (кинетикалық энергия);

$h$  – кориолис және орталықтан тепкіш моменттердің  $n \times 1$  векторы;

$c$  –  $n \times 1$  гравитациялық моменттердің векторы;

$n$  – манипуляциялық роботтағы буындар саны.

Гравитациялық момент манипулятордың жеке буындарындағы ауырлық күшімен анықталады. Олар кеңістіктегі манипулятордың массасына, орналасуына және бағытына байланысты.

Гравитациялық момент векторының  $c_i$  әрбір элементі келесі түрде көрсетілуі мүмкін:

$$c_i = \sum_{j=1}^i F_{g,j} r_{i,j}, \quad (2.3)$$

мұнда:

$F_{g,j}$  –  $j$  буынына әсер ететін ауырлық күші,

$r_{i,j}$  –  $i$  және  $j$  буындарының ауырлық центрлері арасындағы қашықтықтың векторы.

Осылайша, сәттің гравитациялық компонентін анықтау үшін манипулятордың кинематикалық құрылымын сипаттап, жекелеген буындардың ауырлық орталықтарының орналасуын анықтау қажет.

## 2.2 Жалпы математикалық модель

Манипуляциялық роботтың дамыған жалпыланған математикалық моделі келесі шарттарды қанағаттандыруы керек [20]:

1. Манипулятордың кинематикалық құрылымын көрсету;
2. Динамикалық құрылымды сипаттау;
3. Манипулятордың механикалық және электрлік бөліктері арасындағы байланысты сипаттау.

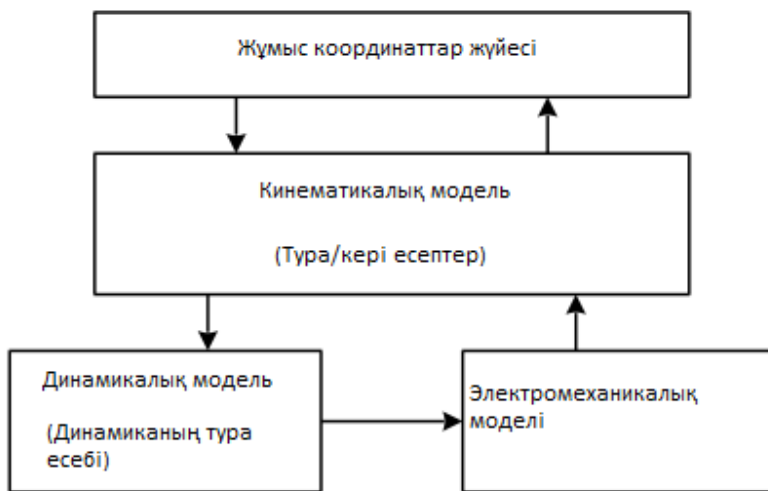
Осы шарттарға сүйене отырып, модельді (2.3 – сурет) үш бөлікке бөлген жөн: кинематикалық, динамикалық және электромеханикалық.

Жалпыланған модельдің бөлігі ретінде кинематикалық модель жұмыс координаталық жүйесінің координаттарын манипулятордың меншікті координаталық жүйесіне айналдыруға қызмет етеді, бұл берілген кеңістіктік конфигурациядағы манипулятор байланыстарының салыстырмалы орнын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл блок шешетін тағы бір міндет-манипулятордың бекітілген координаттарына сәйкес келетін электромеханикалық бөліктің буын қозғалтқыштарының координаттарын абсолютті координаталық жүйеге түрлендіру.

Динамикалық модель манипуляциялық роботтың динамикалық теңдеулерін іске асыруға және бағалауға арналған. Ол манипулятордың жеке буындарына сәйкес алты блоктан тұрады. Есептеулердің қажетті дәлдігін ескере отырып, барлық алты блокты да, алғашқы үшеуін де пайдалануға болады.

Манипулятордың динамикасын сипаттаудың таңдалған тәсіліне байланысты блоктар манипуляторға әсер ететін күштердің моменттерін анықтауға мүмкіндік беретін матрица немесе сызықтық өрнектер түрінде жүзеге асырылуы мүмкін.

Электромеханикалық модель манипулятордың механикалық компоненттері мен қажетті қозғалыстарды жүзеге асыруға арналған электр жүйесі арасындағы байланысты сипаттауға мүмкіндік береді.



Сурет 2.3 - PUMA-560 манипуляторының жалпыланған математикалық моделінің блок-схемасы



Манипуляциялық роботтың кинематикалық моделі (2.6 – сурет) тікелей және кері кинематикалық есептерді шешудің алгоритмдерін қамтитын екі негізгі блокты қамтиды [19].

Бұл модель қозғалыс берілген координаталары мен манипулятордың қажетті координаттары арасындағы түрлендіруге жауап беретін траекторияны жоспарлаушы элемент болып табылады.



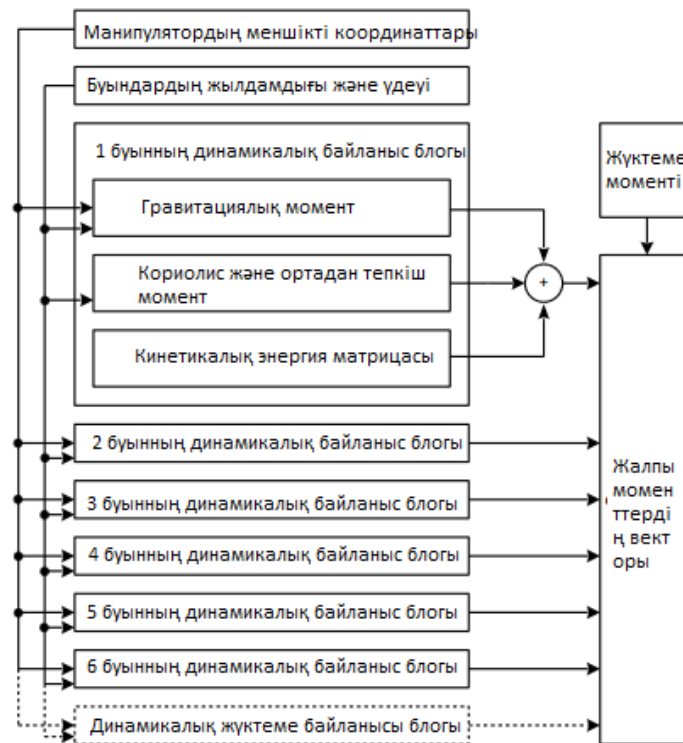
Сурет 2.4 – PUMA-560 манипуляторының кинематикалық моделі

Динамикалық модельде (2.5 – сурет) манипулятордың буындарына әсер ететін моменттерді (2.7) теңдеуге сәйкес есептейтін элементтер бар.

Бұл модель манипулятордың жеке буындарына әсер ететін сәттерді есептеуге мүмкіндік береді. Алынған мәндер манипулятордың электромеханикалық компоненттері үшін жүктеме моменттері ретінде қолданылады.

Динамикалық сипаттамаларды есептеу Лагранж-Эйлер әдісіне негізделгендіктен, жеке сілтемелер мен буындардың әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, модельге қосымша факторларды енгізуге болады, мысалы, сыртқы жүктеме.

Бұл шешім болашақта манипулятордың мінез-құлқына қосымша сыртқы факторлардың әсерін модельдеуге мүмкіндік береді.

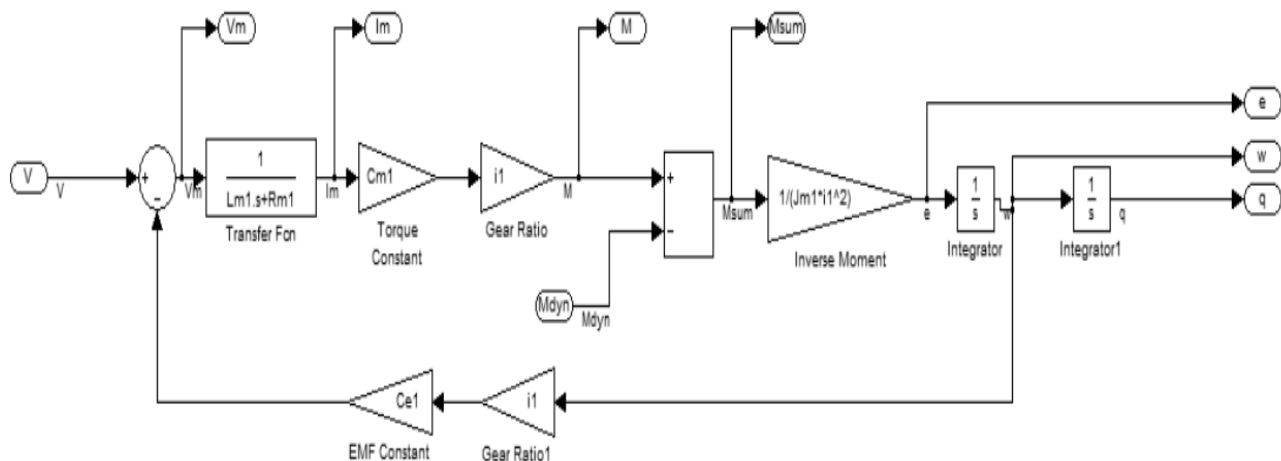


Сурет 2.5 – Puma-560 манипуляторының динамикалық моделі

Электромеханикалық модель – берілген қозғалысты нақты қозғалысқа айналдыратын манипулятор компоненттерінің моделі. Оған жекелеген қозғалтқыштар мен механикалық берілістер кіреді. Бір буынға арналған модель бөлігі 2.6 – суретте көрсетілген. Қозғалтқыштардың параметрлері 2.3 кестеде көрсетілген.

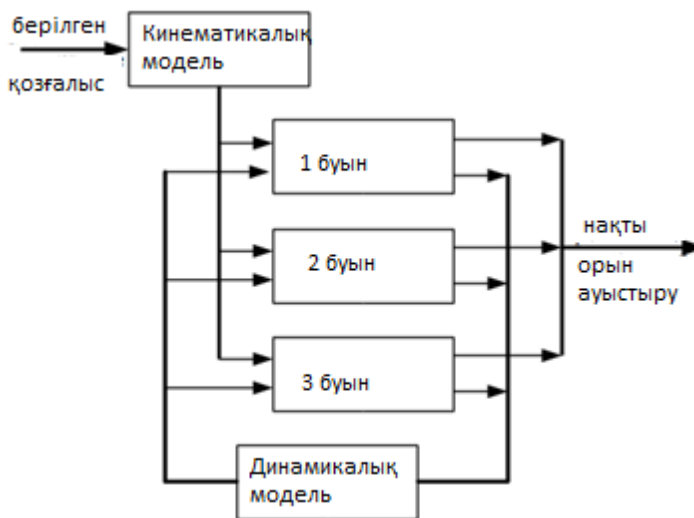
Кесте 2.3 - PUMA-560 манипуляторының буындарының қозғалтқыштарының параметрлері

	$J_{\Sigma}=J_m+J_{нагр}$	$C_m=C_e$	$i$	$L_m$	$R_m$
I	$200 \cdot 10^{-6}$	0,253	62,61	0,001	1,6
II	$200 \cdot 10^{-6}$	0,253	107,36	0,001	1,6
III	$200 \cdot 10^{-6}$	0,253	53,69	0,001	1,6
IV	$33 \cdot 10^{-6}$	0,095	76,01	0,001	3,83
V	$33 \cdot 10^{-6}$	0,095	71,91	0,001	3,83
VI	$33 \cdot 10^{-6}$	0,095	76,63	0,001	3,83



Сурет 2.6 – Puma-560 манипулятор буынының электромеханикалық моделі

Болашақта электромеханикалық модель манипуляторды басқару мүмкіндіктерін және манипулятор жұмысына әр түрлі сыртқы факторлардың әсерін зерттеуге мүмкіндік береді.



Сурет 2.7 – PUMA-560 манипуляторының жалпыланған математикалық моделінің блок-схемасы

Кинематикалық, динамикалық және электромеханикалық модельдерді біріктіре отырып, біз жалпыланған математикалық модельді аламыз (2.7-сурет). Бұл манипулятордың қозғалысы кезінде пайда болатын әртүрлі процестерді, мысалы, байланыстардың өзара орналасуын өзгерту, өзара әсер ету және сыртқы күштердің манипуляторына әсер ету нәтижесінде оларға әсер ететін жүктеме моменттерін бір идея аясында бағалауға мүмкіндік береді. Жоғарыда

айтылғандай, манипулятор байланысының инерциясының жалпы моменті тұрақты болып қабылданады, ал буындардың өзара позициясының өзгеруінің әсері динамикалық модельде буында әрекет ететін моменттің мәні ретінде ескеріледі. Бұл жағдайда қозғалатын жүктеме манипулятордың қосымша буыны түрінде модельденеді [20].

Нәтижесінде, ұсынылған модельді манипуляциялық роботты басқару алгоритмдерін құру, жеке сілтемелер үшін реттегіштерді синтездеу үшін манипуляциялық роботты басқару жүйесін құру және жөндеу кезінде қолдануға болады деп қорытынды жасауға болады. Кинематикалық және динамикалық модельдерді бөлісу кезінде қозғалыстардың орындалуына жауап беретін басқару жүйесінің компоненттерін жөндеу мүмкіндігі бар манипуляциялық роботтың толық функционалды моделін жасауға болады.

### **3 Басқару жүйесін дамыту және зерттеу**

Манипуляциялық робот күрделі көп өлшемді жүйе болып табылады. Манипуляциялық роботтарды басқару жүйелері басқа күрделі өндірістік механизмдерді басқару жүйелерінен бірқатар айырмашылықтарға ие. Бұл жеке басқарылатын механикалық осьтердің көптігіне байланысты. Өнеркәсіпте алты немесе одан да көп осьтері бар манипуляциялық роботтар жиі кездеседі.

Айта кету керек, манипуляциялық робот элементтерінің дизайны мен орналасуының ерекшеліктеріне байланысты, басқару процестерінің қажетті сапасына қол жеткізу үшін осьтер арасында кинематикалық және динамикалық байланыстар бар. Көптеген роботтарға тән кинематикалық схеманың мұндай ерекшеліктері жұмыс кеңістігінің әртүрлі нүктелеріндегі жылдамдықтар мен үдеулерге айтарлықтай шектеулер қояды. Сонымен қатар, жұмыс құралының қозғалысына шектеулер болатын жұмыс аймақтары бар. Бұл айырмашылықтар манипуляциялық роботты басқару жүйесін құру ерекшеліктерін анықтайды [22].

Осы мәселелерді шешу үшін роботтың динамикалық моделін алудан басқа, осы модель негізінде манипуляциялық роботтың басқару заңын анықтау қажет, бұл қажетті сапаны қамтамасыз етеді.

#### **3.1 Манипуляторды басқару жүйесін дамыту**

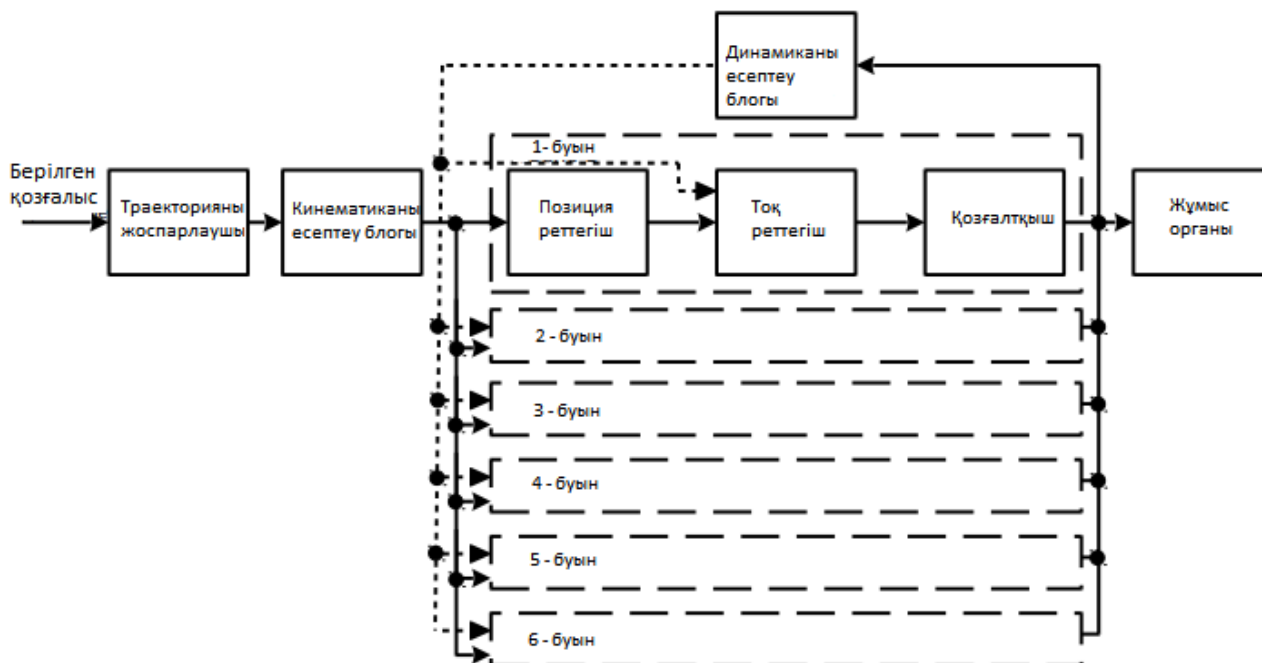
Жұмыста роботты басқарудың қарапайым, бірақ тиімді заңын алу үшін әртүрлі реттегіштердің мүмкіндіктері мен олардың комбинацияларын талдауға негізделген басқару жүйесін синтездеуге көзқарас ұсынылады.

Манипуляциялық роботты басқару жүйесіне келесі талаптарды анықтаймыз:

1. Контурлық және/немесе позициялық басқару мүмкіндігі;
2. Қозғалтқыш білігінде қалыптасатын моментті басқару;
3. Әр сілтеменің жағдайы, жылдамдығы және сәті туралы ақпараттың болуы;
4. Позиция қатесін азайту және күшті басқару жағдайында жұмыс органы құрған сәт;
5. Басқару әсерін қалыптастыру сатысында кинематиканың тікелей және кері есептерін есептеу;
6. Әр қозғалтқыштың білігіне әсер ететін күштердің жиынтық моменті түрінде көрсетілген манипулятордың динамикалық сипаттамаларын есепке алу.

### 3.2 Басқару жүйесінің құрылымдық схемасы

Бұрын анықталған басқару принциптерінің негізінде манипуляциялық роботты басқару жүйесінің жалпы құрылымдық схемасы жасалды (3.1 - сурет).



Сурет 3.1 – Манипуляциялық роботты басқару жүйесінің құрылымдық схемасы

Траекторияны жоспарлаушы сырттан көрсетілген қозғалысты жұмыс денесінің кеңістіктегі қозғалысын сипаттайтын аралық нүктелер тізбегіне айналдыруға арналған. Жұмыс түріне және қозғалыс түріне байланысты ол әр қозғалтқыштың жағдайы, жылдамдығы және үдеуі туралы ақпаратты қамтитын мәліметтер жиынтығын құра алады.

Жоспарлаушының координаттар жүйесі манипулятордың координаттар жүйесінен өзгеше болуы мүмкін болғандықтан, басқару әрекетін қалыптастыру үшін алынған мәліметтерді жалпыланған координаттар жүйесіне айналдыру қажет. Ол үшін кинематиканы есептеу блогы қолданылады, ол 2-бөлімде егжей-тегжейлі қарастырылады.

Жоспарлаушының координаттар жүйесі манипулятордың координаттар жүйесінен өзгеше болуы мүмкін болғандықтан, басқару әсерін қалыптастыру үшін алынған мәліметтерді жалпыланған координаттар жүйесіне айналдыру қажет. Ол үшін 2-бөлімде егжей-тегжейлі қарастырылған кинематиканы есептеу блогы қолданылады [19].

Динамикалық сипаттамалардың роботтың мінез-құлқына әсерін ескеру үшін 2 бөлімде сипатталған динамиканы есептеу блогы қолданылады. Белгілі

бір уақытта жұмыс органының күй айнымалылары туралы ақпарат кері байланыс арналары арқылы блок кірісіне түседі. Сонымен қатар, ол жалпыланған координаттар кеңістігінде ұсынылған және қайта құруды қажет етпейді. Динамикалық сипаттамалардың әсерін ескеретін есептелген момент сыртқы жүктеме моменті түрінде ағымдағы реттегішке жіберіледі.

Айта кету керек, құрылымдық схемада көрсетілген жеке блоктардың конфигурациясы, ең алдымен, манипулятордың кинематикалық құрылымымен және жеке сілтемелер арасындағы бар байланыстармен анықталады. Осы жұмыс аясында сериялық кинематикалық схемасы бар Puma-560 манипуляторы пайдаланылатындығына байланысты, ұсынылған құрылымдық схема осы сыныптың манипуляциясын контурлық-позициялық басқару мәселелерін шешу үшін қолдануға болатын реттелетін басқару жүйесін құруға мүмкіндік береді. Жеке компоненттердің егжей-тегжейлі құрылымы төменде қарастырылады.

### 3.3 Басқару жүйесінің сапа критерийлерін анықтау

Бұл жұмыстың негізгі бағыты, ең алдымен, контурлық-позициялық басқару мәселелеріне бағытталған, сондықтан басқару сапасының маңызды критерийі жұмыс органының орналасу қатесі болып табылады [22].

Қателердің келесі түрлерін бөліп көрсету керек:

1. Буын позициясының тәуелсіз қателігі;
2. Жұмыс органының орташа квадраттық қателігі;
3. Манипулятордың жұмыс органының орналасуының салыстырмалы қателігі.

Әр нұсқаны егжей-тегжейлі қарастырайық.

Ось  $\Delta q_i(t) = q_{i,3}(t) - q_i(t)$  позициясындағы тәуелсіз қателік манипулятордың жеке буынын басқару сапасының негізгі критерийін білдіреді. Ол бір осьті жылжыту үшін тапсырманың қаншалықты дәл өңделіп жатқанын бағалауға мүмкіндік береді. Оны олардың тәуелсіз модельдеуімен де, бүкіл басқару жүйесін модельдеу арқылы да анықтауға болады. Сыртқы және ішкі динамикалық факторлар нақты манипуляторда маңызды рөл атқаратындықтан, оның жалпы нәтижеге әсерін бағалау қиынырақ.

Орта квадратты қате  $\Delta q_{cp}(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta q_i^2(t)}$  жұмыс органының орналасуының жалпы қатесін, яғни барлық сыртқы факторлардың әсерін ескере отырып, манипулятордың кеңістіктегі қозғалысының қатесін бағалауға мүмкіндік береді. Оны осьтердің орналасу қателерінің квадраттарының қосындысы ретінде есептеуге болады.

Манипуляциялық робот бірыңғай жүйе ретінде қарастырылатындығына байланысты, бұл өлшем манипулятордың орналасу дәлдігін дәл бағалауға мүмкіндік береді.

Салыстырмалы қате  $\Delta q_{i,o}(t) = \frac{\Delta q(t)}{x(t)}$  манипулятордың орнын өзгерту кезінде оның қозғалу сапасын көрсетеді. Бұл қозғалыс шегіне немесе жылдамдыққа байланысты орналасу дәлдігін бағалауға мүмкіндік береді

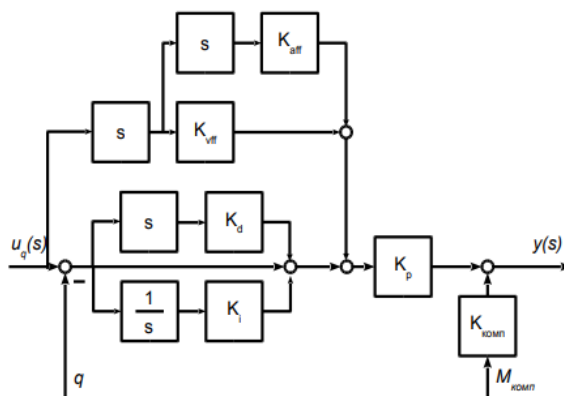
Осы критерийлерден басқа, өтпелі уақыт пен қайта реттеу сияқты сипаттамалар маңызды рөл атқарады. Олар берілген басқару әсерінің даму сапасын бағалауға және үдеу және жылдамдық сияқты қозғалыстың рұқсат етілген физикалық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, көп осьті манипуляциялық роботты басқару сапасының негізгі көрсеткіші-бұл орташа квадраттық позициялау қатесі, ол берілген қозғалыстың қаншалықты дәл орындалғанын, өтпелі уақытты және өтпелі процестерді бағалауға мүмкіндік беретін қайта реттеуді көрсетеді.

Манипуляциялық роботты басқару жүйесінің сипатталған құрылымдық схемасына сүйене отырып, басқару жүйесін синтездеу тәсілдерін анықтауға болады [17].

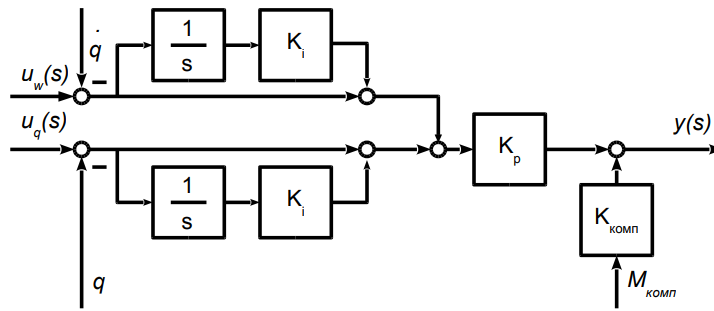
Айта кету керек, манипулятордың алғашқы үш байланысы СУ-ның мінез-құлқына үлкен әсер етеді. Осылайша, одан әрі модельдеу және бағалау үшін олар бойынша талдау жүргізген жөн.

Реттегішті синтездеу кезінде келесі стратегияны таңдаймыз. Бірінші жағдайда, біз өте қарапайым және конфигурацияда тиімді, пропорционалды интегралды-дифференциалды (PID) реттегішке назар аударамыз, сілтемелердегі қатаң байланыстары бар электромеханикалық жүйені басқару кезінде динамикалық режимдердегі басқару сапасын жақсарту үшін алдын-ала байланыстарды енгіземіз. Басқа жағдайда, біз оның көпмүшелік нұсқасындағы күйді реттегішті неғұрлым "қатаң" деп таңдаймыз, ол бұзылулардың әсеріне сезімтал емес, бірақ есептеу ресурстарына қойылатын талаптар тұрғысынан іске асыру қиынырақ және қымбатқа түседі, бірақ қажет болған жағдайда манипулятор байланыстарының серпімді қасиеттерін ескеруге мүмкіндік береді.

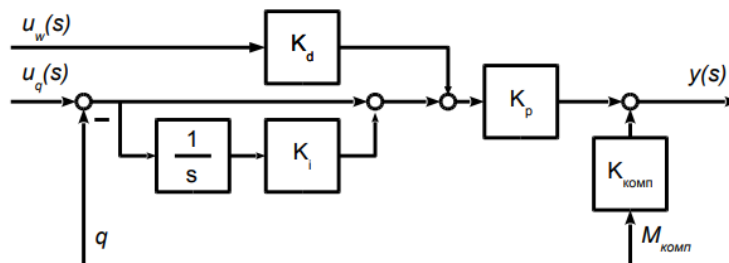


Сурет 3.2 – Алдын-ала реттеуіш байланысы бар ПИД-регулятор моделі





Сурет 3.3 – Екі кірісі бар регулятор моделі



Сурет 3.4 – Түрлендірілген ПИД-регулятор моделі

Көптеген технологиялық міндеттер контурлық позициялық бақылауды қолдануға негізделгендіктен, басқару жүйесінен динамикалық және статикалық позициялау қателерін азайту қажет. Осы мәселені шешу үшін ПИД-реттегішті пайдалану шеңберінде бірнеше тәсілдерді пайдалануға болады [23]:

1. Позицияға (жылдамдық, үдеу) тапсырманың туындылары бойынша алдын-ала байланыстарды енгізу (3.2 – сурет);
2. Жылдамдықты басқару үшін жеке тізбекті енгізу (3.3 – сурет).

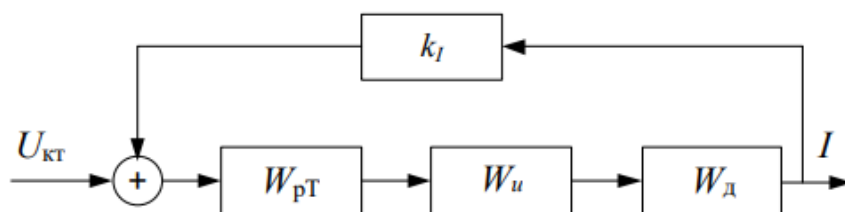
Бірінші әдіс реттегіштің жалпы құрылымын сақтай отырып, енгізілген туындылардағы динамикалық қателіктердің мәнін тиімді төмендететін қосымша байланыстармен кеңейтуге мүмкіндік береді. Бұл жағдайда динамикалық және статикалық қателерді азайту тепе-теңдігіне қол жеткізіледі, бұл оны позициялық қозғалыстар үшін де, контурды басқару үшін де қолдануға мүмкіндік береді. Алайда, алдын-ала байланыстарды енгізу дифференциялаудың қосымша буындарының пайда болуына әкеледі, бұл есептеу шығындарының өсуімен бірге жүреді.

Екінші әдіс – бастапқы ПИД реттегішін ПИ-позиция реттегішіне және П жылдамдық реттегішіне нақты бөлу. Бұл тәсіл позициядағы қатені ғана емес, сонымен қатар жылдамдық қатесін де азайтуға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда алгоритмнің есептік күрделілігі бастапқы деңгейде қалады. Бұл тәсілдің

кемшіліктері жылдамдық сенсорын енгізу қажеттілігін қамтуы керек, бұл басқару жүйесінің күрделенуіне немесе позиция бойынша кері байланыстағы дифференциация байланысына әкеледі, бұл бір соққының кешеуілдеуіне әкеледі.

Ұсынылған іске асыру нұсқасы сипатталған әдістердің комбинациясын қолданады (3.4 – сурет). Ең алдымен, позицияның PID реттегіші жылдамдық бойынша алдын-ала Байланыс енгізе отырып, PI реттегішімен ауыстырылады. Бұл жағдайда позиция мен жылдамдыққа арналған тапсырмалар траекторияны жоспарлаушыда қалыптасады, бұл олардың есебін "нақты" уақыттың өлшемінен алып тастауға мүмкіндік береді.

Токты реттеу контурының құрылымдық схемасы 3.5 – суретінде көрсетілген:



Сурет 3.5 – Токты реттеу контурының құрылымдық схемасы

Мұнда  $U_{кТ}$  – ток контурының кіріс әсері;  $k_I$  – ток бойынша кері байланыс коэффициенті;  $W_{pT}$ ,  $W_u$ ,  $W_d$  - ток реттегішінің, инвертордың және қозғалтқыштың беріліс функциялары [20].

Ток тізбегі компоненттерінің берілу функциялары:

$$W_{pT} = k_T(T_T p + 1)p^{-1}; W_u = k_u; W_d = k_d(T_\Delta p + 1)^{-1}, \quad (3.1)$$

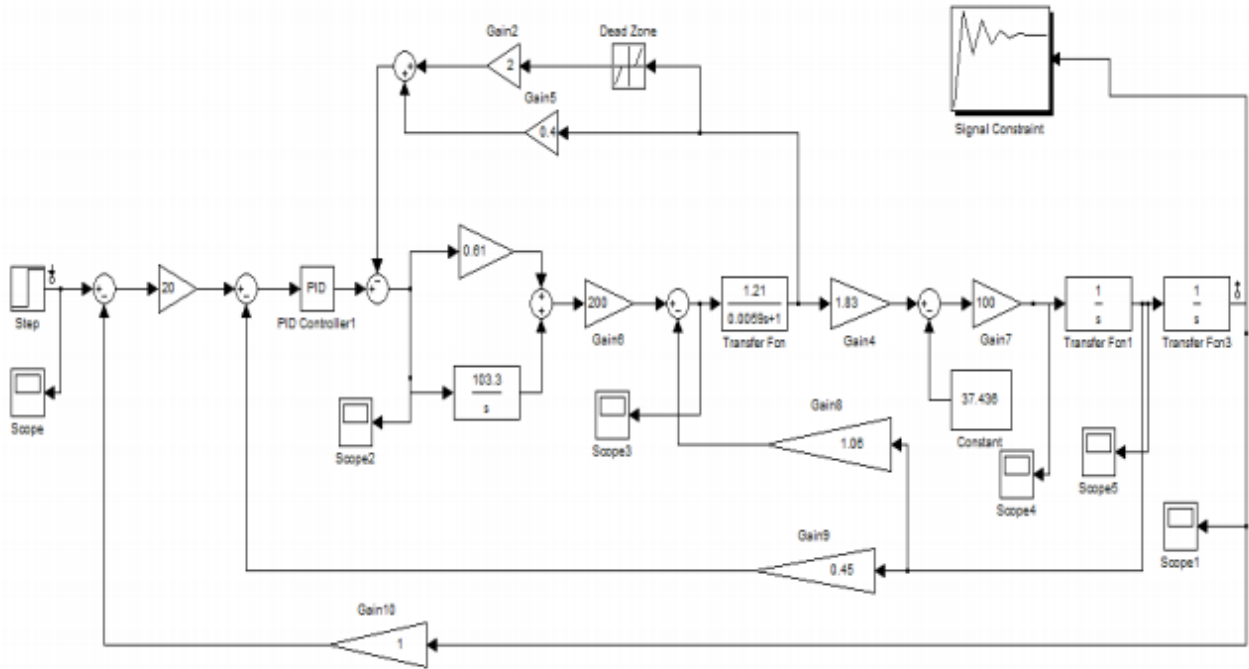
Қозғалтқыштың электромагниттік тұрақты уақытын өтеу жағдайынан алынған жабық жүйенің берілу функциясы формула бойынша берілген:

$$W_{кТ} = \frac{k_I^{-1}}{(k_T k_u k_d k_I)^{-1} p + 1}, \quad (3.2)$$

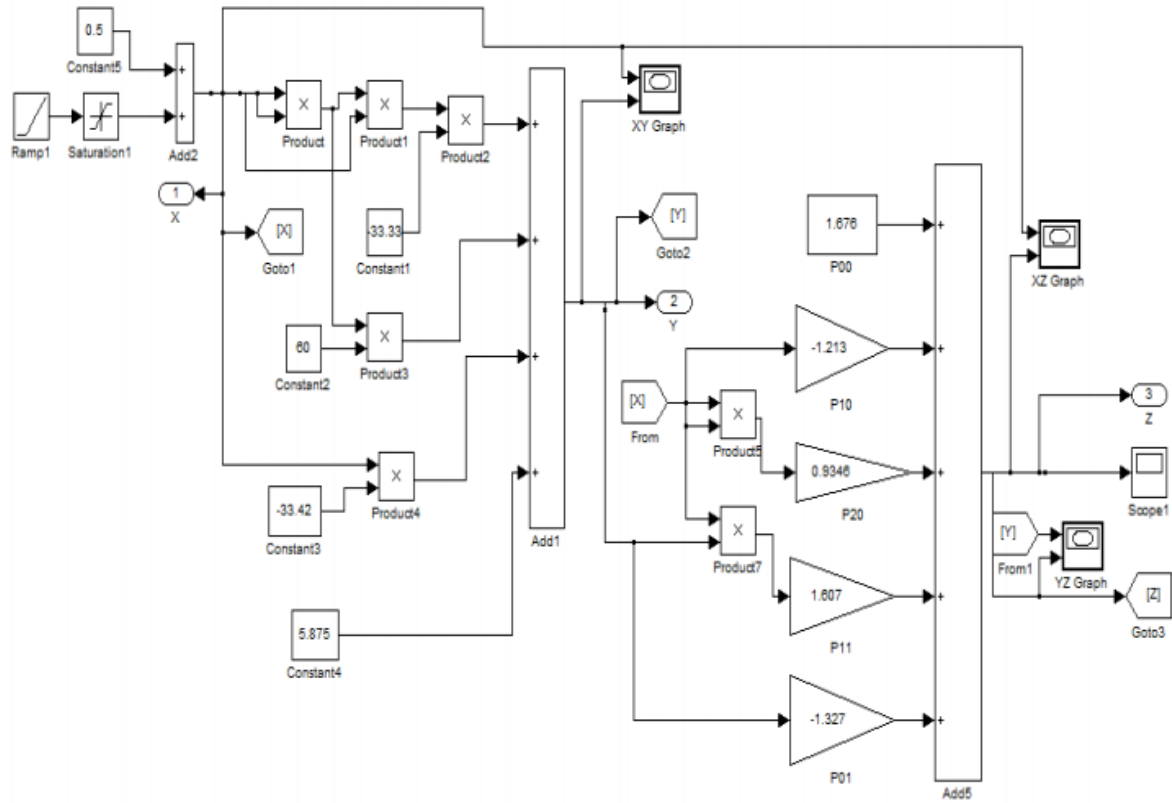
Қозғалтқыштардың параметрлеріне сүйене отырып, біз әр жетектің ток тізбегінің ПИ реттегіштерінің коэффициенттерін есептейміз:

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1) $k_{и} = 103.3; k_{п} = 0.61;$ | 4) $k_{и} = 203.7; k_{п} = 0.44;$ |
| 2) $k_{и} = 206.3; k_{п} = 1.01;$ | 5) $k_{и} = 341.3; k_{п} = 1.55.$ |
| 3) $k_{и} = 156.8; k_{п} = 0.88;$ |                                   |

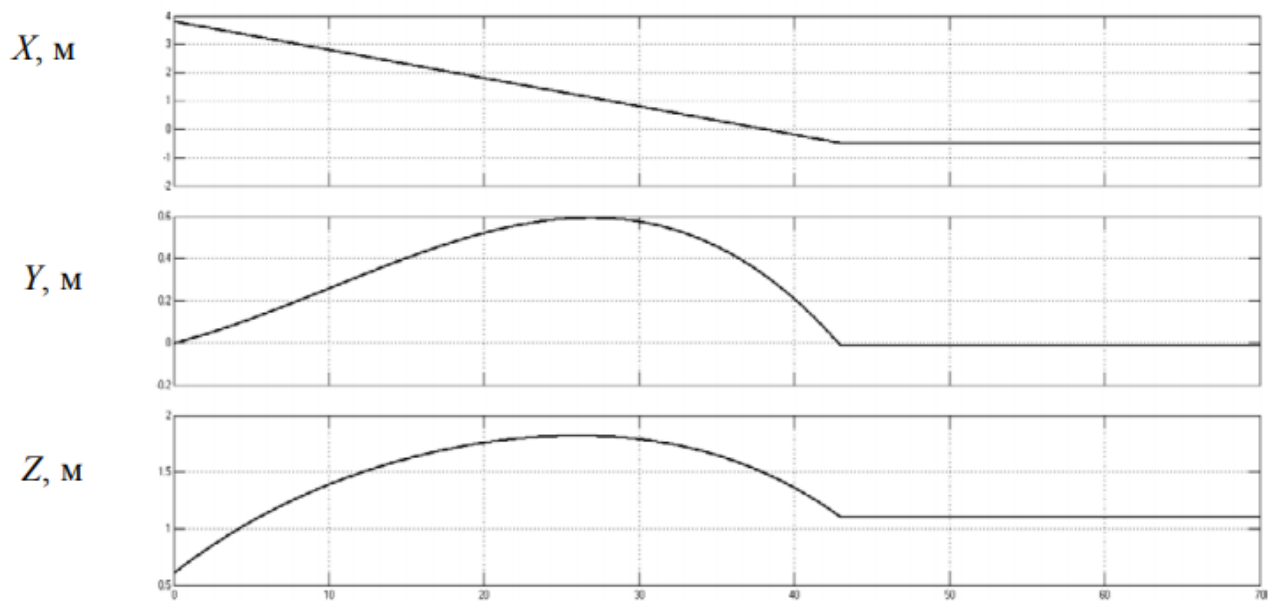
Жүйенің динамикалық қасиеттері көбінесе жылдамдық тізбегінің сапасымен анықталады. Сондықтан тиісті буынның массасын және қозғалысты түрлендіру механизмін ескере отырып, оның параметрлік синтезін жүргізу жеткілікті. 3.6 – суретте келтірілген Simulink-редукторы бар жетек моделі, онда механизмнің серпімді-демпферлік қасиеттері көрсетілген.



Сурет 3.6 – Редукторы бар жетек моделі



Сурет 3.7 – Траекторияны жоспарлаушының моделі



Сурет 3.8 – Жұмыс органының қозғалыс траекториясы

## ҚОРЫТЫНДЫ

Аппараттық және бағдарламалық архитектураны құрудың ұсынылған принциптері қазіргі заманғы өнеркәсіптің талаптарына сәйкес келетін манипуляциялық роботтарды басқару жүйесін жасауға мүмкіндік береді.

Екі процессорлық архитектураға негізделген тәсілді тек манипуляциялық роботтарды ғана емес, сонымен қатар жабдықтың жақын санаттарын, мысалы, металл өңдеу машиналарын басқару үшін де қолдануға болады. Бұл шешім икемді өндірістік жүйелерді құру үшін әртүрлі манипуляциялық роботтарды, машиналарды және басқа құрылғыларды бөлісуге мүмкіндік береді.

Сипатталған жалпыланған математикалық модель манипулятордың жұмыс органының қозғалыс траекториясын қалыптастыруға мүмкіндік береді, оған әсер ететін есептелген сәттерді ескере отырып, нәтижесінде қозғалыс дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Манипуляциялық роботты басқару жүйесінің позициялық реттеушілерін іске асырудың нұсқалары ұсынылған, бұл оларға әсер ететін күштердің айтарлықтай өзгеруімен манипулятор байланыстарын контурлық позициялық басқаруға мүмкіндік береді.

Ұсынылған қағидаттар негізінде жасалған прототип іске асырылды, оның нәтижелері манипуляциялық роботты басқарудың дамыған жүйесінің қолданыстағы технологиялық талаптарға сәйкестігін растады.

## ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир– 1989. – 624 б.
- 2 Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами. СПб. – 2001. – 168 б.
- 3 А.Н. Горитов, С.М. Алфёров. Сглаживание траекторий перемещения рабочего органа робота манипулятора// Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2006 г. № 8. – б. 176-179.
- 4 Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Л.: Энергоиздат. 1982. – 392 б.
- 5 Роботизированные производственные комплексы/Ю. Г. Козырев, А. А. Кудинов, В. Э. Булатов и др.; Под ред. Ю. Г. Козырева, А. А. Кудинова. – М.: Машиностроение, 1987. – 270 б.
- 6 <http://www.kuka-robotics.com/russia/ru/>
- 7 Основы динамики промышленных роботов. Коловский М.З., Слоущ А.В. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1988. – 240 б.
- 8 Тертычный-Даури В. Динамика робототехнических систем. СанктПетербург, 2012. – 128 б.
- 9 Abb.com
- 10 Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. М.: Наука, 1976. – 104 б.
- 11 Красильникьянц Е. В., Варков А. А., Тютиков В. В. Система управления манипуляционным роботом// Автоматизация в промышленности. - №5. – 2011. – С. 38-44.
- 12 Справочник по промышленной робототехнике. В 2-х книгах. Под ред. Ш. Нофа -М.: Машиностроение. 1989. – 480 б.
- 13 Попов Е.П. Робототехника и гибкие производственные системы. М.: Наука, 1987. – 192 б.
- 14 Кулешов В. С., Лакота Н. А. Динамика систем управления манипуляторами. М.: Энергия, 1971. 304 б.
- 15 Козлов Ю.М. Адаптация и обучение в робототехнике. М.: Наука, 1990. – 248 б.
- 16 Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2000. – 832 б.
- 17 Лебедев П.А. Кинематика пространственных механизмов. М.: Машиностроение, 1967. – 280 б.
- 18 Бройнль Т. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления. – М.: ИКИ, 2012. – 520 б.

- 19 Робототехника и гибкие автоматизированные производства, под ред. И.М. Макарова, учеб. пособие для вузов. Кн. 2. Приводы робототехнических систем, Ж.П. Ахромеев, Н.Д. Дмитриева, В.М. Лохин и др.; под общ. ред. И.М. Макарова. - М.: Высш. шк., 1986. - 175 б.
- 20 Шахинпур М. Курс робототехники. М.: Мир– 1990. – 527 б.
- 21 Фролов К.В. Механика промышленных роботов. Кн. 1: Кинематика и динамика. – М.:Высшая школа – 1988. – 304 б.
- 22 А. Филимонов. Построение мультисервисных сетей Ethernet. — М.: ВНУ, 2007. – 592 б.
- 23 Тютиков В. В., Красильникьянц Е. В., Варков А. А. Компоненты программного обеспечения манипуляционного робота// Вестник ИГЭУ – Вып. 4. – 2011. – С. 40-43.

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Нурболатов Дарын Төлөндүлү

**Название:** Роботтарды манипуляциялауға арналған микропроцессорлы басқару жүйесін құру

**Координатор:** Куаныш Абжапаров

**Коэффициент подобия 1:** 0.5

**Коэффициент подобия 2:** 0

**Замена букв:** 7

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

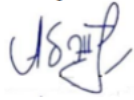
**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

.....

.....  
Дата

  
.....  
Подпись Научного руководителя



**Протокол анализа Отчета подобия**

**заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Нурболатов Дарын Төлендіұлы

**Название:** Роботтарды манипуляциялауға арналған микропроцессорлық басқару жүйесін құру

**Координатор:** Куаныш Абжапаров

**Коэффициент подобия 1:0.5**

**Коэффициент подобия 2:0**

**Замена букв:7**

**Интервалы:0**

**Микропробелы:0**

**Белые знаки:0**

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

**Обоснование:**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Дата



Подпись заведующего кафедрой /

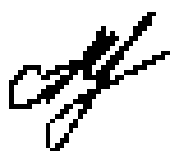
начальника структурного подразделения

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....

Дата



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения