

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Электроника және робототехника кафедрасы

«ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ»

Кафедра меңгерушісі

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

« »

201 ж.

(колы)

ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА

Тақырыбы: Үш еркіндік дәрежелі манипулятордың  
динамикасы мен сенімділігін зерттеу

Мамандығы 5В071600 Аспап жасау

Орындаған Хайрула Ян Жумабайұлы

(Т.А.Ж.)

Тобы ПСК-15-2

Ғылыми жетекшісі доцент, доктор PhD, Мауыт Жазап

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

Кеңесшілер:

экономикалық бөлім бойынша:

аға оқытушы Түлегенова С.К.

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

Түлегенова С.К.

« 5 »

06

201 ж.

(колы)

өміртіршілігі қауіпсіздігі бойынша:

аға оқытушы Байзакова С.М.

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

Байзакова С.М.

« 10 »

06

201 ж.

(колы)

есептеу техникасын қолдану бойынша:

доцент, доктор PhD, Мауыт Жазап

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

Мауыт Жазап

« 5 »

06

201 ж.

(колы)

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

« »

201 ж.

(колы)

Нормобақылаушы:

А.А. Ахметов

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

А.А. Ахметов

« 10 »

06

201 ж.

(колы)

Пікір беруші:

(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)

« »

201 ж.

(колы)

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ғарыштық техника және телекоммуникация институты

Электроника және робототехника кафедрасы

Мамандығы 58071600 Аспап жасау

Дипломдық жобаны орындауға берілген

**ТАПСЫРМА**

Студент Хайрулла Аян Әлиұлы

(Т.А.Ж.)

Жобаның тақырыбы «Үш еркіндік дәрежелі манипулятордың динамикасын және сенімділігін зерттеу»

201\_\_ ж. «\_\_» \_\_\_\_\_ №\_\_ университет бұйрығымен бекітілді.

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «10» маусым 2019 ж.

Жобаға алғашқы деректер (талап етілетін зерттеу (жоба) нәтижелерінің параметрлері және зерттеу нысанының алғашқы деректері):

1. Манипулятордың кинематикалық схемаларын талдау
2. Манипулятордың жетектерін талдау
3. Манипулятордың электроникасы.

Диплом жобасындағы әзірленуі тиіс мәселелер тізімі немесе диплом жобасының қысқаша мазмұны:

1. Жалпы манипулятор туралы ақпарат
2. Манипулятордың динамикасын зерттеу
3. Манипулятордың сенімділігін зерттеу
4. Манипулятор моделін құрастыру

Графикалық материалдардың (міндетті түрде дайындалатын сызбаларды көрсету) тізімі:

1. Титулдық бет
2. Манипулятор туралы түсінік
3. Манипулятордың динамикасы мен сенімділігін зерттеу
4. Икеңді манипуляторларды басқару.
5. Робот манипуляторды құрастыру және бағдарламау
6. Экономикалық бөлім
7. Өміршілік қауіпсіздігі бөлімі.

Негізгі ұсынылатын әдебиеттер:

1. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. - М.: Энергия, 1977.
2. Бабешкин Р.И. 2-Новомосковск Зуре А.С., Пезнер Ф.М. «Крановой электропривод»

Жоба бойынша жобаның бөлімдеріне қатысты белгіленген кеңесшілер

Бөлімдері	Кеңесшілері	Мерзімі	Қолы
Экономика	Тулстенова С.К.	5.06.19	Тулстенова
Тіршілік қ.н.	Байдакова С.М.	10.06.19	Байдакова
Негізгі бөлім	Мачыт Эльазы	10.06.19	Мачыт



Диплом жобасы дайындау  
КЕСТЕСІ

[illegible]

Тапсырманың берілген уақыты «28» ақпан 2019 ж.

Кафедра меңгерушісі

(КОЛЫ)

(Т.А.Ж.)

Жобанын

ғылыми жетекшісі

(КОЛЫ)

(Т.А.Ж.)

## Орындалатын тапсырманы

қабылдаған студент

(КОЛЫ)

(Т.А.Ж.)

## **Аңдатпа**

Дипломдық жоба өндіріс орындарында адам күшін ауыстыруға арналған манипулятордың динамикасы мен сенімділігін зерттеп, оны құрастыруға арналған. Оның бағдарламасы автоматты және қолмен бақарылатын қылып жасалынды. Жобаның өміртіршілік қауіпсіздігіне зерттеулер жүргізілді. Бұл жобаның экономикалық бөлімінде кеткен шығындар мен өзін-өзі ақтау уақыты анықталды.

## **Аннотация**

Дипломный проект предназначен для изучения динамики и надежности манипулятора, предназначенного для замены человеческой силы на производственных предприятиях и для его построения. Его программа управления была разработана автоматическим и ручным. Проведены исследования безопасности жизнедеятельности проекта. В экономической части проекта определены затраты и время окупаемости.

## **Annotation**

The diploma project is designed to study the dynamics and reliability of the manipulator, designed to move human power in manufacturing plants and for its construction. His program was developed automatically and manually. Studies of the safety of the project. The economic part of the project defines the costs and payback time.

## Мазмұны

Кіріспе	7
1 Манипулятор туралы түсінік	8
1.1 Көп буынды манипулятор буынының жұмысын анықтау	8
1.2 Манипулятордың жұмыс жасайтын координаталық жүйе	8
1.3 Манипулятордың буын жетегі	11
2 Манипулятордың динамикасын және сенімділігін зерттеу	13
2.1 Кинематикалық сипаттама	13
2.2 Қатты байланыс кинематикасы	14
2.3 Икемді буын байланысы кинематикасы	16
2.4 Қатты байланысты динамикалық модельдеу	20
2.5 Икемді буын байланысын модельдеу	22
2.6 Икемді буынның байланысқан орнын үлгілеу	26
2.7 Рекурсивті кинематикалық формуляциялау	27
2.8 Мульти-дене кодының құрылымы	30
2.9 Манипулятордың кеңістікте икемділігін зерттеу	32
3 Икемді манипуляторларды басқару	38
3.1 PD басқару	38
3.2 Сингулярлық ауытқуларды басқару	40
3.3 Итеративті басқару әдісі	41
3.4 Кері байланыс сенімділігін бақылау	42
3.5 Сызықты емес бақылау	44
3.6 Адаптивті басқару	46
4 Робот манипуляторды құрастыру және бағдарламалау	52
4.1 Робот манипуляторды моделін құрастыру	52
4.2 Манипулятордың электрлік бөліктерін контроллерге қосу	53
4.3 Манипулятор бағдарламасын дайындау	55
5 Техника экономикалық негіздеу	61
5.1 Жобаның міндеті мен мақсаты	61
5.2 Өндірістік жоспар	61
5.3 Кететін шығындар	64
5.4 Жобаның экономикалық тиімділігі	66
6 Өміртіршілік қауіпсіздігі	69
6.1 Еңбек жағдайларын талдау	69
6.2 Зиянды және қауіпті өндірістік факторлар	69
6.3 Жарықтандыру	70
6.4 Жарықтандыруды есептеу	72
Қорытынды	75
Әдебиеттер тізімі	76

## Кіріспе

Манипулятор дегеніміз – белгілі бір аумақта өздігінен жұмыс жасай алатын, манипуляция жасайтын құрылғылармен жабдықталған техникалық құрылғы. Манипулятордың өндіріс орындарында, зауыттарда, құрылыс саласында берер пайдасы өте көп. Ол адам жұмысын ауыстырып қана қоймай, оның жасайтын жұмысынан асып түседі. Атап айта кетсек, оның ауыр жүктердің орнын ауыстыруы, қайталанып жасалынатын ұсақ әрі көп заттармен тез жұмыс жасауы және кесу, дәнекерлеу, ою секілді істерді жасауда дәлдігі көп салада өзіне қолданыс табуда.

Манипулятордың дәл әрі тез жұмыс жасауы үшін оны жобалау барысы өте маңызды. Себебі, оның дұрыс жобаланбауы қозғалтқыштың істен шығуы, буын бірлескен жерлерінің ажырап кетуі, жүктелген затты көтере алмауы, маневр жасау кезінде дәлдігінің болмауы секілді және т.б. мәселелер тудырады.

Манипулятордың мүмкіншілігі шектеулі адамдарға да тигізер пайдасы бар. Қолдары әлсіз немесе қолы жұмыс жасамайтын адамдарға манипулятор қолдың атқаратын қызметін ауыстырып береді. Әрине, ондай манипуляторлардың адамға қауіпсіздігі басты назарда ұсталады.

Қазақстан зауыттарының көп бөлігі адам күшін роботтармен ауыстыруда кейінгі сатыда қалып кеткен. Мысалы, отандық өндіруші «Сайман» корпорациясы Қазақстан бойынша және ТМД елдері бойынша электресептеуіш құрылғыларын, ток трансформаторын және т.б. электрлік жабдықтарды өндіріп сатуда алдыңғы қатарда, бірақ оның цехтары роботтармен жабдықталмаған. Сондықтан осы көптеген зауыт, фабрикаларды экологияға зияны жоқ робот-манипуляторлармен жабдықтауымыз біздің мойынымызда. Әрине, ондай саланы дамытатын болса біздің роботтарымыз экспортқа да шығып қалар.

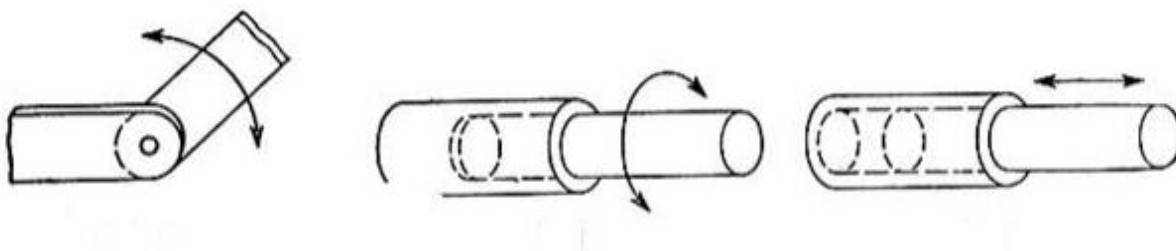
Қазақстан жері пайдалы қазбаларға бай. Сондықтан, көп шахталарымыз бар. Сол шахтадағы жұмыс жасайтын адамдар жұмысын ауыстыратын манипулятор қажет.

Бұл дипломдық жобада үш еркіндік дәрежелі манипулятордың динамикасы мен сенімділігі сенімділігі зерттеледі және сол есептеулер арқылы оның моделі жасалынатын болады. Бұл манипулятордың үш буыны болады, оңға және солға бұрыла алады, төмен жоғары көтеріледі және соңғы буынында қысқыш болады. Бұл модель заттың орнын ауыстыруға арналған. Бұның соңғы буынындағы қысқышты басқа қолданылатын салаға байланысты ауыстыруға болады. Мысалы, дәнекер жасалатын жерде дәнекер аппаратын, ағашпен, темірмен жұмыс жасайтын жерлерде кескіш ара немесе темір араны орнатуға болады.

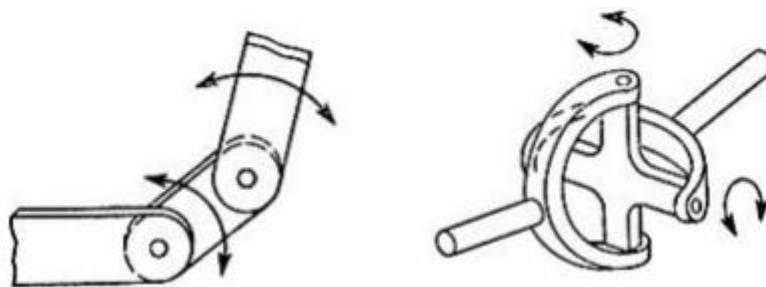
## 1 Манипулятор туралы түсінік

### 1.1 Көп буынды манипулятор буынының жұмысын анықтау

Көпбуынды манипулятор (1.1,1.2-сурет) – бірнеше қозғалу еркіндігі бар манипулятор. Егер манипулятор  $n$  түрлі тәуелсіз қозғалыс жасай алатын болса, оның  $n$  қозғалу еркіндігі болады.



Сурет 1.1 – Бір қозғалу еркіндігі бар механизм кинематикалық сұлбасы



Сурет 1.2 – Екі қозғалу еркіндігі бар механизм кинематикалық сұлбасы

Қолданыстағы өндірістік роботтар бес-алты еркіндік дәрежелі болып келеді. Бірақ көп роботтар аз қозғалу мүмкіншілікті болып келеді. Оның себебі қолданыстағы қарапайымдылығы және сенімділігі.

### 1.2 Манипулятордың жұмыс жасайтын координаталық жүйе

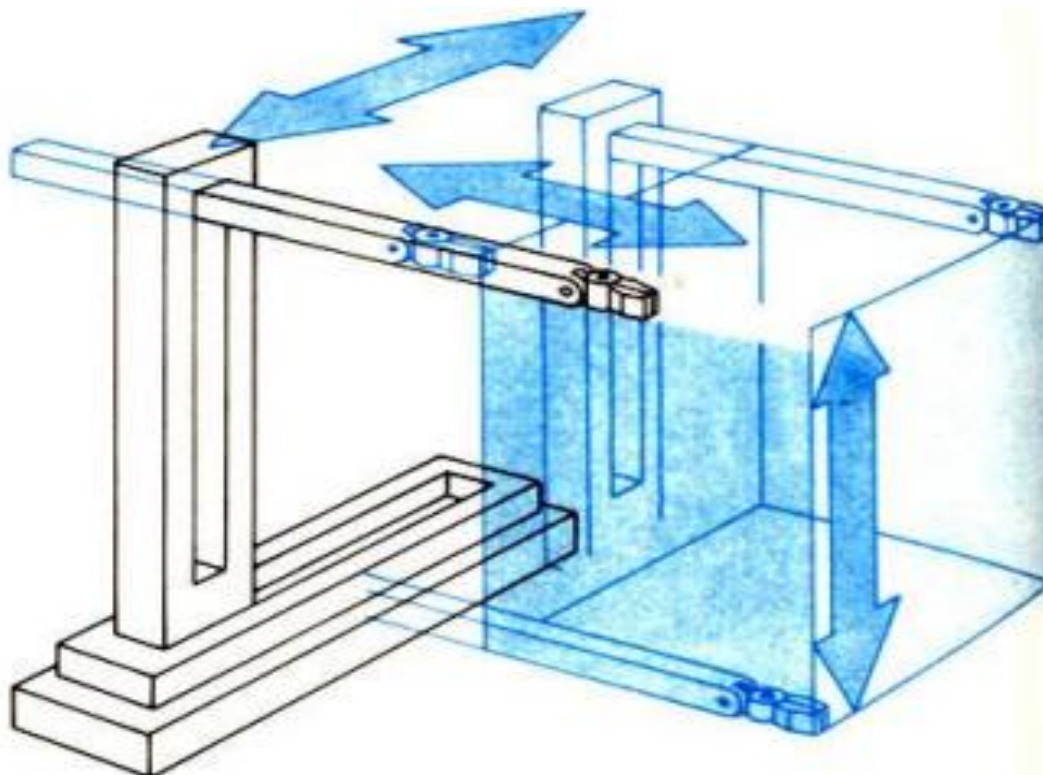
Робот манипуляторды жасаудағы ең алғашқы туындайтын басты мәселе – оған қандай кинематикалық сұлба таңдау керек және қандай құрылымды болатынын анықтап алу. Көп жағдайларда, манипуляторлар адам қолына ұқсатылып, иығы, буын, және алақан тәріздес етіліп жасалынады.

Қарапайым операцияларды орындау үшін манипуляторға екі еркіндік дәрежесі болса жеткілікті, ал күрделі операцияларға манипуляторға үш және күрделілігіне байланысты үш және оданда көп еркіндік дәрежесі қажет. Әрбір буын негізінен өзінің жетегі арқылы басқарылады. Заманауи роботтар



пневматикалық, гидравликалық және электромеханикалық жетектермен жабдықталады. Біздің таңдаған жетек түрі электромеханикалық.

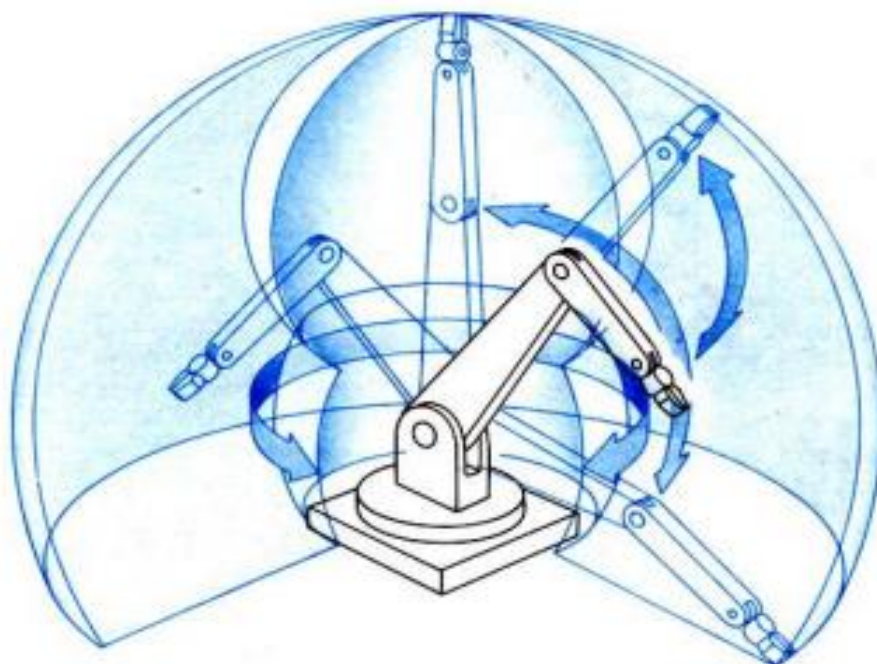
Декарт координаталар жүйесі. Мұндай жүйе (1.3-сурет) басқарылу жағынан қарапайым және дәлдігі жағынан өте жоғары сапалы. Бұл жүйеде робот өзінің орнатылған осьтері арқылы ғана қозғалады. Атқарушы механизмі ось арқылы төмен-жоғары қозғала алады. Көп жағдайда, бұл жүйе горизонталды аймақтады жұмыс жасауға арналады.



Сурет 1.3 – Декарттық координаталық жүйе

Сфералық координаталық жүйе. Бұл координаталық жүйе аты аталып тұрғандай жұмыс жасау аймағы сфера төбелерімен шектеледі. Сфералық координаталық жүйе (1.4-сурет) өзінің универсалдығымен және өте жоғарғы техникалық мүмкіндіктерге ие, бірақ бұл кинематикалық сұлба басқаларына қарағанда бағдарламалау тұсы қиындық туғызады. Осындай жүйемен роботтың атқарушы бөлігі күрделі траектория жасап қозғала алады.

Ангулярлы координаталық жүйе. Ең күрделі, бірақ универсалды координаталық жүйе бұл ангулярлы және бұрыштық болып табылады. Ол өзінің күрделі кинематикасымен ерекшеленеді. Мұндай манипулятор (1.5-сурет) кез-келген кедергіні айналып өте алады және жинлып қалу мүмкіншілігі бар. Дайындау және басқару тұрғысынан мұндай робот өте күрделі болып келеді.

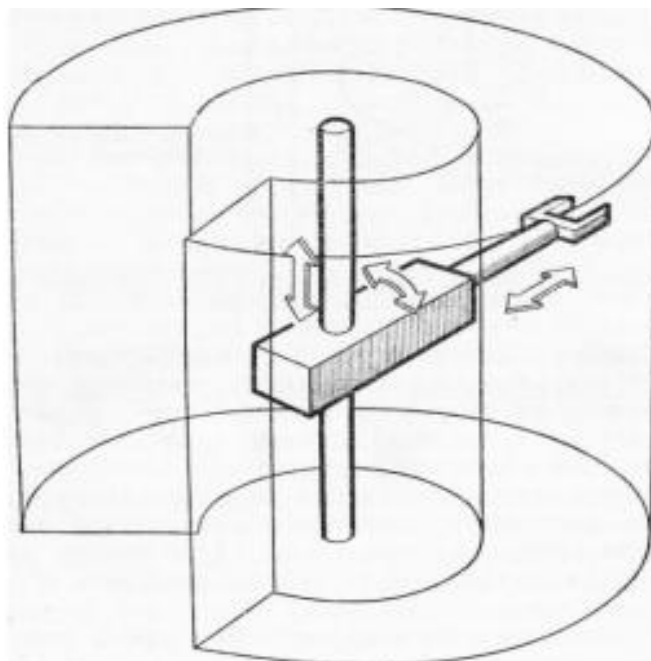


Сурет 1.4 – Сфералық координаталық жүйе



Сурет 1.5 – Ангулярлы координаталық жүйелі манипулятор

Цилиндрлік координаталық жүйе. Бұл манипулятордың жұмыс жасау аймағы цилиндр тәріздес болып келеді. Цилиндрлік координаталық жүйелі (1.6-сурет) манипулятор тікбұрыштыдан айырмашылығы, ол өзінің осымен айнала алады және сол арқылы жұмыс аймағын көбейтеді.



Сурет 1.6 – Цилиндрлік координаталық жүйелі манипулятор

### 1.3 Манипулятордың буын жетегі

Манипулятордың буындарын қозғалысқа келтіру үшін гидравликалық, пневматикалық және электрлік жетектер қолданылады. Манипулятор жасайтын жұмысына және күрделілігіне байланысты жетектің түрі таңдалады.

Гидравликалық жетек (1.7-сурет). Бұл қозғалтқыш түрі манипулятор буының сұйықтықтың көмегімен жүзеге асырады. Бұл құрылыс саласындағы крандарда, ауыр өнеркәсіпте кеңінен қолданылады.

Электрлік жетек. Электрлік жетек электр энергиясын механикалық энергияға айналдыру арқылы жүзеге асады. Электрлік қозғалтқыштың келесі түрлері бар:

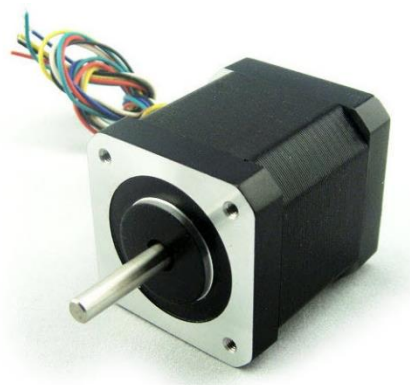
- серво қозғалтқыш;
- кадамды қозғалтқыш;
- тұрақты ток қозғалтқышы.

Манипулятордың жетегі ретінде серво және кадамды қозғалтқыш (1.8-сурет) қолданылады. Себебі, оның қозғалысын бағдарламалау арқылы реттеуге болады. Ал тұрақты ток қозғалтқышы ондай жетек қызметін атқара алмайды. Серво және кадамды қозғалтқыш (1.9-сурет) контроллерден келген сандық код арқылы белгіленген кадам жасайды. Сол арқылы манипулятор қозғалысының дәлдігін анықтауға болады. Неғұрлым қозғалтқыш кадамдарының арасы аз болса, оның дәлдігі жоғары болады.

Біздің манипуляторымыз сервожетек арқылы жұмыс жасайтын болады.



Сурет 1.7 – Гидравликалық жетекті манипулятор



Сурет 1.8 – Қадамды электрқозғалтқыш



Сурет 1.9 – Сервоқозғалтқыш

## 2 Манипулятордың динамикасын және сенімділігін зерттеу

### 2.1 Кинематикалық сипаттама

Бұл бөлімде икемді манипуляторларды модельдеу жүйелі түрде қарастырылған. Қатты буындар, буындардың икемді байланысы динамикалық түрде зерттеледі. Икемді байланыстар кинематикасы әртүрлі формулалар қолдану арқылы келтірілді. Буындардың қозғалысы иілу немесе айналу арқылы жүзеге асады. Буынның иілуі Эйлер-Бернулли формулаларымен анықталады. Динамиканың енгізілуі буын икемділігі арқасында жүйені үздіксіз етеді және динамикалық параметрлерге баға беру үшін шексіз еркіндік дәрежесін талап етеді. Модельдеу және қозғалыс тұрғысынан динамикалық модельде шексіз еркіндік дәрежесін қосу мүмкін емес. Сондықтан, соңғы элементтер әдісі соңғы өлшемді моделін алу үшін қолданылады.

Бұл бөлімде манипулятор қозғалысының жылдамдығы, үдеуі және орналасуының кинематикалық теңдеуі қарастырылады. Кинематикалық теңдеуді алу үшін стационарлық және ауыспалы координаталар жүйесін қолданамыз. Нүктенің жылжуы Чэзл теоремасы арқылы сипатталады. Ол жылжуды осьтің айналуының қосындылары ретінде анықтайды.

Чэзл теоремасы бойынша нүктенің жылжуының теңдеуі:

$$r = R + A\bar{u}, \quad (2.1)$$

мұндағы,  $r = [r_x r_y r_z]^T$  – кеңістіктегі нүктенің орналасу векторы;

$R = [R_x R_y R_z]^T$  – кеңістіктегі дененің орналасу векторы;

$A$  – координатаны түрлендіру матрицасы;

$\bar{u} = [\bar{u}_x \bar{u}_y \bar{u}_z]$  – дененің координатасына қатысты анықталған локалды вектор координатасы.

$A$  түрлендіру матрицасы келесідей анықталады:

$$A = \begin{bmatrix} 2(\beta_0^2 + \beta_1^2) - 1 & 2(\beta_1\beta_2 - \beta_0\beta_2) & 2(\beta_1\beta_3 + \beta_0\beta_2) \\ 2(\beta_1\beta_2 + \beta_0\beta_2) & 2(\beta_0^2 + \beta_2^2) - 1 & 2(\beta_2\beta_3 - \beta_0\beta_1) \\ 2(\beta_1\beta_3 - \beta_0\beta_2) & 2(\beta_2\beta_3 + \beta_0\beta_1) & 2(\beta_0^2 + \beta_3^2) - 1 \end{bmatrix}, \quad (2.2)$$

мұндағы,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  – Эйлер параметрлері.



Эйлер параметрі келесідей анықталады:

$$\beta_0 = \cos\left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (2.3)$$

$$\beta_1 = v_1 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (2.4)$$

$$\beta_2 = v_2 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (2.5)$$

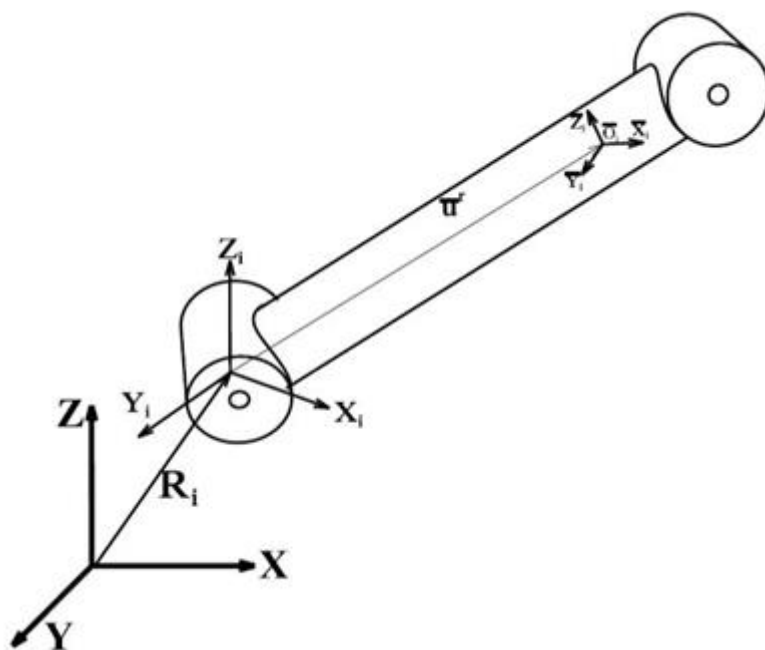
$$\beta_3 = v_3 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (2.6)$$

мұндағы,  $v_1, v_2, v_3$  – жылдамдықтың ось бойынша бірлік вектор компоненттері болып табылады.

Чэзл теоремасын пайдалана отырып қатты және икемді буын байланыстарының жылдамдығы, үдеуі және орналасуының кинематикалық теңдеуі анықталды.

## 2.2 Қатты байланыс кинематикасы

2.1-суретте  $\bar{O}_i$  векторының қатты буын байланысы көрсетілген. Қатты буын қозғалысының кинематикалық теңдеуін анықтау үшін сол дененің координаталар жүйесі қолданылады.



Сурет 2.1 – Қатты буынның координаталар жүйесіне қатысты көрінісі

XYZ жалпы координаталар жүйесі қатысты анықталған  $X_i Y_i Z_i$  координаталар жүйесінде қатты буын конфигурациясын дененің орналасуы және орнықтылығы арқылы табуға болады.

Қатты буын орналасу векторы келесідей анықталады:

$$r_i = R_i + A_i \bar{u}_i, \quad (2.7)$$

мұндағы,  $R_i = [R_x^i R_y^i R_z^i]^T$  –  $X_i Y_i Z_i$  бойынша дененің орналасу векторы;  
 $A_i$  – 2.2-теңдеуді пайдалану арқылы табылған түрлендіру матрицасы;

$\bar{u}_i = [\bar{u}_x^i \bar{u}_y^i \bar{u}_z^i]^T$  – локалды орналасу векторы. Бұл шама қатты буын байланысы үшін өзгермейді.

2.7-теңдеуді дифференциалдап жылдамдық векторын аламыз. Ол төмендегідей түрленеді:

$$\dot{r}_i = \dot{R}_i + A_i (\bar{\omega}_i \times \bar{u}_i), \quad (2.8)$$

мұндағы,  $\bar{\omega}_i$  –  $X_i Y_i Z_i$  бойынша бұрыштық жылдамдық векторы.

Бұрыштық жылдамдықтың формуласы келесідей өрнектеледі:

$$\bar{\omega}_i = \bar{G}_i \dot{\beta}_i, \quad (2.9)$$

мұндағы,

$$\bar{G}_i = 2 \times \begin{bmatrix} -\beta_1 & \beta_0 & \beta_3 & -\beta_2 \\ -\beta_2 & -\beta_3 & \beta_0 & \beta_1 \\ -\beta_3 & \beta_2 & -\beta_1 & \beta_0 \end{bmatrix}. \quad (2.10)$$

2.8-теңдеуді мынадай бөлікте жазуға болады:

$$\dot{r}_i = [I - A_i \tilde{u}_i \bar{G}_i] \begin{bmatrix} \dot{R}_i \\ \dot{\beta}_i \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

2.11-теңдеуді келесідей жазып алуға болады

$$\dot{r}_i = L_i \dot{q}_i, \quad (2.12)$$

мұндағы,

$$L_i = [I - A_i \tilde{u}_i \bar{G}_i], \quad (2.13)$$

$$\dot{q}_i = [\dot{R}_i \quad \dot{\beta}_i]^T. \quad (2.14)$$

2.12-теңдеуді дифференциалдап дененің үдеу векторын анықтай аламыз. Ол келесідей жазылады:

$$\ddot{r}_i = L_i \ddot{q}_i + A_i (\ddot{\omega}_i)^2 \bar{u}_i, \quad (2.15)$$

мұндағы,

$$\ddot{q}_i = [\ddot{R}_i \quad \ddot{\beta}_i]^T, \quad (2.16)$$

мұндағы,  $\ddot{q}_i$  – қатты буынның абсолютті координаталар жүйесіндегі үдеуінің жалпыланған түрі.

### 2.3 Икемді буын байланысы кинематикасы

2.2-суретте  $\bar{O}_i$  векторының икемді буын байланысы көрсетілген. Икемді буын байланысының қозғалысының кинематикалық теңдеуі өзгермелі есептеу теңдеулерін қолдану арқылы табылады. Өзгермелі есептеу жүйесі екі координатаны қамтиды, яғни дене координатасы және серпімді координата. Дененің негізіндегі координата дененің орналасуын және орнықтылығын XYZ жалпы координаталар жүйесіне қатысты  $X_i Y_i Z_i$  координатасында суреттейді. Локалды координаталық жүйе дененің  $X_i Y_i Z_i$  жүйесіне қатысты икемді байланыстың локалды жылжуын көрсетеді. Икемді буын деформациясы дененің соңғы координаталарын алу үшін ақырғы элементтер әдіімен аппроксимирленеді. Ақырғы координаталар  $X_i Y_i Z_i$  координаталар жүйесіне қатысты  $X_{ij} Y_{ij} Z_{ij}$  координаталар жүйесін қолдану арқылы анықталады.

Икемді буын байланысының орналасу векторы келесідей өрнектеледі:

$$r_i = R_i + A_i \bar{u}_i, \quad (2.17)$$

мұндағы,  $R_i = [R_x^i R_y^i R_z^i]^T$  –  $X_i Y_i Z_i$  бойынша дененің орналасу векторы;  
 $A_i$  – 2.2-теңдеуін пайдалану арқылы табылған түрлендіру матрицасы;

$$\bar{u}_i = [\bar{u}_x^i \bar{u}_y^i \bar{u}_z^i]^T \text{ – локалды орналасу векторы.}$$

Икемді байланыс үшін  $\bar{u}_i$  локалды орналасу векторы деформацияланбаған орналасу векторының және серпімді деформация векторының қосындысы түрінде табылады.  $\bar{u}_i$  локалды вектор теңдігі келесідей жазылады:

$$\bar{u}_i = \bar{u}_i^r + \bar{u}_i^e, \quad (2.18)$$

мұндағы,  $\bar{u}_i^r$  – деформацияланбаған орналасу векторы;  
 $\bar{u}_i^e$  – серпімді деформация векторы. Ол төмендегідей  
 өрнектеледі:

$$\bar{u}_i^e = S_i q_i^e, \quad (2.19)$$

мұндағы,  $S_i$  – дене формасының матрицасы;  
 $q_i^e$  – серпімді координата векторы.

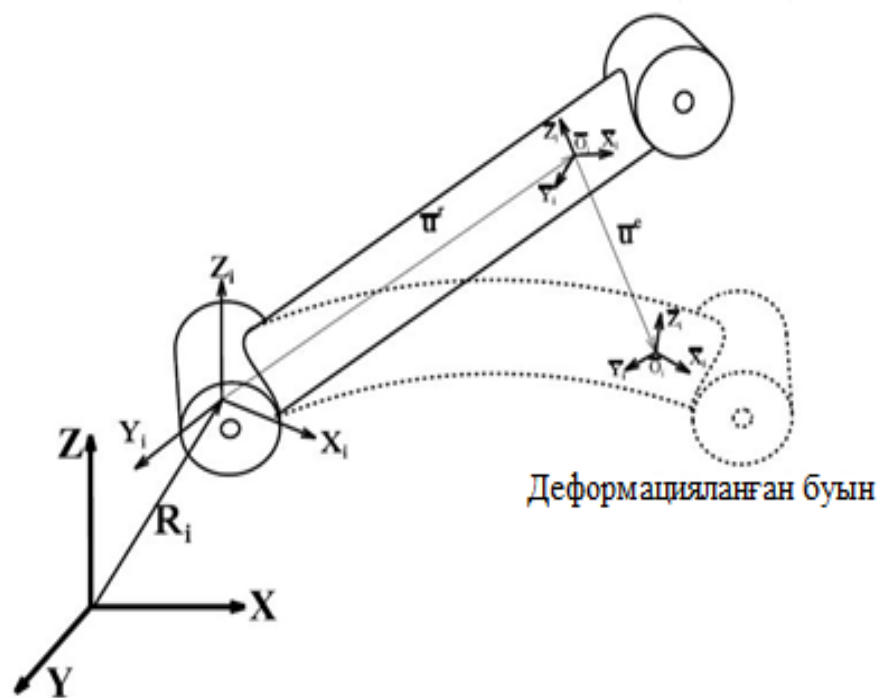
$S_i$  матрица формасы келесідей анықталады:

$$S_i = \begin{bmatrix} 1 - \xi & 0 & 0 \\ 6(\xi - \xi^2)\eta & 1 - 3\xi^2 + 2\xi^3 & 0 \\ 6(\xi - \xi^2)\xi & 0 & 1 - 3\xi^2 + 2\xi^3 \\ 0 & -(1 - \xi)\ell\zeta & -(1 - \xi)\ell\eta \\ (1 - 4\xi + 3\xi^2)\ell\zeta & 0 & (-\xi + 2\xi^2 - \xi^3)\ell \\ (-1 + 4\xi - 3\xi^2)\ell\eta & (\xi - 2\xi^2 + \xi^3)\ell & 0 \\ \xi & 0 & 0 \\ 6(-\xi + \xi^2)\eta & 3\xi^2 + 2\xi^3 & 0 \\ 6(-\xi + \xi^2)\xi & 0 & 3\xi^2 + 2\xi^3 \\ 0 & -\ell\xi\zeta & -\ell\xi \\ (-2\xi + 3\xi^2)\ell\zeta & 0 & (\xi^2 - \xi^3)\ell \\ (2\xi - 3\xi^2)\ell\eta & (-\xi^2 + \xi^3)\ell & 0 \end{bmatrix}^T, \quad (2.20)$$

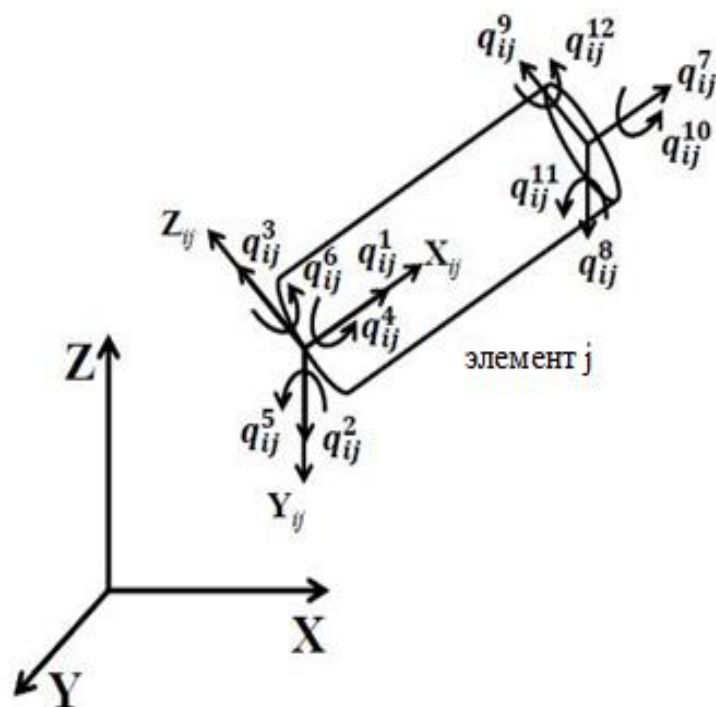
бұл теңдікте,

$$\xi = \frac{u_x}{\ell}; \eta = \frac{u_y}{\ell}; \zeta = \frac{u_z}{\ell}, \quad (2.21)$$

мұндағы,  $\ell$  – элемент ұзындығы;  
 $u_x, u_y, u_z$  – элемент осі арқылы өтетін кеңістік  
 координаталары.



Сурет 2.2 – Манипулятор буынының деформациясы



Сурет 2.3 – Шеткі элементтердегі серпімді координаталар



2.17-теңдеуін дифференциалдау арқылы икемді буын байланысындағы нүктенің жылдамдық векторын табамыз. Ол келесідей жазылады:

$$\dot{r}_i = \dot{R}_i + A_i(\bar{\omega}_i \times \bar{u}_i) + A_i S_i q_i^e, \quad (2.22)$$

мұндағы,  $\bar{\omega}_i$  –  $X_i Y_i Z_i$  бойынша бұрыштық жылдамдық векторы.

Бұрыштық жылдамдықтың формуласы келесідей өрнектеледі:

$$\bar{\omega}_i = \bar{G}_i \dot{\beta}_i, \quad (2.23)$$

мұндағы,

$$\bar{G}_i = 2 \times \begin{bmatrix} -\beta_1 & \beta_0 & \beta_3 & -\beta_2 \\ -\beta_2 & -\beta_3 & \beta_0 & \beta_1 \\ -\beta_3 & \beta_2 & -\beta_1 & \beta_0 \end{bmatrix}. \quad (2.24)$$

2.22-теңдеуді бөліп жазатын болсақ:

$$\dot{r}_i = [I - A_i \tilde{u}_i \bar{G}_i + A_i S_i] \begin{bmatrix} \dot{R}_i \\ \dot{\beta}_i \\ q_i^e \end{bmatrix}. \quad (2.25)$$

2.25-теңдеуді келесідей түрлендіреміз:

$$\dot{r}_i = L_i \dot{q}_i, \quad (2.26)$$

мұндағы,

$$L_i = [I - A_i \tilde{u}_i \bar{G}_i \quad A_i S_i], \quad (2.27)$$

$$\dot{q}_i = [\dot{R}_i \quad \dot{\beta}_i \quad q_i^e]^T, \quad (2.28)$$

мұндағы,  $\dot{q}$  – қатты буынның абсолютті координаталар жүйесіндегі жылдамдықтың жалпыланған түрі.

2.26-теңдеуді дифференциалдап дененің үдеу векторын анықтай аламыз. Ол келесідей жазылады:

$$\ddot{r}_i = L_i \ddot{q}_i + A_i(\tilde{\omega}_i)^2 \bar{u}_i + A_i \tilde{\omega}_i S_i \dot{q}_i^e, \quad (2.29)$$

мұндағы,

$$\ddot{q}_i = [\ddot{R}_i \quad \ddot{\beta}_i \quad \ddot{q}_i^e]^T, \quad (2.30)$$

мұндағы,  $\ddot{q}_i$  – икемді буынның абсолютті координаталар жүйесіндегі үдеуінің жалпыланған түрі.

## 2.4 Қатты байланысты динамикалық модельдеу

Қозғалыстың теңдігі абсолютті координаталар жүйесінде виртуалды жұмыс принципі бойынша анықталады. Бұл бөлімде икемді байланыстың және қатты байланыстың динамикалық теңдеулері келтірілген.

Қатты буынға әсер ететін күштердің қосындысының виртуалды жұмысы келесідей анықталады:

$$\delta W_i = \delta W_i^i + \delta W_i^e, \quad (2.31)$$

мұндағы,  $\delta W_i^i$  және  $\delta W_i^e$  – сәйкесінше инерция күшінің және сыртқы күштердің виртуалды жұмысы.

Қатты буын байланысына әсер ететін инерция күшінің жұмысы келесідей өрнектеледі:

$$\delta W_i^i = \int_{V_i} p_i \ddot{r}_i^T \delta r_i dV_i, \quad (2.32)$$

мұндағы,  $p_i$  және  $V_i$  – сәйкесінше қатты буын байланысының массалық тығыздық және көлемі;

$\ddot{r}_i$  және  $\delta r_i$  – сәйкесінше қатты буын байланысындағы үдеу векторы және виртуалды жылжуы.

Виртуалды жылжу  $\delta r_i$  келесідей жазылады:

$$\delta r_i = L_i \delta q_i, \quad (2.33)$$

мұндағы,

$$L_i = [I - A_i \tilde{u}_i \bar{G}_i], \quad (2.34)$$

$$\delta q_i = [\delta R_i \quad \delta \beta_i]^T, \quad (2.35)$$

мұндағы,  $q_i$  – қатты буын байланысының абсолютті координаталар жүйесіндегі жалпыланған түрі.

2.15-теңдеу арқылы кеңістіктегі нүктенің үдеу векторын табуға болады. Ол келесідей өрнектеледі:

$$\ddot{r}_i = L_i \ddot{q}_i + Q_i, \quad (2.36)$$

мұндағы,  $\ddot{q}_i$  – жалпыланған үдеу;  
 $Q_i$  – квадраттық бөлігі.

Оны келесідей ашып жазуға болады:

$$Q_i = A_i(\tilde{\omega}_i)^2 \bar{u}_i. \quad (2.37)$$

2.32-теңдеуіне үдеу векторын  $\ddot{r}_i$  және виртуалды жылжу  $\delta r_i$  теңдеуін қойып, келесі өрнекті аламыз:

$$\delta W_i^i = \int_{V_i} p_i \ddot{q}_i^T L_i^T L_i \delta q_i dV_i + \int_{V_i} p_i Q_i^T L_i \delta q_i dV_i, \quad (2.38)$$

$$\delta W_i^i = [\ddot{q}_i^T M_i - Q_i^{vT}] \delta q_i, \quad (2.39)$$

мұндағы,  $M_i$  және  $Q_i^v$  – сәйкесінше инерция күші матрицасы және жылдамдықтың квадраттық бөлігі:

$$M_i = \int_{V_i} p_i \begin{bmatrix} I & -A_i \tilde{u}_i \bar{G}_i \\ -A_i \tilde{u}_i \bar{G}_i & \bar{C}_i^T \tilde{u}_i^T \tilde{u}_i \bar{G}_i \end{bmatrix} dV_i, \quad (2.40)$$

және,

$$Q_i^v = - \int_{V_i} p_i \left[ -\bar{C}_i^T \tilde{u}_i^T \tilde{u}_i \bar{G}_i \right] Q_i dV_i. \quad (2.41)$$

Қатты буынға әсер ететін сыртқы күштер әсерінің виртуалды жұмысы теңдігі былай өрнектеледі:

$$\delta W_i^e = -Q_i^{eT} \delta q^i. \quad (2.42)$$

2.31-теңдеуге  $\delta W_i^e$ ,  $\delta W_i^i$  шамаларын қойып, келесі теңдеуді аламыз:

$$\delta W_i = [\ddot{q}_i^T M_i - Q_i^{vT} - Q_i^{eT}] \delta q_{ij}. \quad (2.43)$$

2.43-теңдеудегі қозғалыс теңдеуінен келесі формуланы алуға болады:

$$M_i \ddot{q}_i = Q_i^e + Q_i^v, \quad (2.44)$$

мұндағы,  $Q_i^e$  және  $Q_i^v$  – сәйкесінше бағытталған сыртқы күштер және квадраттық жылдамдық бөлігі.

2.44-теңдеу – бұл абсолютті координаталар жүйесіндегі қатты буын байланысының қозғалыс теңдеуі.

## 2.5 Икемді буын байланысын модельдеу

Икемді буын байланысына әсер ететін күштердің виртуалды жұмысы келесідей анықталады:

$$\delta W_i = \delta W_i^i + \delta W_i^s + \delta W_i^e, \quad (2.45)$$

мұндағы,  $\delta W_i^i$ ,  $\delta W_i^s$  және  $\delta W_i^e$  – инерциялық күштердің, серпімді күштердің және икемді байланысқа әрекет ететін сыртқы күштердің виртуалды жұмысын білдіреді.

Икемді буын байланысының соңғы өлшемді динамикалық үлгісін алу үшін соңғы элемент әдісімен дискреттеледі. Икемді байланыстың виртуалды жұмысын оның элементтерінің виртуалды жұмысының қосындысы арқылы алуға болады.

Элементке әсер ететін күштердің қосындысының виртуалды жұмыс төмендегідей өрнектеледі:

$$\delta W_{ij} = \delta W_{ij}^i + \delta W_{ij}^s + \delta W_{ij}^e, \quad (2.46)$$

мұндағы,  $\delta W_{ij}^i$ ,  $\delta W_{ij}^s$ ,  $\delta W_{ij}^e$  – элементке әсер ететін серпімді күштің, инерция күшінің және сыртқы күштердің виртуалды жұмысы.

Элементке әсер ететін инерция күшінің виртуалды жұмысы келесідей жазылады:

$$\delta W_{ij}^i = \int_{V_{ij}} p_{ij} \ddot{r}_{ij}^T \delta r_{ij} dV_{ij}, \quad (2.47)$$

мұндағы,  $p_{ij}$  және  $V_{ij}$  – сәйкесінше элементтің массалық тығыздығы және оның көлемі;

$\ddot{r}_{ij}$  және  $\delta r_{ij}$  – элемент денесіндегі үдеу векторы және виртуалды жылжуы.

Элементтің виртуалды жылжуы  $\delta r_{ij}$  келесідей өрнектеледі:

$$\delta r_{ij} = L_{ij} \delta q_{ij}, \quad (2.48)$$

мұндағы,

$$L_{ij} = [I - A_i \tilde{u}_{ij} \bar{G}_i \quad A_i S_{ij}], \quad (2.49)$$

$$\delta q_{ij} = [\delta R_{ij} \quad \delta \beta_{ij} \quad \delta q_{ij}^e]^T, \quad (2.50)$$

мұндағы,  $q_{ij}$  – элементтің координатасының жалпыланған формуласы.

2.29-теңдеуі арқылы нүктенің үдеу векторын табуға болады. Ол келесідей анықталады:

$$\ddot{r}_{ij} = L_{ij}\ddot{q}_{ij} + Q_{ij}, \quad (2.51)$$

мұндағы,

$$\ddot{q}_{ij} = [\ddot{R}_{ij} \quad \ddot{\beta}_{ij} \quad \ddot{q}_{ij}^e]^T, \quad (2.52)$$

және

$$Q_{ij} = A_i(\tilde{\omega}_i)^2 \bar{u}_{ij} + 2A_i \tilde{\omega}_i S_{ij} \dot{q}_{ij}^e, \quad (2.53)$$

мұндағы,  $\ddot{q}_{ij}$  – жалпыланған түрдегі үдеу;

$Q_{ij}$  – квадраттық теңдеу бөлігі.

2.47-теңдеуге үдеу векторын  $\ddot{r}_{ij}$  және виртуалды жылжуды  $\delta r_{ij}$  кою арқылы келесі өрнекті аламыз:

$$\delta W_{ij}^i = \int_{V_{ij}} p_{ij} \ddot{q}_{ij}^T L_{ij}^T \delta q_{ij} dV_{ij} + \int_{V_{ij}} p_{ij} Q_{ij}^T L_{ij} \delta q_{ij} dV_{ij}, \quad (2.54)$$

$$\delta W_{ij}^i = [\ddot{q}_{ij}^T M_{ij} - Q_{ij}^{vT}] \delta q_{ij}, \quad (2.55)$$

мұндағы,  $M_{ij}$  және  $Q_{ij}^v$  – сәйкесінше инерция матрицасы және жылдамдықтың квадраттық бөлігі.

$$M_{ij} = \int_{V_{ij}} p_{ij} \begin{bmatrix} I & -A_i \tilde{u}_{ij} \bar{G}_i & A_i S_{ij} \\ -A_i \tilde{u}_{ij} \bar{G}_i & \bar{G}_i^T \tilde{u}_{ij}^T \tilde{u}_{ij} \bar{G}_i & \bar{G}_i^T \tilde{u}_{ij}^T S_{ij} \\ A_i S_{ij} & \bar{G}_i^T \tilde{u}_{ij}^T & S_{ij}^T S_{ij} \end{bmatrix} dV_{ij}, \quad (2.56)$$

және

$$Q_{ij}^v = - \int_{V_{ij}} p_{ij} \begin{bmatrix} I \\ -\bar{G}_i^T \tilde{u}_{ij}^T A_i^T \\ S_{ij}^T A_i^T \end{bmatrix} Q_{ij} dV_{ij}. \quad (2.57)$$

Серпімді күштердің әсерінде деформацияланған дененің виртуалды жұмысы келесідей анықталады:

$$\delta W_{ij}^s = - \int_{V_{ij}} \sigma_{ij}^T \delta \varepsilon_{ij} dV_{ij}, \quad (2.58)$$



мұндағы,  $\sigma_{ij}$  және  $\varepsilon_{ij}$  – сәйкесінше элементке түскен күш бағыты векторы және деформациясы.

$$\varepsilon_{ij} = D_{ij}\bar{u}_{ij}^e = D_{ij}S_{ij}q_{ij}^e, \quad (2.59)$$

$$\sigma_{ij} = E_{ij}\varepsilon_{ij} = E_{ij}D_{ij}S_{ij}q_{ij}^e. \quad (2.60)$$

2.58-теңдеуге 2.59 және 2.60-теңдеулерін қойып келесі өрнекті аламыз:

$$\delta W_{ij}^s = -q_{ij}^{eT} \left[ \int_{V_{ij}} (D_{ij}S_{ij})^T E_{ij} D_{ij} S_{ij} dV_{ij} \right] \delta q_{ij}^e = -q_{ij}^{eT} K_{ij}^e \delta q_{ij}^e, \quad (2.61)$$

мұндағы,  $K_{ij}^e$  – элементтің қаттылығы матрицасы.

Ол келесідей анықталады:

$$K_{ij}^e = \int_{V_{ij}} (D_{ij}S_{ij})^T E_{ij} D_{ij} S_{ij} dV_{ij}, \quad (2.62)$$

мұндағы,  $D_{ij}$  – дифференциалдық оператор;

$S_{ij}$  – элемент формасы фунициясының матрицасы;

$E_{ij}$  – серпімділік коэффициенті.

Элементке  $ij$  әсер ететін сыртқы күштердің виртуалды жұмысы келесідей анықталады:

$$\delta W_{ij}^e = -Q_{ij}^{eT} \delta q^i. \quad (2.63)$$

2.46-теңдеуге  $\delta W_{ij}^i$ ,  $\delta W_{ij}^s$  және  $\delta W_{ij}^e$  қою арқылы келесі өрнекті алуға болады:

$$\delta W_{ij} = \left[ \ddot{q}_{ij}^T M_{ij} - Q_{ij}^{vT} - q_{ij}^{eT} K_{ij}^e - Q_{ij}^{eT} \right] \delta q_{ij}. \quad (2.64)$$

2.64-теңдеуден қозғалыстың мына өрнегін алса болады:

$$M_{ij}\ddot{q}_{ij} = Q_{ij}^e + Q_{ij}^v + Q_{ij}^s, \quad (2.65)$$

мұндағы,  $Q_{ij}^e$  – бағытталған сыртқы күштер;

$Q_{ij}^v$  және  $Q_{ij}^s$  – сәйкесінше элементке әсер ететін квадраттық жылдамдық бөлігі және серпімділік күші.

Икемді буынға әсер ететін күштердің қосындысының виртуалды жұмысы келесідей болады:

$$\delta W_i = \sum_{j=1}^{n_e} \delta W_{ij}^i + \sum_{j=1}^{n_e} \delta W_{ij}^s + \sum_{j=1}^{n_e} \delta W_{ij}^e, \quad (2.66)$$

мұндағы,  $n_e$  – шеткі элементтер саны.

2.65-теңдеуді икемді буынның шеткі элементтерінің барлығына бір-біріне байланыстылығы арқылы динамикалық үлгісін алу үшін қолдануға болады.

2.66-теңдеуді қолдану арқылы икемді буынның қозғалыс теңдігін алуға болады:

$$M_i \ddot{q}_i = Q_i^e + Q_i^v + Q_i^s, \quad (2.67)$$

мұндағы,  $Q_i^e$  – икемді буынға бағытталған сыртқы күштер;  
 $Q_i^v$  және  $Q_i^s$  – сәйкесінше икемді буынға әсер ететін квадраттық жылдамдық бөлігі және серпімділік күші.

$n$ -ші ретті манипулятор буынының абсолютті координаталар жүйесінде қозғалыс теңдеуі келесідей ықшамдалады:

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \vdots \\ \ddot{q}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1^e \\ Q_2^e \\ \vdots \\ Q_n^e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_1^v \\ Q_2^v \\ \vdots \\ Q_n^v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_1^s \\ Q_2^s \\ \vdots \\ Q_n^s \end{bmatrix}. \quad (2.68)$$

2.68-теңдеу қысқартылған түрде келесідей жазылады:

$$\bar{M} \ddot{\bar{q}} = \bar{Q}^e + \bar{Q}^v + \bar{Q}^s, \quad (2.69)$$

мұндағы,

$$\bar{M} = \begin{bmatrix} M_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_n \end{bmatrix}, \quad (2.70)$$

$$\ddot{\bar{q}} = [\ddot{q}_1 \quad \ddot{q}_2 \quad \dots \quad \ddot{q}_n]^T, \quad (2.71)$$

$$\bar{Q}^e = [Q_1^e \quad Q_2^e \quad \dots \quad Q_n^e]^T, \quad (2.72)$$

$$\bar{Q}^v = [Q_1^v \quad Q_2^v \quad \dots \quad Q_n^v]^T, \quad (2.73)$$

$$\bar{Q}^s = [Q_1^s \quad Q_2^s \quad \dots \quad Q_n^s]^T, \quad (2.74)$$

2.68-теңдеу абсолютті координаталар жүйесіндегі динамикалық үлгі болып табылады. Икемді буын байланысының арасындағы қатынас арқылы

салыстырамалы қозғалыстың кинематикалық теңдеуі анықталады. Ол кинематикалық келтірулер 2.7-бөлімде қарастырылған.

## 2.6 Икемді буынның байланысқан орнын үлгілеу

Қозғалтқышы және жүйелі трансмиссиясы бар бұрылу қондырғысы 2.4-суретте көрсетілген. Қозғалтқыш ретінде электрқозғалтқыш, ал бұрылу серіппесі трансмиссия жүйесі тудыратын икемділікке негізделген.  $\theta_j$  және  $\theta_i$  – сәйкесінше қозғалтқыштың және буынның бұрылуы.

Қозғалтқышы бар буынға әсер ететін күштің айналу сәтінің виртуалды жұмысы келесідей жазылады:

$$\delta W_j = T \delta \theta_{ij}, \quad (2.75)$$

мұндағы,  $T$  – қосылған буынға әсер ететін жалпы айналу сәті.

2.75-теңдеу ашық түрде келесідей болады:

$$\delta W_j = (J_j \ddot{\theta}_j + C_j (\dot{\theta}_j - \dot{\theta}_i) + K_j (\theta_j - \theta_i) - T_j) \delta \theta_{ij}, \quad (2.76)$$

мұндағы,  $J_j$  – қозғалтқыш инерциясы.

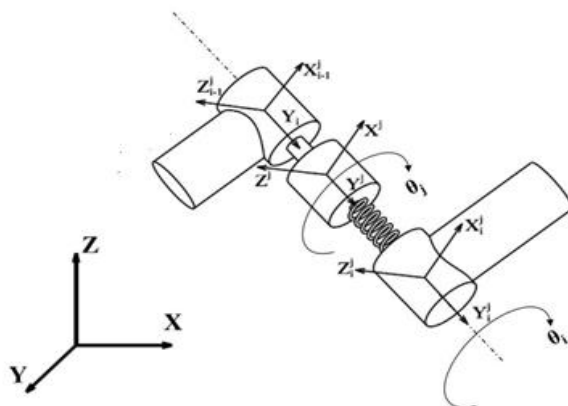
$K_j$  және  $C_j$  – қаттылық коэффициенті және трансмиссия жүйесін демпферлеу;

$T_j$  – қозғалтқыш тудыратын айналу моменті;

$\delta \theta_{ij}$  – буын біріккен нүктедегі виртуалды өзгеру.

Барлық бөлшектердің құрастырылған күйіндегі қозғалу теңдеуі келесідей анықталады:

$$J_j \ddot{\theta}_j + C_j (\dot{\theta}_j - \dot{\theta}_i) + K_j (\theta_j - \theta_i) = T_j. \quad (2.77)$$



Сурет 2.4 – Икемді буынның жинағы

## 2.7 Рекурсивті кинематикалық формуляциялау

2.5-суретте көрсетілген  $i$  және  $i - 1$  бұрылу осі бар екі икемді буын байланысын қарастырайық. Бұл байланыста айналу ось арқылы болады және бұлардың координаталары бірігіп бір координатамен қарастырылады.

Келесі айналу осі буынының кинематикалық байланысы жалпыланған координатамен буын координатасының байланысын қамтиды:

$$R_i + A_i \bar{u}_i^j - R_{i-1} - A_{i-1} \bar{u}_{i-1}^j = 0, \quad (2.78)$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \omega_{i-1}^j - \omega_i^j + \omega_{i,i-1}, \quad (2.79)$$

мұндағы,  $\bar{u}_i^j$  және  $\bar{u}_{i-1}^j$  – тиісінше  $i$  және  $i - 1$  бойынша анықталған буынның орналасуының векторы;

$\omega_i^j$  және  $\omega_{i-1}^j$  – сәйкесінше  $i$  және  $i - 1$  бойынша буындарына түскен серпімді деформацияның әсерінен болған бұрыштық жылдамдық векторы.

Бұл векторлық шамалар келесідей анықталады:

$$\omega_{i-1}^j = A_{i-1} S_{i-1}^{jr} \dot{q}_{i-1}^e, \quad (2.80)$$

$$\omega_i^j = A_i S_i^{jr} \dot{q}_i^e, \quad (2.81)$$

мұндағы,  $S_i^{jr}$  және  $S_{i-1}^{jr}$  – сәйкесінше  $i$  және  $i - 1$  буындарындағы серпімді деформация әсерінен болған бірлесе айналу формасының тұрақты функция матрицасы.

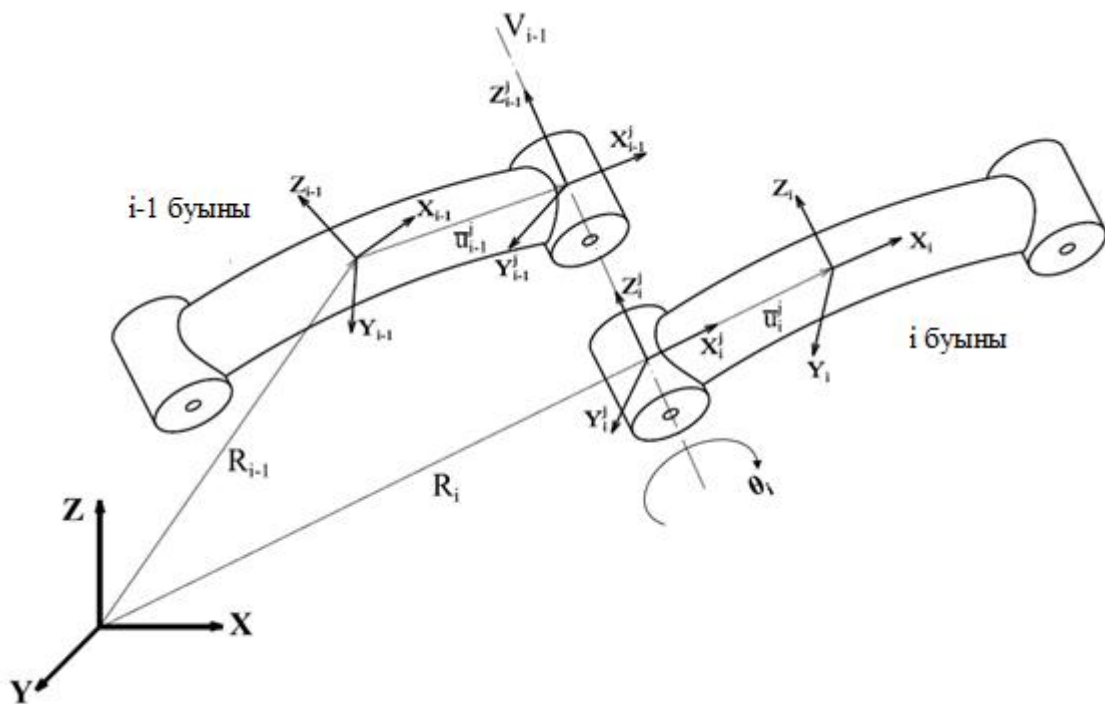
$i$  буынының  $i - 1$  буынына қатысты бұрыштық жылдамдық векторы  $\omega_{i,i-1}$  келесідей алынады:

$$\omega_{i,i-1} = v_{i-1} \dot{\theta}_i, \quad (2.82)$$

мұндағы,  $v_{i-1}$  – XYZ глобалды координаталар жүйесінің  $i - 1$  буын байланысына қатысты анықталған айналу осі.

$$v_{i-1} = A_{i-1} \bar{v}_{i-1}, \quad (2.83)$$

мұндағы,  $\bar{v}_{i-1} = X_{i-1} Y_{i-1} Z_{i-1}$  координаталар жүйесіндегі дененің  $i - 1$  буын байланысымен салыстырмалы түрде анықталған тұрақты вектор.



Сурет 2.5 – Салыстырмалы дененің координаталарын ұсыну

2.78-теңдеуді уақыт бойынша екі рет және 2.79-теңдеуді уақыт бойынша бір рет дифференциалдау арқылы келесі форманы аламыз:

$$\ddot{R}_i - A_i \ddot{u}_i^j \bar{G}_i \ddot{\beta}_i + A_i S_i^{jt} \ddot{q}_i^e = \ddot{R}_{i-1} - A_{i-1} \ddot{u}_{i-1}^j \bar{G}_{i-1} \ddot{\beta}_{i-1} + A_{i-1} S_{i-1}^{jt} \ddot{q}_{i-1}^e + \gamma_R, \quad (2.84)$$

$$\dot{\omega}_i = \dot{\omega}_{i-1} + A_{i-1} S_{i-1}^{jr} \ddot{q}_{i-1}^e - A_i S_i^{jr} \ddot{q}_i^e + A_{i-1} \bar{v}_{i-1} \dot{\theta}_i + \gamma_\beta, \quad (2.85)$$

мұндағы,  $S_i^{jt}$  және  $S_{i-1}^{jt}$  – тиісінше  $i$  және  $i-1$  буын байланысында анықталған бірлескен қозғалыс функциясының формасы.

$\gamma_R$  және  $\gamma_\beta$  келесідей түрде болады:

$$\gamma_R = -A_i (\ddot{\omega}_i)^2 \bar{u}_i^j + A_{i-1} (\ddot{\omega}_{i-1})^2 \bar{u}_{i-1}^j - 2A_i \ddot{\omega}_i S_i^{jt} \dot{q}_i^e + 2A_{i-1} \ddot{\omega}_{i-1} S_{i-1}^{jt} \dot{q}_{i-1}^e, \quad (2.86)$$

$$\gamma_\beta = A_{i-1} \ddot{\omega}_{i-1} \bar{v}_{i-1} \dot{\theta}_i + A_{i-1} \ddot{\omega}_{i-1} S_{i-1}^{jr} \dot{q}_{i-1}^e - A_i \ddot{\omega}_i S_i^{jr} \dot{q}_i^e. \quad (2.87)$$

2.84-теңдеуді және 2.85-теңдеуді ықшам түрде келесідей жазуға болады

$$D_i \ddot{q}_i = D_{i-1} \ddot{q}_{i-1} + H_i \ddot{P}_i + \gamma_i, \quad (2.88)$$



мұндағы,

$$D_i = \begin{bmatrix} I & A_i \tilde{u}_i^j \bar{G}_i & A_i S_i^{jt} \\ 0 & A_i \bar{G}_i & A_i S_i^{jr} \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}, \quad (2.89)$$

$$D_{i-1} = \begin{bmatrix} I & -A_{i-1} \tilde{u}_{i-1}^j \bar{G}_{i-1} & A_{i-1} S_{i-1}^{jt} \\ 0 & A_{i-1} \bar{G}_{i-1} & A_{i-1} S_{i-1}^{jr} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (2.90)$$

$$H_i = \begin{bmatrix} A_{i-1} \bar{v}_{i-1} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}, \quad (2.91)$$

$$\ddot{P}_i = [\ddot{\theta}_i \quad \ddot{q}_i^e]^T, \quad (2.92)$$

$$\gamma^i = [\gamma_R \quad \gamma_\beta]^T, \quad (2.93)$$

N санды буын байланысы бар манипулятордың жалпы түрдегі рекурсивті кинематикалық теңдеуі келесідей болады:

$$\begin{bmatrix} D_1 & 0 & \cdots & 0 \\ -D_1 & D_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & -D_{n-1} & D_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \vdots \\ \ddot{q}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & H_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{P}_1 \\ \ddot{P}_2 \\ \vdots \\ \ddot{P}_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_n \end{bmatrix}. \quad (2.94)$$

2.94-теңдеуді ықшамдасақ келесі түрде жазылады:

$$\bar{D} \ddot{\bar{q}} = \bar{H} \ddot{\bar{P}} + \bar{\gamma}, \quad (2.95)$$

мұндағы,

$$\bar{D} = \begin{bmatrix} D_1 & 0 & \cdots & 0 \\ -D_1 & D_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & -D_{n-1} & D_n \end{bmatrix}, \quad (2.96)$$

$$\ddot{\bar{q}} = [\ddot{q}_1 \quad \ddot{q}_2 \quad \cdots \quad \ddot{q}_n]^T, \quad (2.97)$$

$$\begin{bmatrix} H_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & H_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_n \end{bmatrix}, \quad (2.98)$$

$$\ddot{\vec{P}} = [\ddot{P}_1 \quad \ddot{P}_2 \quad \dots \quad \ddot{P}_n]^T, \quad (2.99)$$

$$\ddot{\vec{\gamma}} = [\gamma_1 \quad \gamma_2 \quad \dots \quad \gamma_n]^T. \quad (2.100)$$

n-ші ретті манипулятор буынының абсолютті координаталар жүйесінде жалпы түрдегі үдеу денеге қатысты салыстырмалы немесе тәуелсіз координата арқылы анықтау келесі түрге ие:

$$\ddot{\vec{q}} = \bar{B}\ddot{\vec{P}} + \tilde{\gamma}, \quad (2.101)$$

мұндағы,

$$\bar{B} = \bar{D}^{-1}\bar{H}, \quad (2.102)$$

$$\tilde{\gamma} = \bar{D}^{-1}\bar{\gamma}. \quad (2.103)$$

2.69-теңдеуге жалпы түрдегі үдеуді  $\ddot{\vec{q}}$  қою арқылы және  $\bar{B}^T$  алдын-ала көбейту арқылы салыстырмалы немесе тәуелсіз координата түріндегі n буыны бар манипулятордың динамикалық макетін аламыз. Ол төмендегідей сипаттта болады:

$$\bar{B}^T \bar{M} \bar{B} \ddot{\vec{P}}_i = \bar{B}^T (\bar{Q}^e + \bar{Q}^v + \bar{Q}^s - \bar{M} \tilde{\gamma}). \quad (2.104)$$

Теңдеуді ықшамдап жазатын болсақ:

$$M \ddot{\vec{P}} = Q, \quad (2.105)$$

мұндағы,

$$M = \bar{B}^T \bar{M} \bar{B}, \quad (2.106)$$

$$Q = (\bar{Q}^e + \bar{Q}^v + \bar{Q}^s - \bar{M} \tilde{\gamma}). \quad (2.107)$$

2.105-теңдеу сандық модельдеу және жобалау үшін қолдануға болатын сызықты емес n буын саны бар манипулятордың динамикалық моделін қарастырады.

## 2.8 Мульти-дене кодының құрылымы

Универсалды көпмақсаттағы код манипулятордың сандық модельдеу және оның қозғалу механизмін жобалау мақсатында динамикалық моделін алу үшін MATLAB бағдарламасында әзірленді. Көпбөлікті код құрылымы 2.6 суретте көрсетілген. Орнатылатын код дененің физикалық параметрлерінен, буындарынан және атқарушы механизмдерінен тұрады. Динамикалық моделі сызықсыз болғандықтан конфигурациясына тәуелді болады. Сол себепті,

инерция, демпферлеу, қаттылық матрицасы секілді динамикалық параметрлерін алу үшін манипулятор буынының жылдамдығы және орналасу жағдайы қажет. Көпденелі кодта демпферлеу матрицасы Рэлей демпферлеуін қолдану арқылы орын алады.

Дененің анықтамасы дененің құрылымы деп аталатын MATLAB құрылымы ретінде жарияланады. Дене құрылымына енгізу жолдары кестесінде келтірілген. Дене құрылымы динамикалық модельдеу үшін қажетті барлық қажетті жолдарды қамтиды. Пайдаланушы "дене" құрылымын енгізу жолында қатты байланыстың моделдеуін немесе байланыстың икемді моделдеуін таңдай алады.

Кесте 2.1 – Дене құрылымының кіріс анықтамалары.

Шамалар	Енгізу түрі	Анықтамасы
Аты	Жол	Дене инициализацияланатын кіріс
Дене	Сан	Қатты байланыс немесе икемді байланыс
Элемент	Сан	Соңғы буынның реттік нөмірі
Қаттылығы	Сан	Буын байланысының қаттылығы
Инерция сәті	Сан	Инерция сәті ауданы
Қарама-қарсы инерция	Сан	Инерция сәті
Ұзындығы	Сан	Буын байланысының ұзындығы
Аймақ	Сан	Көденең қимасының ауданы
Альфа $\alpha$	Сан	Рэлей тұрақтысы
Бета $\beta$	Сан	Рэлей тұрақтысы

Буын байланыстарының кіріс анықтамалары 2.2-кестеде келтірілген. Пайдаланушы "буын байланысы" құрылымын енгізу жолында қатты қосылымды немесе икемді қосылымды үлгілеуді таңдай алады. Байланыс құрылымында икемді қосылыс динамикасын модельдеу үшін инерциялық, демпфирлеуші және қатты қабырғалы қасиеттер қарастырылған. Икемді қосылыс жеңіл әрі икемді қосылыс манипуляторын модельдеу үшін қажет.

Қозғалтқыш анықтамасы қозғалтқыш құрылымы деп аталатын MATLAB құрылымы ретінде жарияланған. Қозғалтқыш құрылымы опциондық таңдау. Бұл тікелей динамикалық модельдеу үшін әсіресе пайдалы. Басқару механизмінің құрылымына енгізу жолдары 2.3 кестесінде келтірілген.

## 2.2-кесте – Буын байланысының кіріс анықтамалары

Шамалар	Енгізу түрі	Анықтамасы
Аты	Жол	Буын байланысының инициализациялайтын кіріс
Буын байланысы	Сан	Қаттылығы немесе икемділігі
Инерция	Сан	Мотор инерциясы
Қаттылығы	Сан	Буын байланысының қаттылығы
Діріл	Сан	Буын байланысы дірілі
Ось	Сан	Буынның айналу осі
Дене	Сан	Буын байланысының реттік саны
Дене координатасы	Вектор	Дененің кеңістіктегі орналасу координатасы

## 2.3-кесте – Атқару механизмі құрылымының кіріс мәліметтері

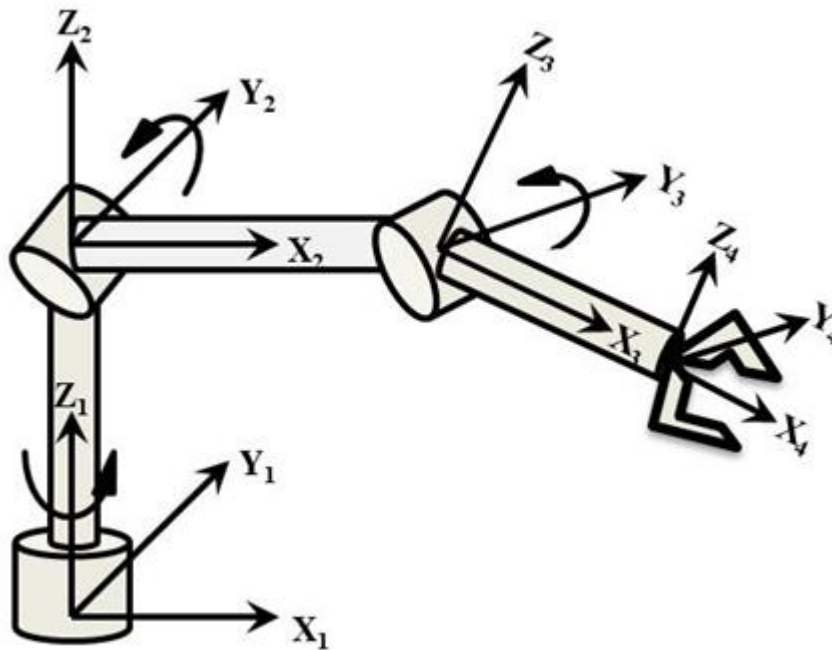
Шамалар	Енгізу түрі	Анықтамасы
Аты	Жол	Қозғалтқыш атын инициализациялайтын кіріс
Жүктеме	Сан	Бастапқы айналу сәті
Ось	Сан	Айналдыратын ось
Қозғалмайтын бөлігі	Сан	Бекітілген буын нөмірі
Қозғалатын бөлігі	Сан	Бекітілген буын нөмірі

## 2.9 Манипулятордың кеңістікте икемділігін зерттеу

2.6-суретте көрсетілген кеңістіктік RRR манипуляторы буындар мен буындардың иілгіштігінің манипулятор динамикасына әсерін көрсетеді. RRR кеңістіктік манипулятордың физикалық параметрлері 2.4-кестесінде көрсетілген. Әрбір буында біркелкі ауданы және материалдың қасиеттері есептеледі.

## 2.4-кесте – RRR икемді манипулятордың физикалық параметрлері

Параметр	Бірінші буын	Екінші буын	Үшінші буын
Буын ұзындығы, м	1	4.0	3.5
Жұмыс жасау ауданы, м <sup>2</sup>	0.028	0.0020	0.0008
Инерция сәті, Нм	$8.33 \times 10^7$	$6.24 \times 10^7$	$5.37 \times 10^7$
Қарама-қарсы инерция сәті, Нм	$1.66 \times 10^6$	$1.24 \times 10^6$	$1.07 \times 10^6$
Серпімділік төзімділігі, МПа	206000	206000	206000
Жылжыту қысымы, МПа	79300	79300	79300
Тығыздығы, кг ÷ м <sup>3</sup>	8253	8253	8253



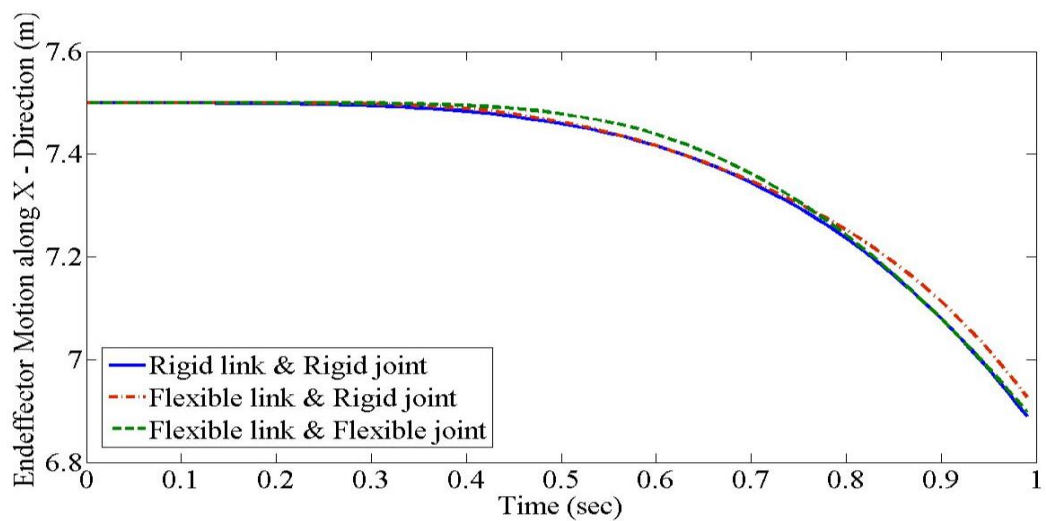
Сурет 2.6 – Икемді буынды RRR манипуляторы

RRR кеңістіктік манипулятордың динамикасына икемділік әсерін зерттеудің келесі жағдайлары қарастырылды:

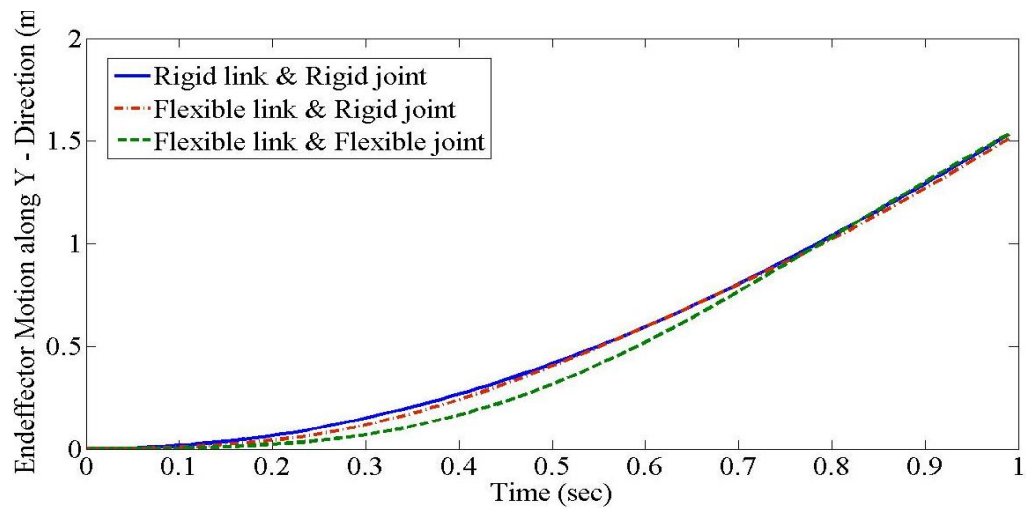
- қатты байланыс және қатты буындар;
- икемді байланыс және қатты буындар;
- икемді байланыс және икемді буындар.

Әрбір икемді байланыс әрбір торапта алты еркіндік дәрежесі және қатты дененің айналу үшін бір еркіндік дәрежесі бар соңғы элементтердің екі шетін, яғни  $i$ , мұнда  $i = 1; 2; 3$  пайдалана отырып дискретизацияланады. Манипулятор шарнирі қатты дененің бір айналуына ие, яғни  $j$ , мұнда  $j = 1; 2; 3$ . Осы кезде КJ айналдыру қаттылығы манипулятордың шарнирлерінде 5000 Нм/рад ретінде анықталады. Буындар мен қосылыстарға демпферлеуші әсерлер сандық моделдеу кезінде алынбайды.

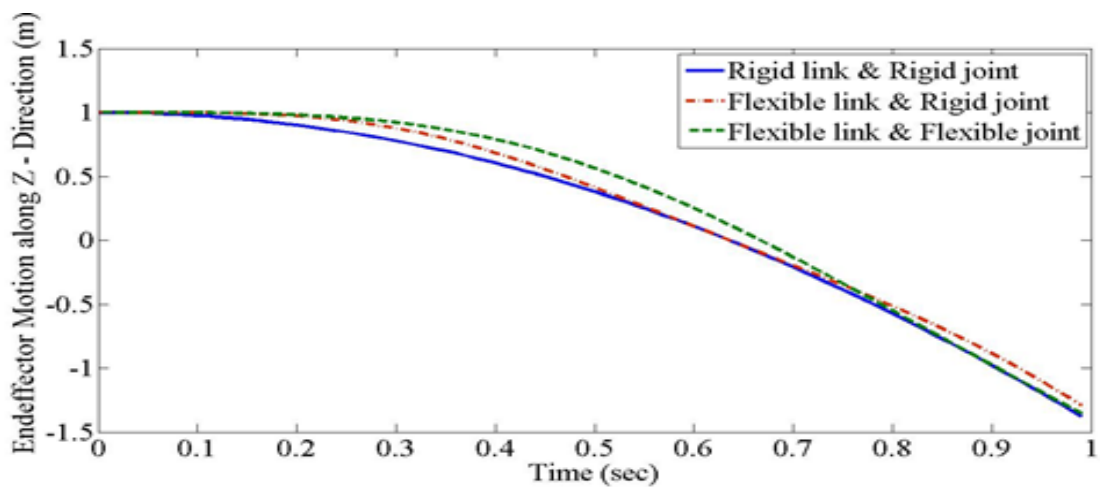
Әрбір жағдай үшін манипулятордың соңғы үлгісін салыстыру үшін манипулятордың әрбір буынына айналу моменті 400 Нм тұрақты күш келтірілген. 2.8 – 2.10-суреттерде глобалды координаталар жүйесінде  $X$ ,  $Y$  және  $Z$  бағыттарындағы қозғалыстары көрсетілген. 2.11 және 2.13-суреттерде глобалды координаталар жүйесінде  $X$ ,  $Y$  және  $Z$  бағыттарындағы серпімді жылжулар көрсетілген.



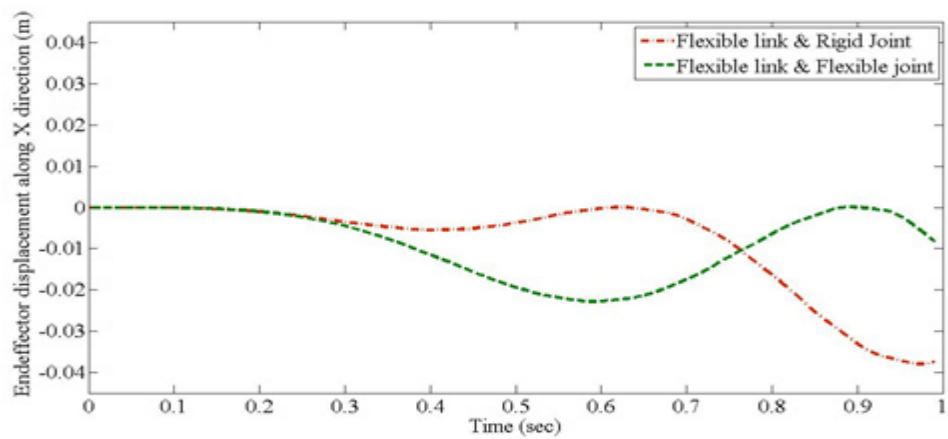
Сурет 2.7 – X-бағыты бойымен  $X_4Y_4Z_4$  шеткі буынның траекториясы



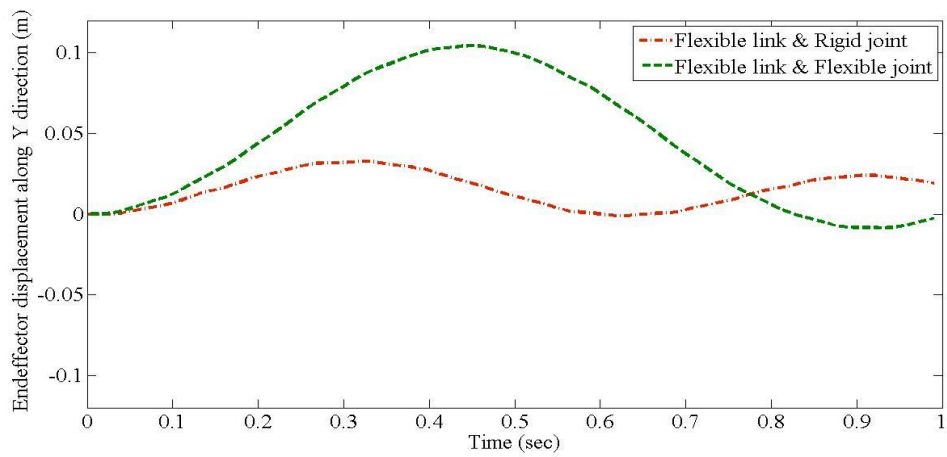
Сурет 2.8 – Y-бағыты бойымен  $X_4Y_4Z_4$  шеткі буынның траекториясы



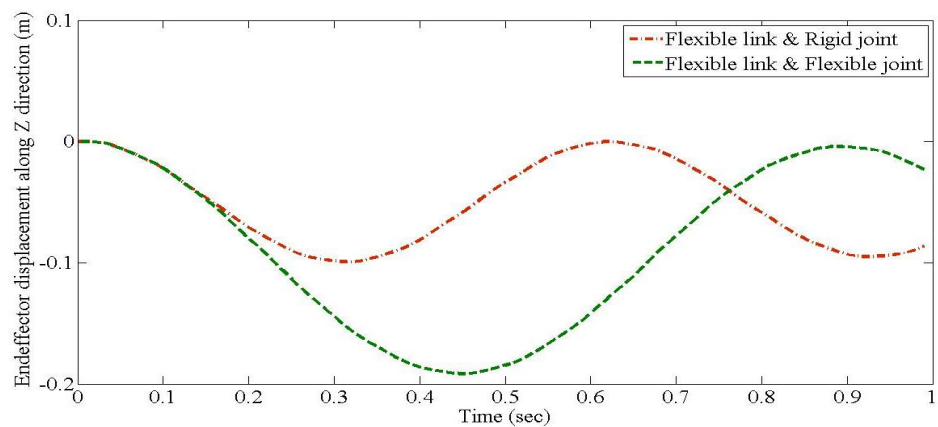
Сурет 2.9 – Z-бағыты бойымен  $X_4Y_4Z_4$  шеткі буынның траекториясы



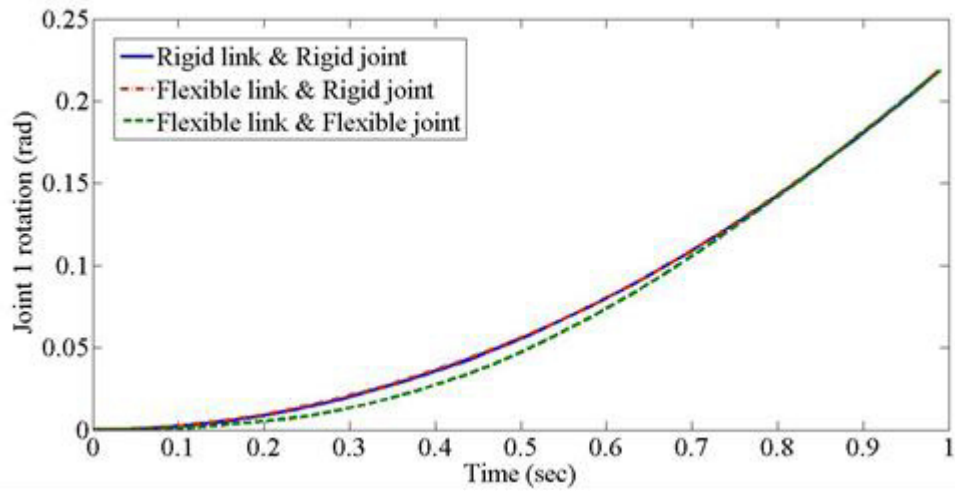
Сурет 2.10 – X-бағыты бойынша  $X_4Y_4Z_4$  шеткі буынының серпімді жылжу қозғалысы



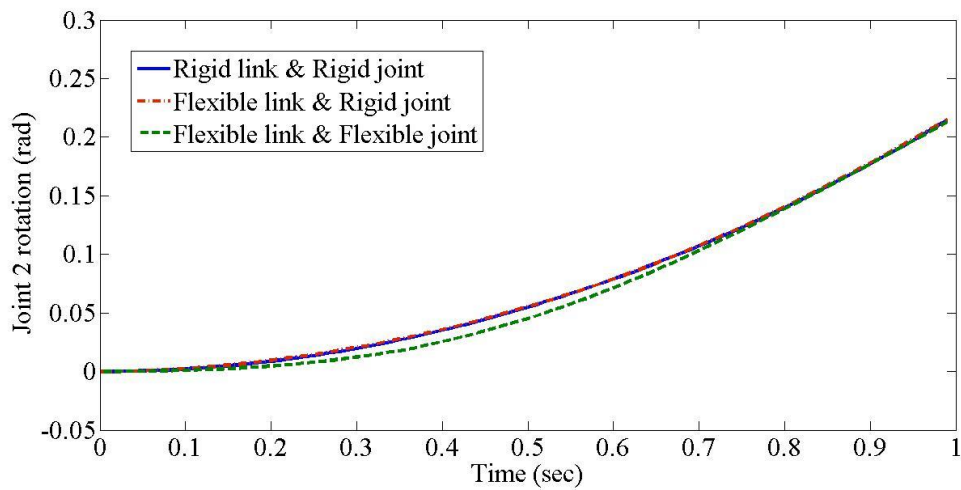
Сурет 2.11 – Y-бағыты бойынша  $X_4Y_4Z_4$  шеткі буынының серпімді жылжу қозғалысы



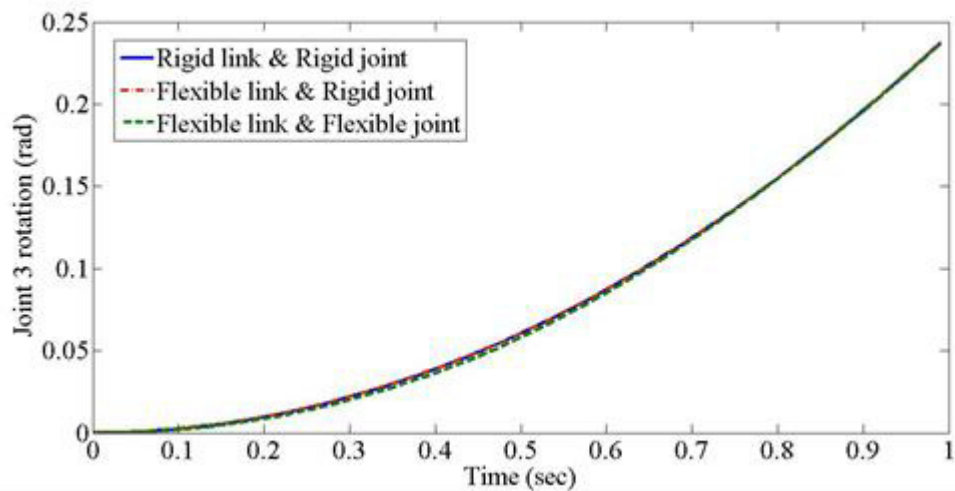
Сурет 2.12 – Z-бағыты бойынша  $X_4Y_4Z_4$  шеткі буынының серпімді жылжу қозғалысы



Сурет 2.13 – Бірінші буын байланысының қозғалыс траекториясы

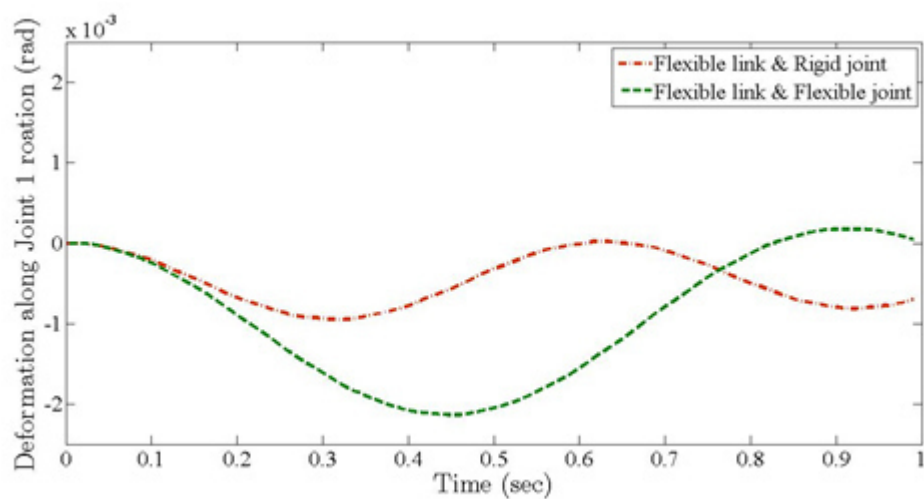


Сурет 2.14 – Екінші буын байланысының қозғалыс траекториясы

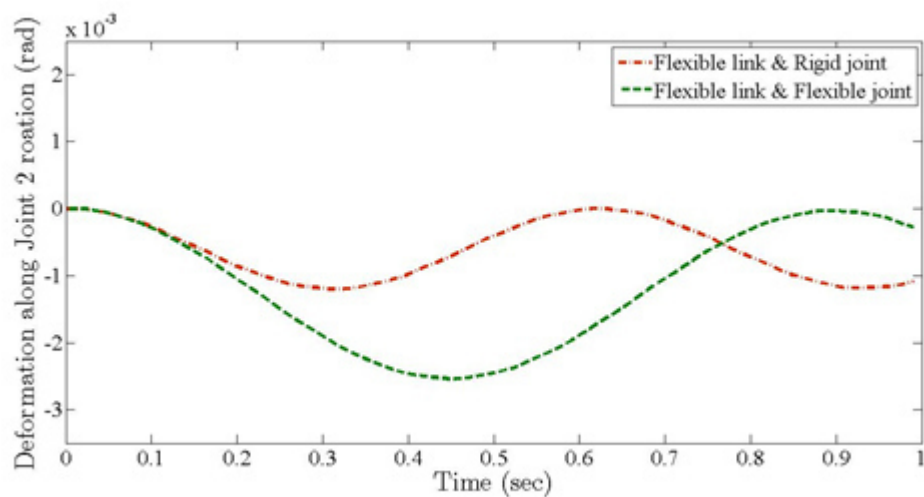


Сурет 2.15 – Үшінші буын байланысының қозғалыс траекториясы

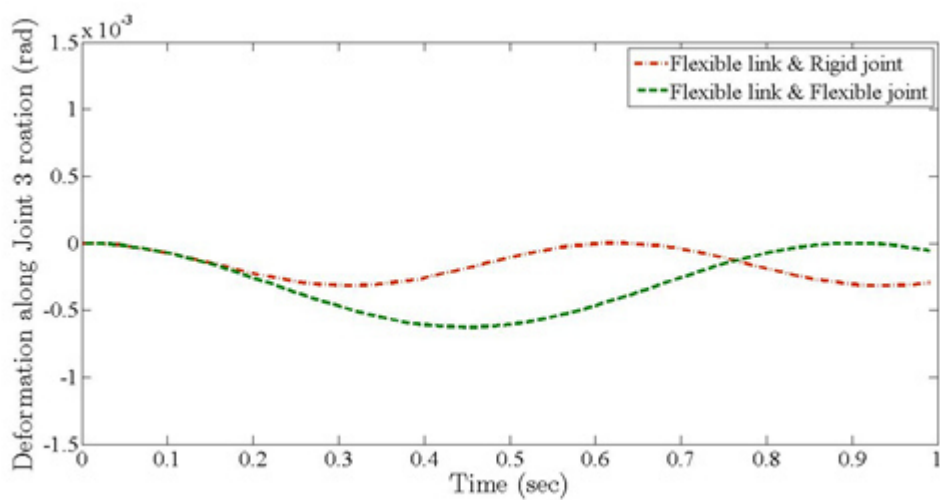




Сурет 2.16 – Бірінші буын байланысының серпімді деформациясы



Сурет 2.17 – Екінші буын байланысының серпімді деформациясы



Сурет 2.18 – Үшінші буын байланысының серпімді деформациясы

### 3 Икемді манипуляторларды басқару

#### 3.1 PD басқару

Манипулятордың қозғалысын басқару жоғары жұмыс жылдамдығы мен көп функцияға жету үшін маңызды. Динамикалық модельді анықтау және басқару - бұл қажетті өнімділікке жету үшін маңызды екі ішкі жиын. Алдыңғы тарауда манипулятордың физикалық параметрлері негізінде динамикалық модельді сәйкестендіру үшін динамикалық тұжырым қарастырылды. Бұл тарауда кеңістіктік икемді манипуляторды траекториялық бақылау үлгісі қарастырылады.

Икемді манипуляторлар жағдайында бақылау траекториясын басқарудың мақсаты берілген тірек траекториясын жүргізу және траектория бойынша шеткі нүктедегі элемент тербелісін азайту болып табылады. Қажетті өнімділікке қол жеткізу үшін модель негізінде контроллерді жобалау әдісі жүйеде икемділік түріне байланысты. Байланыс икемділігі басқару үшін ең қиын деп саналады, өйткені икемділік бөлінген және шексіз еркіндік дәрежесі бар. Бұл тарауда негізінен икемді байланыс манипуляторлары қаралады.

Ең күрделі мәселе конструкциядағы манипулятор икемділігі үшін арналған реттеуіш. Буын байланысын қозғалуға кететін күш икемділігіне байланысты туындайтын шексіз еркіндік дәрежелерін басқару үшін атқарушы тетіктердің соңғы санына негізделген.

Икемді буын байланысы бар манипулятор қозғалыс теңдеуін қарастырайық:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} + Kq = B\tau, \quad (3.1)$$

мұндағы,  $q = [q_r q_f]^T$  – манипулятордың қатты және серпімді координаттары болып табылады;

$q_r$  – манипулятор буынындағы қатты дененің бұрылуын көрсететін вектор;

$q_f$  – манипулятор буынындағы серпімділік координатасын көрсететін вектор;

$M(q)$  – инерция матрицасы;

$C(q, \dot{q})\dot{q}$  – Кориолис векторы;

$D\dot{q}$  – демпферлеу және үйкеліс күші;

$Kq$  – дененің серпімділігіне негізделген ішкі күштер.

Қатты және серпімді координатадағы қозғалыс теңдеуі:

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_r \\ \ddot{q}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rf} \\ C_{fr} & C_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \dot{q}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{rr} & 0 \\ 0 & D_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \dot{q}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & K_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_r \\ q_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_r \\ B_f \end{bmatrix} \tau. (3.2)$$

Манипулятор қозғалтқыштары оның буындарына орналастырылады. Сол себепті кіріс матрица  $B_r = I_n x_n$  және  $B_f = 0_m x_n$  болады. Кіріс айналу моментін және шығыындағы траекториясы көрсететін 3.2 теңдеудің модельдік инверсиясы серпімді және қатты координатаға тәуелді өзгереді.

Келесі модельдік контроллерлер траекторияны қадағалауға арналған:

- PD басқару;
- тұрақты инверсиялық реттеуші;
- сызықты емес басқару элементі;
- адаптивті басқару.

PD басқару түрінің архитектурасы 3.1-суретте көрсетілген. Ол тікелей қоректену компенсаторынан тұрады және PD кері байланысы бар.

3.2-теңдеуін пайдалана отырып, тікелец компенсатор келесідей болады:

$$\tau = M_{rr}\ddot{q}_r + M_{rf}\ddot{q}_f + C_{rr}\dot{q}_r + C_{rf}\dot{q}_f + D_{rr}\dot{q}_r. (3.3)$$

Қатты дененің қозғалыс байланысының және иілгіш байланыстың серпімді деформациясының теңдеудегі әсері басқару құрылымындағы икемділік әсерін зерттеу үшін еленбейді. 3.3-теңдеу келесідей сипат қысқарады:

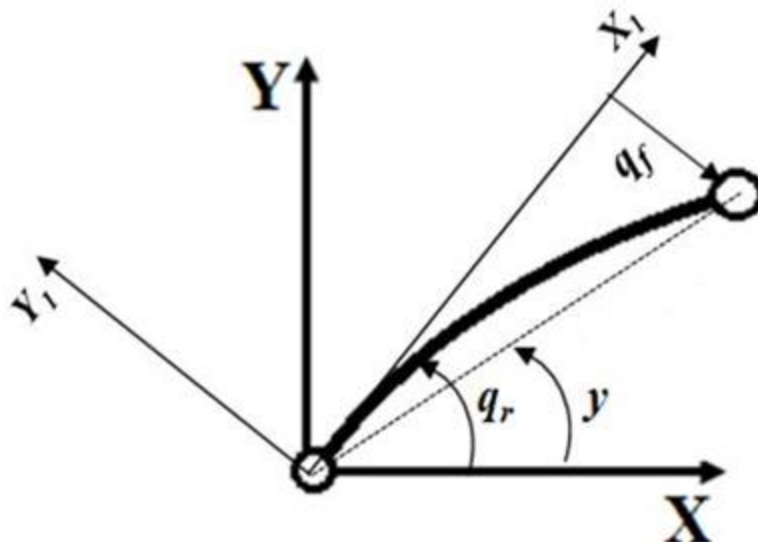
$$\tau = M_{rr}\ddot{q}_r + C_{rr}\dot{q}_r + D_{rr}\dot{q}_r. (3.4)$$

Бірлескен кеңістіктегі PD түріндегі кері байланыс басқару модифицирленген динамиканың тұрақтылығын қамтамасыз етуге арналған. Бұл келесідей өрнектеледі:

$$\tau = M_{rr}(\ddot{q}_r + K_p e_r + K_v \dot{e}_r) + C_{rr}\dot{q}_r + D_{rr}\dot{q}_r, (3.5)$$

мұндағы,  $K_p$  және  $K_v$  – тиісінше позиция мен жылдамдық қателігінің артуы;

$e_r$  және  $\dot{e}_r$  – сәйкесінше жылдамдық және орналасу деңгейіндегі бірлескен траектория қателігі.



Сурет 3.1 – Қосылған жердегі буын ұшының позициясы.

### 3.2 Сингулярлық ауытқуларды басқару

Басқару архитектурасы тұрақты инверсияны басқару 3.3-суретте көрсетілген. Ол арнаулы компенсатордың және қажетті кері траекториялық бақылауды қамтамасыз ету үшін сенімді кері байланыспен жалғанған. Тікелей байланыс компенсаторы тұрақты инверсиондық техниканың көмегімен алынған. Тұрақты инверсия әдісі  $y(t)$  ұшы позициясы үшін шектелген ішкі күйлерді  $q_r$  алдын ала есептеу арқылы минималды емес фазалық жүйені шешеді. 3.2-суретте буынның буын денелерінің ұшындағы нүкте көрсетілген.

Бірлесіп айналу және серпімді координаталар тұрғысынан алып қарағанда буын ұштарының орналасуы сызықсыз функция ретінде анықталады:

$$y = q_r + \arctan\left(\frac{q_f}{L}\right), \quad (3.6)$$

мұндағы,  $y$ ,  $q_r$  және  $q_f$  – сәйкесінше буын ұштарының орналасуы, буындардың арасындағы бұрыш және буынның серпімді жылжуы.

Буын ұштары мен серпімді буын жылжуының арасындағы байланысты қарапайымдау үшін анықталған параметрлер бойынша байланыс арасындағы бұрышты және серпімді жылжуды пайдаланып буын ұшының негізгі орналасуы аппроксимацияланады. Анықталған параметрлерді қолдану арқылы буын ұштарының орналасуы буындардың арасындағы бұрыштың және буын ұштарының координатасының сызықты комбинациясы түрінде қарастырылады:

$$y \approx q_r + \left(\frac{q_f}{L}\right) = q_r + \Gamma q_f, \quad (3.7)$$

мұндағы,  $\Gamma$  – кері байланыс ұзындығына тең буын байланысының анықталған параметрі.

Шектелген ішкі күйлерді есептеу үшін жүйенің ішкі динамикасы ұшының және серпімді координаталарының терминдері 3.2-теңдеудің көмегімен жазылады:

$$M_{fr}(\ddot{y} - \Gamma \ddot{q}_f) + M_{ff}\ddot{q}_f + C_{fr}(\dot{y} - \Gamma \dot{q}_f) + C_{ff}\dot{q}_f + D_{ff}\dot{q}_f + K_{ff}q_f = 0. \quad (3.8)$$

### 3.3 Итеративті басқару әдісі

Жүйенің ішкі динамикасы PD типті итеративті оқытудың қарапайым әдісі арқылы шешіледі. Бұл әдіс жүйенің номиналды динамикалық моделінде қолданылады, өйткені пайдалы жүктеменің реттелмеген массасының динамикасы динамикалық модельде қаралғанға дейін белгісіз болады.

Жүйенің ішкі динамикасын оқыту процесі деформациялық сәттің қателігі арқылы көрінеді:

$$e_d(q_f, \dot{q}_f, \ddot{q}_f) = M_{fr}(\ddot{y} - \Gamma \ddot{q}_f) + M_{ff}\ddot{q}_f + C_{fr}(\dot{y} - \Gamma \dot{q}_f) + C_{ff}\dot{q}_f + D_{ff}\dot{q}_f + K_{ff}q_f. \quad (3.8)$$

Тура байланыс компенсаторы тұрақты инверсия әдісін пайдалана отырып алынды.  $q_f$ ,  $\dot{q}_f$ ,  $\ddot{q}_f$  шектелген серпімділік күйлері алдын ала итеративті басқару әдісін пайдалана отырып есептеледі. Осылайша, модельдің инверсиясы  $y(t)$  буынының өткір жағдайы үшін тұрақты. Жүйенің ұштық траекториясы бойынша қозғалуы үшін қажетті айналдыру сәті:

$$\tau = M_{rr}\ddot{q}_r + M_{rf}\ddot{q}_f + C_{rr}\dot{q}_r + C_{rf}\dot{q}_f + D_{rr}\dot{q}_r. \quad (3.9)$$

Алайда, 3.9-теңдеуде көрсетілген есептелген айналу моменті дәл модель үшін жақсы жұмыс істейді. Кері байланысы бар қарапайым басқару еркін күшейтумен PD траекторияны нақты бақылауды қамтамасыз етеді. Жабық контурдағы айналу моментін басқару келесідей жазылады:

$$\tau = M_{rr}(\ddot{q}_r + K_p e_r + K_v \dot{e}_r) + M_{rf}\ddot{q}_f + C_{rr}\dot{q}_r + C_{rf}\dot{q}_f + D_{rr}\dot{q}_r, \quad (3.10)$$

мұндағы,  $K_p$  және  $K_v$  – тиісінше орналасу мен жылдамдық қатесінің күшеюі;

$e_r$  – бірлескен буын траекториясының қатесі, яғни

$$e_r = q_{rd} - q_r, \quad (3.11)$$

мұндағы,  $q_{rd}$  – шектелген серпімді координата мен итеративті әдістегі траектория ұшының көмегімен есептелген ізделініп жатқан бірлескен буын траекториясы.

### 3.4 Кері байланыс сенімділігін бақылау

Модельдің траектория бойымен тұрақтылық кепілдігін беру мақсатында Ляпунов функциясы кері байланыстағы күшею коэффициентін анықтау үшін қолданылады. Номиналды модельді қарастырайық:

$$\bar{M}\ddot{q} + \bar{C}(q, \dot{q})\dot{q} + \bar{D}(q) = B\tau. \quad (3.12)$$

Кері байланысты номиналды модельге жақындату бірлескен айнымалы бақылауына келесідей динамикалық қателік береді:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_r \\ \ddot{e}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_r \\ \dot{e}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} u \quad . \quad (3.13)$$

$M(q)$ ,  $C(q, \dot{q})$  шамалары анықталмағандықтан, динамикалық қателікті бақылау келесі сызықсыз емес бөліктен тұрады:

$$\dot{e}_r = Ae_r + B(u + \eta), \quad (3.14)$$

$$\eta = \Delta(u - \ddot{q}_r) + M^{-1}\delta, \quad (3.15)$$

мұндағы,

$$\Delta = M^{-1}\bar{M} - I_n, \quad (3.16)$$

және

$$\delta = C - \bar{C} \quad (3.17)$$

Төзімділік жағдайын шығару үшін ақырғы тұрақтылармен келесі болжамдар жасалған:

$$\frac{1}{\mu_2} \leq \|M^{-1}\| \leq \frac{1}{\mu_1}, \quad (3.18)$$

$$\|\Delta\| \leq \alpha \leq 1, \quad (3.19)$$

$$\|\delta\| \leq \beta_0 + \beta_1\|e_r\| + \beta_2\|e_r\|^2, \quad (3.20)$$

$$\|\ddot{q}_{rd}\| \leq c. \quad (3.21)$$

Кері байланыс контроллерін қарастырайық:

$$u = -K e_r, \quad (3.22)$$

осыдан,

$$\dot{e}_r = A e_r + B(u + \eta) = (A - BK)e_r + B\eta = A_c + B\eta. \quad (3.23)$$

Ляпунов теңдеуінің шешуі:

$$A_c^T P + P A_c = -Q, \quad (3.24)$$

мұндағы,

$$Q = \begin{bmatrix} 2K_p^2 & 0 \\ 0 & 2K_v^2 - 2K_p \end{bmatrix}, \quad (3.25)$$

және

$$K_v^2 > K_p. \quad (3.26)$$

Жабық контур жүйесі теңдеуі біркелкі шектеледі, егер  $e_r(0) = 0$ ;  $\dot{e}_r(0) = 0$ :

$$\alpha > 1 + \frac{1}{\mu_1} \left[ \beta_0 + 2(\beta_2 \beta_0 + \beta_2(\mu_1 + \mu_2)c)^{\frac{1}{2}} \right], \quad (3.27)$$

мұндағы,

$$K_v = 2aI, \quad (3.28)$$

және

$$K_p = 4aI, \quad (3.29)$$

мұндағы,  $K_p$  және  $K_v$  – сәйкесінше орналасудың және жылдамдықтың қателігінің өсуі.

Сол себепті,  $K_p$  және  $K_v$  өсу коэффициенттері үшін кері байланысты жүйе асимптоталық төзімді.

### 3.5 Сызықты емес бақылау

3.4-суретте сызықты емес бақылау архитектурасы көрсетілген. Ляпунов функциясы жабық жүйенің асимптоталық төзімділігін суреттеу үшін қолданылады.

Динамикалық модельді қарастырайық:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} + Kq = B\tau. \quad (3.30)$$

Траектория бойымен позицияның ауытқуы келесідей анықталады:

$$e = \begin{bmatrix} e_r \\ e_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{rd} - q_r \\ q_{fd} - q_f \end{bmatrix}, \quad (3.31)$$

мұндағы,  $q_{rd}$  және  $q_{fd}$  – қатты және икемді буын координаталары.

$q_{fd}$  дірілді тоқтату үшін нольге теңестірілген:

$$e = \begin{bmatrix} q_{rd} - q_r \\ -q_f \end{bmatrix}. \quad (3.32)$$

Қозғалыс алаңын  $s$  анықтайық:

$$s = \dot{e} + \lambda e = \begin{bmatrix} \dot{e}_r + \lambda_r e_r \\ \dot{e}_f + \lambda_f e_f \end{bmatrix}, \quad (3.33)$$

мұндағы,

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_r & 0 \\ 0 & \lambda_f \end{bmatrix}. \quad (3.34).$$

Қайта анықталған  $S_r$  және  $S_f$  сигналдарымен жүйенің динамикалық ауытқуы келесідей табылады:

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{S}_r \\ \dot{S}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rf} \\ C_{fr} & C_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_r \\ S_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{rr} & 0 \\ 0 & D_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_r \\ S_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{vr} & 0 \\ 0 & K_{vf} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_r \\ S_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_m + K_{vr} S_r - \tau \\ \tau_a \end{bmatrix}, \quad (3.35)$$

мұндағы,

$$\tau_m = M_{rr}(\ddot{q}_{rd} + \lambda_r \dot{e}_r) + M_{rf}(-\lambda_f \dot{e}_f) + C_{rr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r) + C_{rf}(-\lambda_f e_f) + D_{rr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r), \quad (3.36)$$



$$\tau_a = M_{fr}(\ddot{q}_{rd} + \lambda_r \dot{e}_r) + M_{ff}(-\lambda_f \dot{e}_f) + C_{fr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r) + C_{ff}(-\lambda_f e_f) + D_{ff}(-\lambda_f e_f) + K_{ff} e_f + K_{vf} s_f. \quad (3.37)$$

Келесі функция 3.35 теңдеуде көрсетілген динамикалық ауытқудың асимптоталық тұрақтылығын анализдеу үшін қарастырылады:

$$Y = \begin{cases} 2(\sqrt{Y}a(t) + b(t)) & Y(t) > 0 \\ 2b(t) & Y(t) = 0 \quad b(t) > 0 \\ \delta & Y(t) = 0 \quad b(t) \leq 0 \end{cases}, \quad (3.38)$$

мұндағы,

$$a(t) = \frac{\|s_r\|^2}{\|s_r\|^2 + \epsilon} (s_f^T \tau_a), \quad (3.39)$$

$$b(t) = \frac{-\epsilon}{\|s_r\|^2 + \epsilon} (s_f^T \tau_a). \quad (3.40)$$

Ал  $\delta$  – кішкене позитивті тұрақты. Жоғарыда көрсетілген  $Y(t) \geq 0$  барлық  $t \geq 0$  үшін. Егер  $k = \sqrt{Y}$  және  $k^2 = Y$  болса, онда  $k(t)$  дифференциалды теңдеуге сәйкестігіне тексеруге болады:

$$k = \frac{1}{k} \left( \frac{k\|s_r\|^2 - \epsilon}{\|s_r\|^2 + \epsilon} \right) (s_f^T \tau_a), \quad k \neq 0. \quad (3.41)$$

3.41-теңдеу  $Y(t)$  әрқашан оң таңбалы, ал  $k(t)$  оның түбірі екенін текеруге арналған дифференциалды теңдеу.

Параметрлері белгіленген басқару заңы келесідей таңдалды:

$$\tau = \tau_m + K_{vr} s_r + \tau_f, \quad (3.42)$$

мұндағы,

$$\tau_f = \frac{(1+k)s_r}{\|s_r\|^2 + \epsilon} (s_f^T \tau_a). \quad (3.43)$$

Ұсынылған контроллермен жүйенің динамикалық ауытқуы келесідей анықталады:

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{s}_r \\ \dot{s}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rf} \\ C_{fr} & C_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_r \\ s_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{rr} & 0 \\ 0 & D_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_r \\ s_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{vr} & 0 \\ 0 & K_{vf} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_r \\ s_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\tau_f \\ \tau_a \end{bmatrix}. \quad (3.44)$$

Динамикалық ауытқу қысқартылған түрде:

$$M(q)\dot{s} + C(q, \dot{q})s + Ds + K_v s = \begin{bmatrix} -\tau_f \\ \tau_a \end{bmatrix}. \quad (3.45)$$

Динамикалық ауытқудың асимптоталық тұрақтылығына Ляпунов функциясы көмегімен анализ жасалынады:

$$V = \frac{1}{2} s^T M(q) s + \frac{1}{2} Y = \frac{1}{2} s^T M(q) s + \frac{1}{2} k^2. \quad (3.46)$$

3.46-теңдеудің уақыт бойынша туындысын алу келесі өрнекті береді:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s^T M(q)\dot{s} + \frac{1}{2} s^T \dot{M}(q)s + k\dot{k} = s^T \left( -Cs - Ds - K_v s + \begin{bmatrix} -\tau_f \\ \tau_a \end{bmatrix} \right) + \\ &\frac{1}{2} s^T \dot{M}(q)s + \left( \frac{k\|s_r\|^2 - \epsilon}{\|s_r\|^2 + \epsilon} \right) (s_f^T \tau_a) = -s^T Ds - s^T K_v s + \left( \frac{k\|s_r\|^2 - \epsilon}{\|s_r\|^2 + \epsilon} \right) (s_f^T \tau_a) - \\ &\left( \frac{(1+k)\|s_r\|^2 - \|s_r\|^2 - \epsilon}{\|s_r\|^2 + \epsilon} \right) (s_f^T \tau_a) = -s^T Ds - s^T K_v s \quad for \quad k > 0. \end{aligned} \quad (3.47)$$

### 3.6 Адаптивті басқару

3.5-суретте адаптивті басқару архитектурасы көрсетілген. Ляпунов функциясы жабық контур жүйесінің асимптоталық тұрақтылығын анықтау мақсатында қолданылады.

Номиналды модельді қарастырайық:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} + Kq = B\tau. \quad (3.48)$$

Орналасу жағдайының траектория бойымен қателігі келесідей жазылады:

$$e = \begin{bmatrix} e_r \\ e_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{rd} - q_r \\ q_{fd} - q_f \end{bmatrix}, \quad (3.49)$$

мұндағы,  $q_{rd}$  және  $q_{fd}$  – сәйкесінше қажет болатын қатты және иілгіш буын байланыс координатасы.

Иілгіш манипулятордың динамикасы сызықты параметрлік модель арқылы келесідей анықталады:

$$W_1 \Theta_1 = M_{rr}(\ddot{q}_{rd} + \lambda_r \dot{e}_r) + M_{rf}(-\lambda_f \dot{e}_f) + C_{rr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r) + C_{rf}(-\lambda_f e_f) + D_{rr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r), \quad (3.50)$$

$$W_2 \Theta_2 = M_{fr}(\ddot{q}_{rd} + \lambda_r \dot{e}_r) + M_{ff}(-\lambda_f \dot{e}_f) + C_{fr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r) + C_{ff}(-\lambda_f e_f) + D_{ff}(-\lambda_f e_f) + K_{ff} e_f + K_{vf} s_f, \quad (3.51)$$

мұндағы,  $W_1$  және  $W_2$  – тиісінше  $n \times r_1$  және  $m \times r_2$  регрессия матрицасы;

$\Theta_1, \Theta_2$  – анықталмаған тұрақты параметрлер.

Параметрлер бағасымен басқару заңы келесідей алынды:

$$\tau = W_1 \hat{\Theta}_1 + K_{vr} s_r + \tau_f, \quad (3.51)$$

мұндағы,

$$\tau_f = \frac{(1+k)s_r}{\|s_r\|^2 + \epsilon} (s_f^T W_2 \hat{\Theta}_2 + K_{vf} s_f), \quad (3.52)$$

мұндағы,  $\hat{\Theta}_1$  және  $\hat{\Theta}_2$  – сәйкесінше  $\Theta_1, \Theta_2$  есептік бағалау көрсеткіші.

$$W_1 \hat{\Theta}_1 = \hat{M}_{rr}(\ddot{q}_{rd} + \lambda_r \dot{e}_r) + \hat{M}_{rf}(-\lambda_f \dot{e}_f) + \hat{C}_{rr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r) + \hat{C}_{rf}(-\lambda_f e_f) + \hat{D}_{rr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r), \quad (3.53)$$

$$W_2 \hat{\Theta}_2 = \hat{M}_{fr}(\ddot{q}_{rd} + \lambda_r \dot{e}_r) + \hat{M}_{ff}(-\lambda_f \dot{e}_f) + \hat{C}_{fr}(\dot{q}_{rd} + \lambda_r e_r) + \hat{C}_{ff}(-\lambda_f e_f) + \hat{D}_{ff}(-\lambda_f e_f) + \hat{K}_{ff} e_f. \quad (3.54)$$

Осы ұсынылған басқару түрінің жүйенің динамикалық қателігі келесідей түрде болады:

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{s}_r \\ \dot{s}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rf} \\ C_{fr} & C_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_r \\ s_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{rr} & 0 \\ 0 & D_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_r \\ s_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{vr} & 0 \\ 0 & K_{vf} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_r \\ s_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \hat{\Theta}_1 - \tau_f \\ W_2 \hat{\Theta}_2 \end{bmatrix}. \quad (3.55)$$

3.55-теңдеуді ықшамдап келесі жағдайға келтіреміз:

$$M(q)\dot{s} + C(q, \dot{q})s + Ds + K_v s = \begin{bmatrix} W_1 \hat{\Theta}_1 - \tau_f \\ W_2 \hat{\Theta}_2 \end{bmatrix}, \quad (3.56)$$

мұндағы,  $\tilde{\Theta}_1 = \Theta_1 - \hat{\Theta}_1$  және  $\tilde{\Theta}_2 = \Theta_2 - \hat{\Theta}_2$  – алдын ала есептеу қателігі параметрі.

Бейімделу заңы формуласы төменде келтірілген:

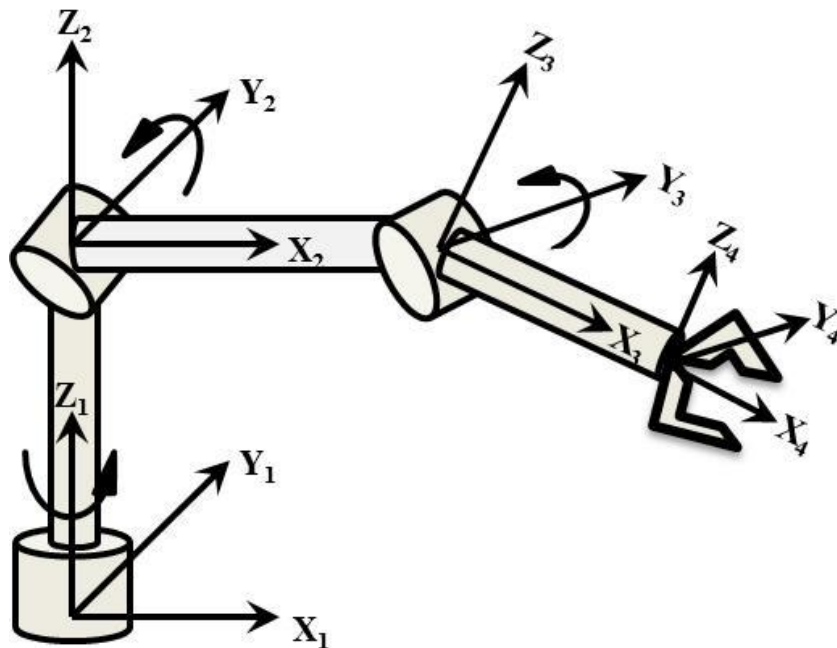
$$\dot{\theta}_1 = -K_1 W_1^T s_r, \quad (3.57)$$

$$\dot{\theta}_2 = -K_2 W_2^T s_f, \quad (3.58)$$

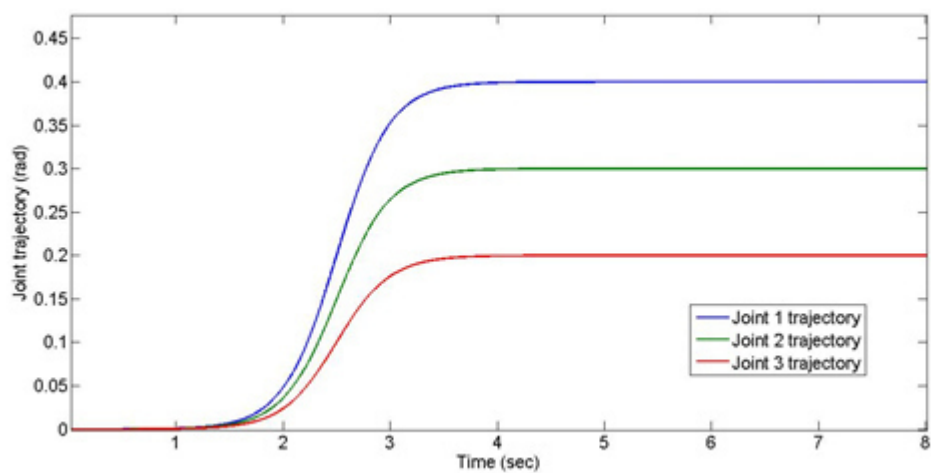
мұндағы,  $K_1$  және  $K_2$  – анықталған бейімделу матрицасы.

3.6-суретте дайындалған модель негізінде дайындалған кеңістіктік манипулятор RRR-дің жұмыс жасау өнімділігі көрсетілген. Манипуляторда үш икемді буын және үш буындары ось арқылы байланыстырылып бекітілген. Әрбір буынның екі шеткі элементтердің қолдануымен әр түйінде алты еркіндік дәрежесі бар және қатты денені айналдыратын бір еркіндік дәрежесі бар  $\theta_i$ , мұндағы  $i = 1, 2, 3$ . Буынға және оның түйіскен жерлеріне демпферлеу әсері еленбейді. Кеңістіктік RRR манипуляторының физикалық параметрлері 2.4-кестеде ұсынылған.

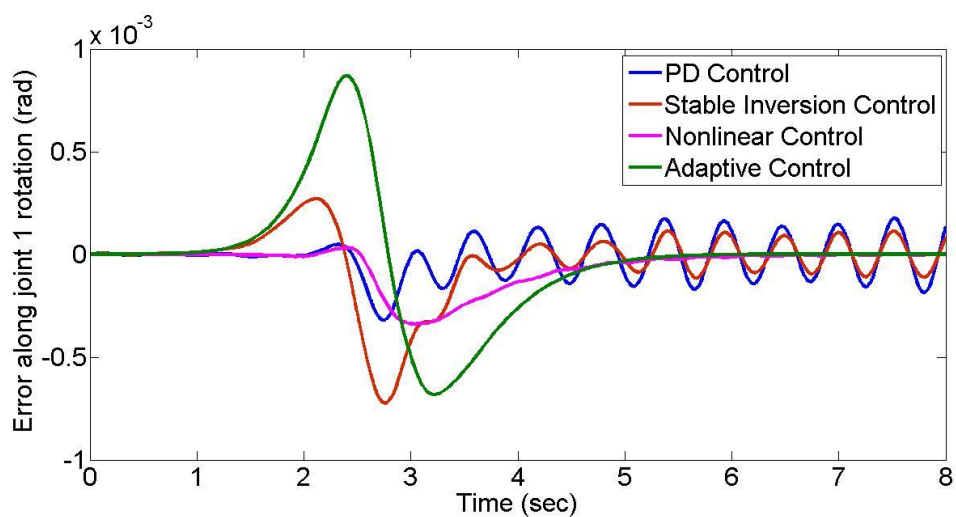
Бірінші, екінші және үшін буын түйіскен жерлерінің бақылау үшін траекториялары 3.7-суретте көрсетілген. PD басқару, адаптивті басқару, тұрақты инверсиялық басқару түрлерінің модельдеу нәтижелері салыстырылады. 3.8-суретте, 3.9-суретте және 3.10-суретте сәйкесінше  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  және  $\theta_3$  орналасуының траектория бойынша қателігі ұсынылған. 3.11-суретте, 3.12-суретте және 3.13-суретте XYZ бағыты бойымен  $X_4 Y_4 Z_4$  жұмыс жасау бөлігінің серпімді жылжуы көрсетілген.



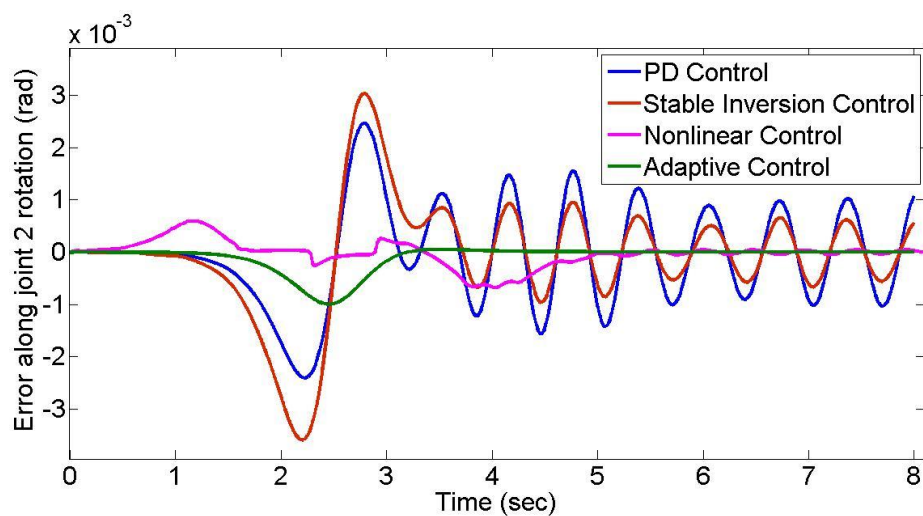
Сурет 3.2 – Үш буыны және үш икемді байланысы бар кеңістіктік RRR икемді манипуляторы



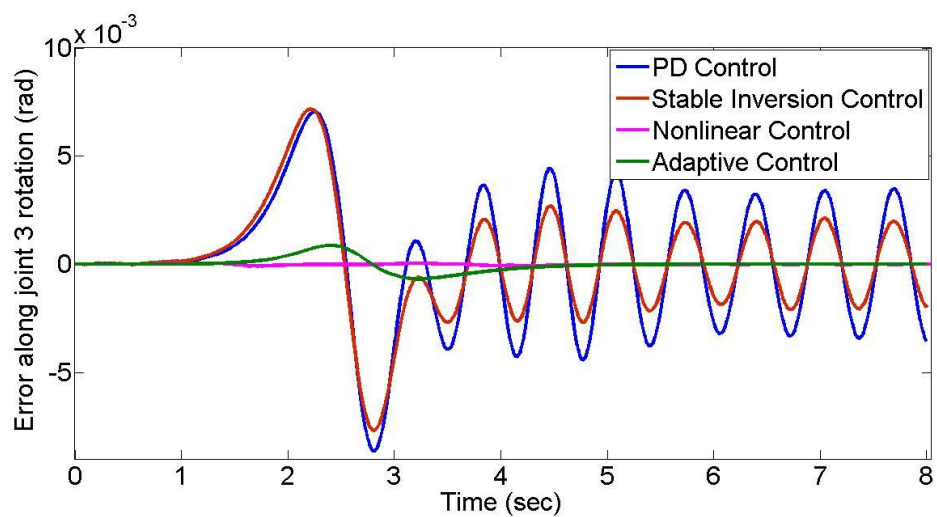
Сурет 3.3 – Анықтамалық траектория



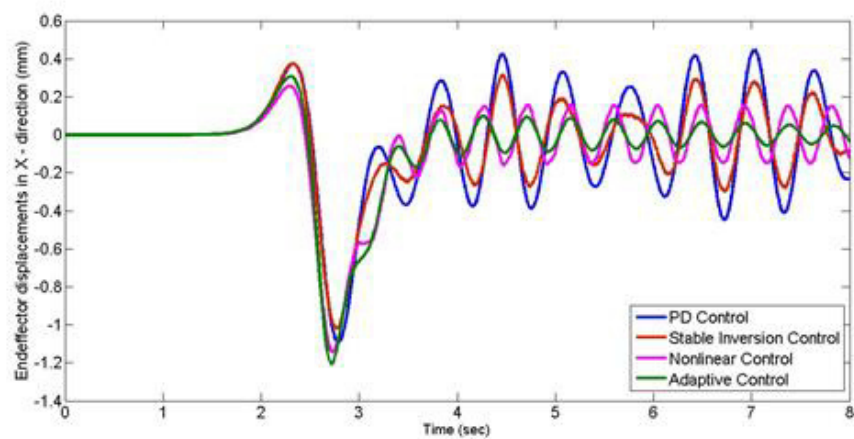
Сурет 3.4 –  $\theta_1$  траектория бойымен ауытқуы



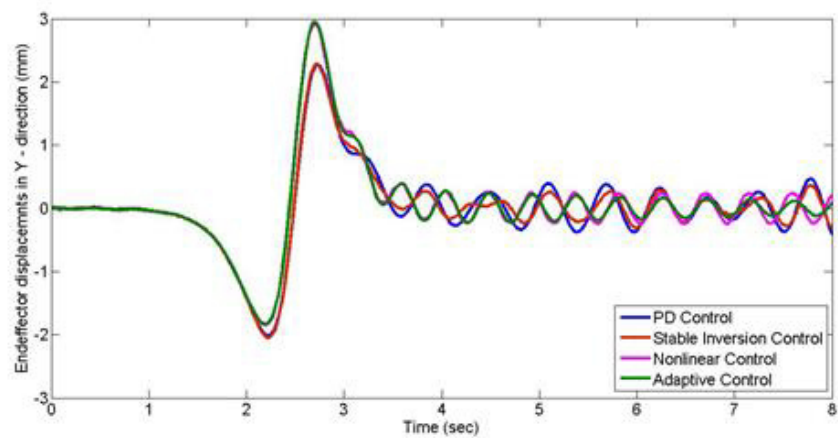
Сурет 3.5 –  $\theta_2$  траектория бойымен ауытқуы



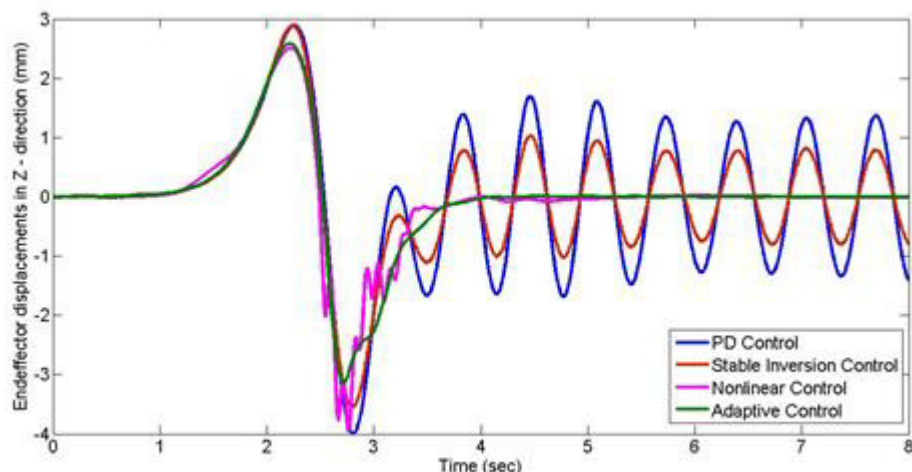
Сурет 3.6 –  $\theta_3$  траектория бойымен ауытқуы



Сурет 3.7 – X осі бойымен  $X_4Y_4Z_4$  жұмыс жасау бөлігінің серпімді жылжуы



Сурет 3.8 – Y осі бойымен  $X_4Y_4Z_4$  жұмыс жасау бөлігінің серпімді жылжуы



Сурет 3.9 – Z осі бойымен  $X_4Y_4Z_4$  жұмыс жасау бөлігінің серпімді жылжуы

PD басқару буын икемділігінің басқару конструкциясына әсерін анықтау үшін қатты буын байланысы бар манипулятор динамикасы негізінде жасалынған. PD басқару моделі буын түйіскен байланыста жақсы көрсеткішке ие, бірақ шеткі элементтерінің дірілін тиімді тоқтата алмайды. Бұны 3.11 – 3.13-суреттерден көруге болады.

PD басқару моделімен салыстырып қарағанда тұрақты инверсиялық басқару моделі тиімдірек нәтижелер көрсетті, бірақ бұл модель жүктеме массасы анықталмаған жағдайда дірілді баса алмайды. Тұрақты инверсиялық басқару кеңістіктік манипуляторға қарағанда жазықтықтық манипуляторға тиімді жұмыс жасайды.

Тұрақты инверсиялық басқару және PD басқару моделіне қарағанда сызықты емес және адаптивті басқару моделіне қарағанда буын қозғалысы траекториясы және жұмыс жасау бөлігінің дірілін тиімді баса алады. Жұмыс жасау бөлігінің дірілі Z осі бойынша тез басылады, ал X және Y осі бойымен дірілді басуға уақыт көбірек кетеді.

Зерттеу көрсеткендей ең тиімді басқару адаптивті басқару моделі болып шықты.

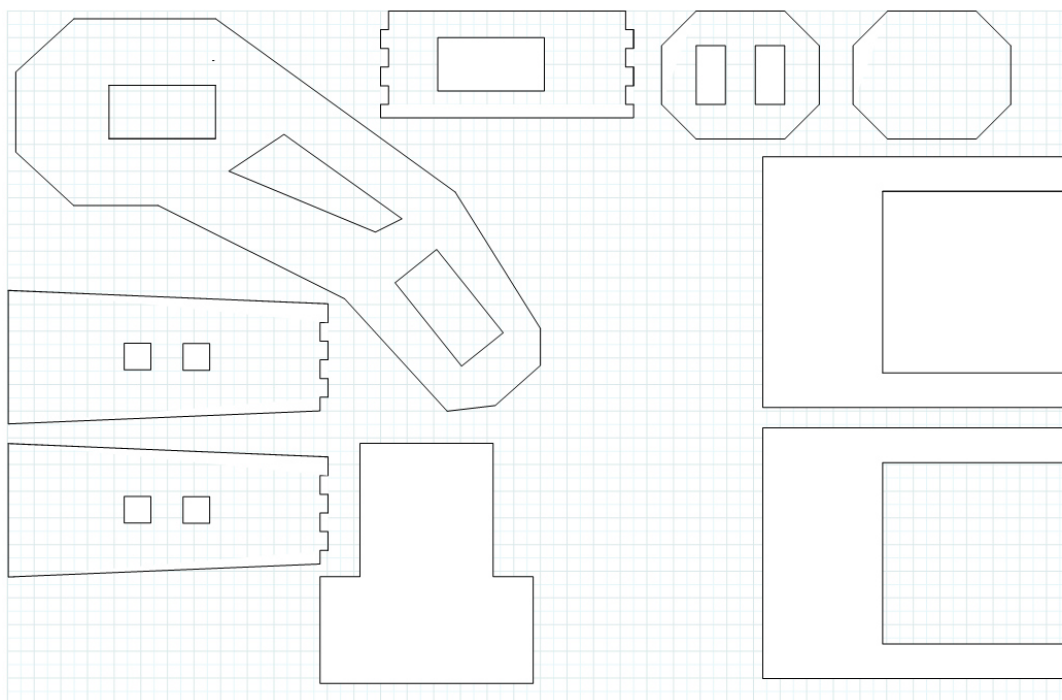
## 4 Робот манипуляторды құрастыру және бағдарламалау

### 4.1 Робот манипуляторды моделін құрастыру

Манипулятордың қабырғалары поливинилхлорид материалынан жасалынды. Оның барлық қабырғалары LayOut бағдарламасында дайындалды. Одан сызылған қабырғаларының эскизі граверлік лазер арқылы кесіліп алынды.

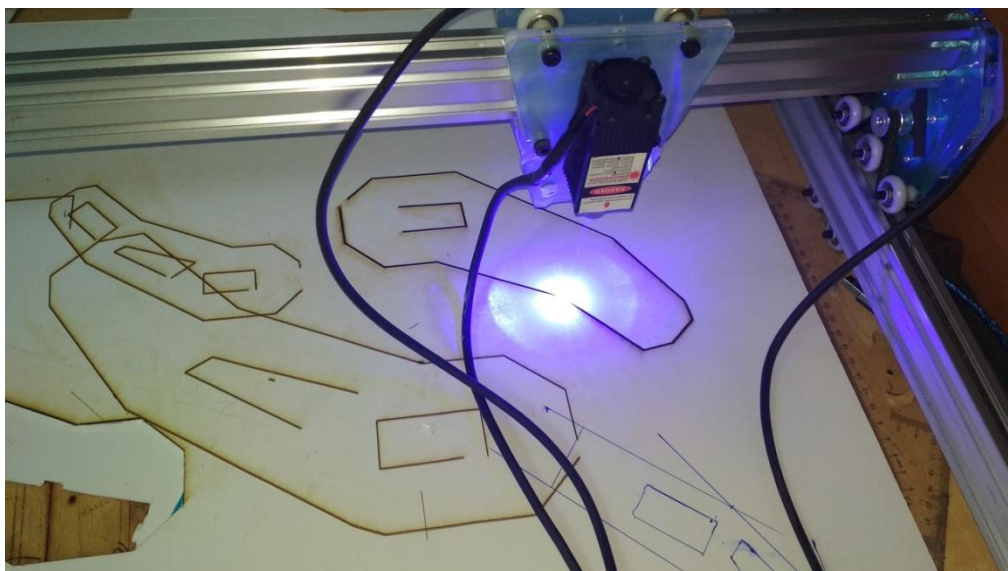


Сурет 4.1 – Дайын болған манипулятор



Сурет 4.2 – Манипулятор қабырғаларының эскизі





Сурет 4.3 – Дайын эскиз бойынша лазермен кесу

Кесіліп алынған қабырғалрды диаметрі 3мм, ұзындығы 45мм винт арқылы бекітеміз. Оны сыртқы коррозиядан қорғау үшін сырлау қажет.

#### **4.2 Манипулятордың электрлік бөліктерін контроллерге қосу**

Бұл манипулятордың жетегі ретінде алты MG 996 сервоқозғалтқышы және екі SG 90 сервоқозғалтқышы қолданылады. MG996R сервоқозғалтқышының айналу сәті өте жоғары. Басқару контроллері ардуино уно платасы арқылы жүзеге асады. Манипулятордың әр буынын қозғау үшін контроллер арқылы джойстикпен басқарылатын болады.



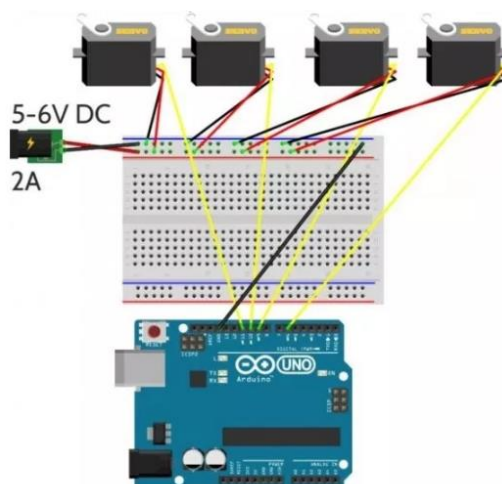
Сурет 5.1 – Сервоқозғалтқыш MG996R



Сурет 5.2 – Ардуино уно платасы



Сурет 5.3 – Манипулятор қозғалысын басқаратын джойстик



Сурет 5.4 – Манипулятор жетектерінің қосылу сұлбасы

### 4.3 Манипулятор бағдарламасын дайындау

Манипулятордың бағдарламасын Arduino программалық бағдарламасында жүзеге асады. Оның программалық тілі C.

```
#include "LCD_1602_RUS.h"
#include <Wire.h>
// #include <LiquidCrystal_PCF8574.h>
LCD_1602_RUS lcd(0x3F,16,2); /
int val=analogRead(A0);
int Aaaa=0;
int bvg=0;
void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  pinMode(A0, INPUT_PULLUP);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(L" Загрузка 10% ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(L" Loading 10%");
  delay(500);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(L" Загрузка 20% ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Loading 20%");
  delay(500);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(L" Загрузка 30% ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Loading 30%");
  delay(500);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(L" Загрузка 40% ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Loading 40%");
  delay(500);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(L" Загрузка 50% ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Loading 50%");
```

```

delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L" Загрузка 60% ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Loading 60%");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L" Загрузка 70% ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Loading 70%");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L" Загрузка 80% ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Loading 80%");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L" Загрузка 90% ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Loading 90% ");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L" Загрузка 100% ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Loading 100% ");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Manipulator Ryan");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"нажмите menu");}
void loop(){
if(analogRead(A0)>77&&analogRead(A0)<95){lcd.clear(); menu();}
else{}
}
void menu() {
delay(100);
int d=0;
d=analogRead(A0);

```

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(">Rejimi raboty");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Instrukcia");
int val=analogRead(A0);
if(d>100&&d<117){lcd.clear(); return( vybor()); }
else if(d>120&&d<140){lcd.clear(); return( instrukcia());}
else if(d>57&&d<75){lcd.clear(); return( instrukcia());}
return(menu());}
void instrukcia(){
delay(100);
int e=0;
e=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Rejimi raboty");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(">Instrukcia");
if(e>100&&e<117){lcd.clear(); return (tekst());}
else if(e>77&&e<95){lcd.clear(); return(menu());}
else if(e>57&&e<75){lcd.clear(); return(menu());}
else if(e>120&&e<140){lcd.clear(); return(menu());}
return(instrukcia());}
void tekst(){
delay(100);
int f=0;
f=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"Chtoby vybrat ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"rejim raboty ma-");
if(f>121&&f<140){lcd.clear(); return(tekst1());}
else if(f>77&&f<95){lcd.clear(); return (instrukcia());}
return(tekst());
}
void tekst1(){ //Манипулятордың жұмыс жасау иструкциясы
delay(100);
int g=0;
g=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"rejim raboty ma-");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"nipulatora najm-");
if(g>121&&g<140){lcd.clear(); return(tekst2());}
else if(g>58&&g<75){lcd.clear(); return(tekst());}

```

```

else if(g>77&&g<95){lcd.clear(); return (instrukcia());}
return(tekst1());}
void tekst2(){
delay(100);
int h=0;
h=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"nipulatora najm-");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"ite Menu vyberi-");
if(h>121&&h<140){lcd.clear(); return(tekst3());}
else if(h>58&&h<75){lcd.clear(); return(tekst1());}
else if(h>77&&h<95){lcd.clear(); return (instrukcia());}
return(tekst2());}
void tekst3(){
delay(100);
int i=0;
i=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"ite Menu vyberi-");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"te rejim i najm-");
if(i>121&&i<140){lcd.clear(); return(tekst4());}
else if(i>58&&i<75){lcd.clear(); return(tekst2());}
else if(i>77&&i<95){lcd.clear(); return (instrukcia());}
return(tekst3());}
void tekst4(){
delay(100);
int j=0;
j=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"te rejim i najm-");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"ite OK. Vixod ");
if(j>121&&j<140){lcd.clear(); return(tekst5());}
else if(j>58&&j<75){lcd.clear(); return(tekst3());}
else if(j>77&&j<95){lcd.clear(); return (instrukcia());}
return(tekst4());}
void tekst5(){
delay(100);
int k=0;
k=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"ite OK. Vixod ");

```

```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"v glavnoe menu ");
if(k>121&&k<140){lcd.clear(); return(tekst6());}
else if(k>58&&k<75){lcd.clear(); return(tekst4());}
else if(k>77&&k<95){lcd.clear(); return (instrukcia());}
return(tekst5());}
void tekst6(){
delay(100);
int l=0;
l=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"v glavnoe menu");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"najmite MENU");
if(l>121&&l<140){lcd.clear(); return(tekst());}
else if(l>58&&l<75){lcd.clear(); return(tekst5());}
else if(l>77&&l<95){lcd.clear(); return (instrukcia());}
return(tekst6());}
void vybor(){delay(100);
int a=0;
a=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(L"-Vyberite rejim-");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(L"Ruchnoi rejim");
if(a>120&&a<140) {lcd.clear(); return (ruch());}
else if(a>57&&a<75){lcd.clear(); return(wawki());}
else if(a>77&&a<95){lcd.clear(); return(menu());}
return (vybor());}
void ruch(){
delay(100);
int b=0;
b=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(">Ruchnoi rejim");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Avto rejim");
if(b>120&&b<140) {lcd.clear(); return(avto());}
else if(b>58&&b<75) {lcd.clear(); return(vybor());}
else if(b>77&&b<95) {lcd.clear(); return (vybor());}
else if(b>100&&b<117) {lcd.clear(); return (ruchrabota());}
else return(ruch());}
void avto(){
delay(100);

```

```

int c=0;
c=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(">Avto rejim");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Igra wawki ");
if(c>120&&c<140) {lcd.clear(); return(wawki());}
else if(c>58&&c<75) {lcd.clear(); return (ruch());}
else if(c>77&&c<95) {lcd.clear(); return (vybor());}
else if(c>100&&c<117) {lcd.clear(); return (avtorabota());}
else return(avto());}
void wawki(){
delay(100);
int c=0;
c=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(">Igra wawki");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("");
if(c>120&&c<140) {lcd.clear();vybor();}
else if(c>58&&c<75) {lcd.clear(); return (avto());}
else if(c>77&&c<95) {lcd.clear(); return (vybor());}
else if(c>100&&c<117) {lcd.clear(); return (wawkirabota());}
else return(wawki());}
void avtorabota(){
int m=0;
m=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Avtorejim robota");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("neprogrammirovan");
if(m>77&&m<95) {lcd.clear();avto();}
else {return(avtorabota());}
}
void ruchrabota(){
int o=0;
o=analogRead(A0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Ruchnoi rejim");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("vkluchen");
if(o>77&&o<95) {lcd.clear();return (ruch());}
else if(
else {return(ruchrabota());}}

```



## 5 Техника экономикалық негіздеу

### 5.1 Жобаның міндеті мен мақсаты

Бұл бөлімнің басты мақсаты жобаның орындалуына кететін экономикалық тиімділікті анықтау. Осы анықтау барысында инвестицияға құйылатын қаржыны, жобаның өзіндік құнын және жобаның дайын болғаннан соң оның әкелетін қаржылай пайдасын қарастырып өтетін боламыз.

Бұл жоба көптеген адамның қызығушылығын тудырады. Физикалық тұлғаларға, оның ішінде мүмкіншілігі шектеулі адамдарға, бұл жобаның берер пайдасы өте жоғары. Оған қоса алдыңғы технологиялар мен жаңа техникалармен қызығатын тұлғалардың назарын өзіне аудартады.

### 5.2 Өндірістік жоспар

Инвестицияға құйылатын қаржыны есептеу.

Жобаны іске қосу үшін жұмсалатын қаржыны анықтауымыз қажет. Қажет жабдықтар мен оның тұратын бағасы 5.1 кестеде ұсынылған.

5.1 кесте Керек болатын жабдықтар мен жобаны іске асыруға қажетті бағдарламалық жобаның бағасы

Аты	Саны, дана	Баға, теңге
3Д Принтер	1	1800000
Бағдарламалық жүйе	1	200000
Фрезерлік-граверлік қондырғы	3	1 000 500
Бағдарламалар пакті WIN PCNC Professional (CD)+ карта I/O	1	90 000
Т-тәріздес S-1400T пазлдық үстел	2	80 000
Монтаждық үстел	3	35 000
Дербес компьютер	3	200 000
Барлығы		3 405 500

Жобаның жалпы іске қосылуға кететін қаражат орнатылатын программалық қамтамасыздандыруға, жасалатын монтаж жұмыстарына, көлік транспортына кететін шығындарға, қажетті құрал-саймандарға жұмсалатын ақшалай қаржы төмендегі теңдеумен анықталады:

$$\sum K = K_O + K_M + K_{ТШ}, \quad (5.1)$$

мұндағы,  $\sum K$  – барлық жобаға жұмсалатын қаржы;  
 $K_O$  – жабдықтарға қажетті ақша;  
 $K_M$  – монтаж істеу жұмыстарына бағытталған қаржы;  
 $K_{ТШ}$  – көлік транспортына кететін қаражат;

$$K_M = 3\,405\,500 \cdot 0,2 = 681\,100 \text{ тенге,}$$

$$K_{ТШ} = 3\,405\,500 \cdot 0,05 = 170\,275 \text{ тенге.}$$

$$\sum K = 170\,275 + 681\,100 + 3\,405\,500 = 4\,256\,875 \text{ тенге. (5.2)}$$

Жобаның өзіндік бағасы керекті жабдықтар және қосымша бөліктеріне, жұмысшылар жалақысына, әлеуметтік салыққа, жұмыста пайдаланатын энергия көзіне, амортизациялық аударымға кететін шығындардың қосындысынан тұрады.

Жобаның өзіндік құны мына теңдеумен анықталады:

$$C = C_{Mam} + EТФ + C_{\Theta} + A + \Theta + K, \quad (5.3)$$

мұндағы,  $C_{Mam}$  – қажетті материалдарға және қосалқы бөлікке кететін шығын;

$EТФ$  – еңбекті төлеу фонды;

$C_{\Theta}$  – әлеуметтік салық;

$A$  – амортизация аударымы;

$\Theta$  – энергия көзіне жұмсалатын қаржы;

$K$  – қосалқы кететін шығын.

Керекті материалдардың тізімі және оның бағалары 5.2 кестеде ұсынылған. Жұмыс істейтін адамдар және олардың айлық жалақысы 5.3 кестеде келтірілген.

Кесте 5.2 Керекті материалдар және олардың бағасы

Материалдар	Саны	Бағасы
Кілттер торабы	1	20 000
Редуктор	4	24 000
Пышақ	2	600
Бұрағыш	2	1 200
Напильник	4	2 400
Егеу парағы	10	2 000
Аккумулятор	2	40 000
Жалғау сымдары	2 бухта	20 000
Қозғалтқыш	4	4 000
Барлығы		114 200

Еңбекті төлеу фонды келесі теңдеумен есептеледі:

$$ETF = Z_{\text{Нег}} + Z_{\text{Қос}}, \quad (5.4)$$

мұндағы,  $Z_{\text{Нег}}$  – негізгі айлық жалақы;  
 $Z_{\text{Қос}}$  – қосалқы айлық жалақы.

Кесте 5.3 Жұмыс істейтін адамдар саны және олардың жалақысы

Жұмысшылар	Саны, адам	1 айда берілетін жалақылары, тенге
Бағдарламалаушы	2	120 000
Инженер	2	80 000
Слесарь	1	60 000
Жобалаушы	2	150 000
Құрастырушы	1	100 000
Барлығы	8	510 000

12 айдағы негізгі жалақы:

$$Z_{\text{Нег}} = 510\,000 \times 12 = 6\,120\,000 \text{ тенге.}$$

Қосалқы жалақы негізгі жалақының он пайызын алады:

$$Z_{\text{Қос}} = 6\,120\,000 \times 0,1 = 612\,000 \text{ тенге.}$$

Онда еңбекті төлеу фонды келесідей болады:

$$ETF = 6\,120\,000 + 612\,000 = 6\,732\,000 \text{ тенге.}$$

Еңбекті төлеу фондының бір бөлігі Қазақстан республикасының заңына сәйкес әлеуметтік салыққа кетеді. Қазақстан Республикасының «салық кодексіне» сәйкес еңбекті төлеу фондының 11%-ы әлеуметтік салыққа төленеді, Қазақстан Республикасының «Зейнетақымен қамтамасыз ету» заңы бойынша зейнетақы қорына 10% бөлігі аударылуы қажет. Әлеуметтік қажеттілікке кететін ақшалай шығын мына теңдеумен өрнектеледі:

$$C_a = 0,3(ETF - (0,1ETF)), \quad (5.5)$$

$$C_a = 0,3(6\,732\,000 - (0,1 * 6\,732\,000)) = 1\,817\,640 \text{ тенге.}$$

### 5.3 Кететін шығындар

Амортизациялық аударым мөлшері арнайы белгіленген норма негізінде негізгі қорлардың мөлшеріне сәйкес пайызбен анықталады. Қазақстан Республикасының «бюджетке төленетін салықтар» кодексіне сүйенсек амортизация нормасы дербес компьютерге, оның қосымша жабдықтарына 40%. Амортизациялық аударым қосымша жабдықтарға келесі формула бойынша анықталады:

$$A = \frac{N_A \times C_{\text{баст}} \times N}{100 \times 12 \times 30}, \quad (5.6)$$

мұндағы,  $N$  – эксплуатацияға кететін күндердің саны;

$N_A$  – амортизация нормасы;

$C_{\text{баст}}$  – құрал-жабдықтың бастапқы құны.

Дербес компьютердің және бағдарламалық қамтамасыз етудің амортизациясы:

$$A_{\text{К және БҚ}} = \frac{40 \times 251246 \times 365}{100 \times 12 \times 30} = 101\,894 \text{ теңге},$$

$$A_{\text{Қон}} = \frac{25 \times 1221584 \times 365}{100 \times 12 \times 30} = 309\,637 \text{ теңге},$$

$$A = A_{\text{К және БҚ}} + A_{\text{Қон}} = 101\,894 + 309\,637 = 411\,534 \text{ теңге}.$$

Электр қуатына кететін шығын келесідей анықталады:

$$\mathcal{E}_K = P \cdot N_T \cdot S \quad (5.7)$$

мұндағы,  $P$  – қолданылатын қуат;

$N_T$  – жабдықтың жұмыс жасау уақыты саны (8 сағат, 245 жұмыс күні);

$S$  - электроэнергияның киловатт сағатқа шаққадағы құны.

$$W = 1,2 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 0,8 \cdot 2 = 6000 \text{ Вт},$$

$$T = 8 \cdot 245 = 1960 \text{ сағат},$$

$$S = 15,4 \text{ теңге/кВт} \cdot \text{сағ}.$$

Онда электр көзіне кететін шығын:

$$\mathcal{E}_K = 6 \cdot 1960 \cdot 15,4 = 181\,104 \text{ теңге}.$$

Қосалқы кететін шығын жалпы барлық сумманың 10 пайызын құрап, келесі формуламен есептелінеді:

$$K=0,1 \cdot C \quad (5.8)$$

$$C=6\,732\,000 + 181\,104 + 1\,817\,640 + 114\,200 + 411\,534 = 9\,256\,478 \text{ теңге,}$$

$$K_{ш}=9\,256\,478 \cdot 0,1 = 925\,648 \text{ теңге.}$$

Бұл жобаның өзіндік құнын анықтаймыз:

$$\Theta = 6\,732\,000 + 1\,817\,640 + 411\,534 + 114\,200 + 181\,104 + 925\,648 = 1\,018\,2126.$$

#### 5.4 –кесте Жобаның өзіндік құнының құрылымы

Шығындар	План, теңге	Уд. вес, %
Материалдар	114 200	1,89
Еңбекті төлеу қоры	6 732 000	73,11
Әлеуметтік қажеттілікке кететін аударым	1 817 640	8,59
Амортизациялық аударым	411 534	5,09
Электр көзіне кететін шығын	181 104	2,2
Қосалқы шығындар	925 648	9,102
Жобаның жалпы өзіндік құны	10 182 126	100
Шығарылған дайын өнім саны, дана	50	
Әрбір дайын өнімнің өзіндік құны	203 643	

Жобаны жүзеге асырғаннан кейінгі түсетін пайда:

$$П = Ж \cdot Тп, \quad (5.9)$$

мұндағы, Ж – жүзеге асқан өнімнің саны (50 дана);

Тп – жобаның НДС қосылмағандағы бағасы.

Жобаның нарықтағы бағасы келесі формула бойынша табылады.

$$Ц = \Theta + П + НДС, \quad (5.10)$$

мұндағы,  $\Theta$  – жобаның данасының құны;  
 $\Pi$  – келетін пайда;  
НДС – әр дананың құны мен пайданың қосындысын 12 пайызы.

Жобаның нарықтағы құнын анықтаймыз:

$$T_{\Pi} = 203\,643 + 203\,643 \cdot 0,15 = 234\,189 \text{ теңге},$$

$$\text{НДС} = 234\,189 \cdot 0,12 = 28\,102 \text{ теңге},$$

$$\Pi = 234\,189 + 28\,102 = 262\,291 \text{ теңге}.$$

Дайын өнімнің 50 данасынан келетін пайда:

$$\Pi = 50 \cdot 234\,189 = 11\,709\,450 \text{ теңге}.$$

Күнтізбе бойынша дайын болған және жүзеге асырылған өнім 50 дана болған.

#### **5.4 Жобаның экономикалық тиімділігі**

Жобаның коммерциялық бағасы есептеу нәтижелері негізінде 3 405 500 теңгені құрайды. Бір жылғы экономикалық әсер келесі теңдеумен анықталады:

$$E_A = (D - \Theta) / K = \Pi / K, \quad (5.11)$$

мұндағы,  $\Theta$  – жобаның өзіндік бағасы;  
 $D$  – әкелетін пайда;  
 $K$  – бірлік ақшаалай капитал салымы;  
 $\Pi$  – таза пайда.

Капиталды салымның экономикалық әсерлілігі норма бойынша коэффициенті 0,2 болады.

$$E_A = D - \Theta = 11\,709\,450 - 10\,182\,126 = 1\,527\,324 \text{ теңге}.$$

Бір жылдағы экономикалық әсер:

$$E_A = (11\,709\,450 - 8\,124\,562) / 3\,405\,500 = 0,45.$$

Жобаның өзін-өзі ақтайтын уақыты:

$$T = 1 / E_A, \quad (5.12)$$

$$T = 1 / E_a = 1 / 0,45 = 2,2 \text{ жыл.}$$

Бұл жобаның іске асырылғаннан кейінгі экономикалық есептеулер нәтижесі бойынша әкелетін экономикалық әсері едәуір үлкен екенін көрсетті. Бір жылдағы экономикалық әсер 1 527 324 теңге болды. Жобаның маңыздылығын өзін-өзі 2,2 жылда ақтайтынынан көруге болады. Дисконттау коэффициенті келесі теңдікпен анықталады:

$$a_t = \frac{1}{(1+E)t_i} \quad (5.13)$$

мұндағы,  $a_t$  – дисконттау коэффициенті;  
 $E$  – дисконт орташасы.

Дисконттау коэффициентінің үш жылдық көрсеткіші:

$$a_1 = \frac{1}{(1+0.2)^1} = 0.829,$$

$$a_2 = \frac{1}{(1+0.2)^2} = 0.692,$$

$$a_3 = \frac{1}{(1+0.2)^3} = 0.581.$$

PV жобаның ақшалық ағын бағасы:

$$PV = P_t / (E + 1), \quad (5.14)$$

мұндағы,  $E$  – дисконттау орташасы;  
 $P_t$  –  $t$  мерзім ішіндегі ақшалай салымның таза ағыны.

Бұл жобаның таза құнын (NPV) анықтау келесі формула бойынша жүзеге асады :

$$NPV = \frac{P_t}{E+1} - I_0, \quad (5.15)$$

мұндағы,  $I_0$  – бастапқыдағы барлық шығын қосындысы.

PI – салынатын инвестиция рентабельдігінің индексі мына теңдік бойынша есептеледі:

$$PI = \frac{P_t}{(E+1)I_0}. \quad (5.16)$$

Егер PI бірден жоғары болатын болса, онда бұл жобаның қабылдануы қажет.

5.5—кесте.Көрсеткіштер

Көрсеткіштер	1 ж.	2 ж.	3 ж.
Инвестициялық шығын, млн. Тг	3,4		
Таза ақшалай ағын, млн. тг	1,526	1,526	1,526
Дисконттау орташасы, %	20	20	20
Дисконттау коэффициенті	0,829	0,692	0,581
Таза жобаның өзіндік құны (PV), млн. тг	2,009	0,839	0,704
Таза дисконттау пайдасы (NPV), млн. тг	2,094		
Пайданың индексі (PI)	2,733		
Осу ағыны бойынша таза пайда, млн. тг	-0,445	0,378	2,089



## **6 Өміртіршілік қауіпсіздігі**

### **6.1 Еңбек жағдайларын талдау**

Робот манипуляторды құрастыру үшін жұмысшыларға ұзындығы 8 метр, ені 5 метр, биіктігі 3 метр болатын жұмыс жасайтын орын қарастырылған. Бұл жұмыс орны фрезерлік станок, дербес компьютер, 3D принтер техникаларымен қамтамасыз етілген. Колмен жасалынатын монтаждық жұмыстарға арналған монтаждық үстел орнатылған.

Жобаның жүзеге асырылуы келесі операциялардың орындалуынан тұрады:

- келіп түскен тапсырыстарға байланысты аспаптың сызбасын, компьютерде 3D моделін жасау;
- сызбаға және 3D моделін пайдаланып аспапты құрастыру.

### **6.2 Зиянды және қауіпті өндірістік факторлар**

Аспап жасаушыларда жұмыс істеу кезінде жұмыс орнында жабдықтар мен басқа да заттардан бөлінетін өндіріс факторларына зиянды әсер етуі мүмкін.

Фтордың химиялық, физикалық, психофизикалық және биологиялық өндірісі қауіптілік пен зиян түріне байланысты қауіпті және зиянды өндірістік факторлардың төрт түрі бар: физикалық, химиялық, биологиялық және психофизиологиялық.

Кеңсе ғимараттарында жұмыс істеуге қатысты зиянды және қауіпті физикалық факторларға мыналар жатады:

- кеңсе техникаларының жылжымалы бөліктері;
- жұмыс аймағының шаң мен газды ластануының артуы;
- кеңсе техникасының жоғары бетінің температурасының артуы;
- жұмыс аймағында ауа температурасының жоғарылауы немесе азаюы;
- жұмыс орнында шу деңгейінің жоғарылауы;
- ауаның ылғалдылығының жоғары немесе төмен болуы;
- ауа қозғалысының ұлғаюы немесе азаюы;
- ауадағы ионизацияның артуы;
- иондаушы сәулелену деңгейінің жұмыс орнында ұлғаюы;
- статикалық электр энергиясының деңгейі жоғарылауы;
- жоғары мөлшердегі электромагниттік сәулелену;
- табиғи жарық аз болуы немесе болмауы;
- жұмыс орнының дұрыс жарықтанбауы;

Адам денсаулығына әсер ету сипаты бойынша химиялық қауіпті және зиянды өндірістік факторлар мынадай топтарға бөлінеді: жалпы токсикалық, тітіркендіргіш, сенсбилизациялайтын (аллергиялық аурулар тудыратын), канцерогенді (ісіктердің дамуына әкелетін), мутагендік (ағзаның фетальды

жасушаларына әсер ететін). Кеңселік ғимараттармен байланысты химиялық факторлар, озон деңгейінің жоғарылауы, кеңсе жиһазында (ДСП) формальдегидтің және т.б. болуы.

Биологиялық қауіпті және залалды өндірістік факторларға қызметкерлерге жарақаттар немесе аурулар пайда болуына әсер ететін микроорганизмдер (бактериялар, вирустар және т.б.) кіреді.

Психофизиологиялық қауіпті және залалды өндірістік факторларға жүйке-психикалық ауыртпалықтар (психикалық және эмоционалды артық жүктеме, есту, көру және т.б. анализаторлардың шамадан тыс жүктемесі) кіреді.

Зиянды және қауіпті өндірістік факторлар арасында белгілі бір қатынас бар. Көптеген жағдайларда зиянды факторлардың болуы жарақат алуға ықпал етеді. Мысалы, кеңседегі шамадан тыс ылғалдылық және өткізгіштік шаңның болуы (зиянды факторлар) адамға электр тоғының соғу қаупін арттырады (қауіпті фактор).

Өндірістік қауіпті өндірістік факторлардың әсер ету деңгейі ең жоғарғы рұқсат етілетін деңгейлермен нормаланады, олардың деңгейі еңбек қауіпсіздігі және санитарлық-гигиеналық ережелердің тиісті стандарттарында көрсетілген.

Үй-жай мен жиһаздың сыры көрнекі қабылдау, жақсы көңіл-күй үшін қолайлы жағдайлар жасауға көмектесуі керек. Шам және терезе сияқты жарық көздері экран бетіне шағылысуды тудырады, ол өз кезегінде ұзақ жұмыс кезінде айтарлықтай көздің шаршауына әкеп соғады. Терезелердің артық жарықтығынан қорғану үшін перделер мен экрандар қолданылуы мүмкін.

Терезелердің орналасуына байланысты бөлменің қабырғалары мен еденін келесі түстерге сырлау ұсынылады:

- терезелер оңтүстікке бағытталған, қабырғалары жасыл-көгілдір немесе ашық-көгілдір түсті, еден-жасыл;
- терезелер солтүстікке бағытталған, қабырғалары ашық-қызғылт сары немесе қызғылт сары, едені қызыл-қызғылт сары;
- терезелер шығысқа бағытталған, қабырғалары сары-жасыл түсті, еден жасыл немесе қызыл-қызғылт;
- терезелер батысқа бағытталған, қабырғалары сары-жасыл немесе көгілдір-жасыл түсті, едені жасыл немесе қызыл-қызғылт сары.

Компьютер орналасқан бөлмелерде шағылысу коэффициентінің келесі шамаларын қамтамасыз ету қажет: төбеге: 60...70%, қабырғаға: 40...50%, еденге: 30% жуық. Басқа беттер мен жұмыс жиһаздары үшін: 30 ... 40%.

### **6.3 Жарықтандыру**

Дұрыс жобаланған және орындалған өндірістік жарықтандыру көру жұмысының жағдайын жақсартады, шаршағандықты төмендетеді, еңбек өнімділігін арттыруға ықпал етеді, жұмысшыға оң психологиялық әсер

көрсете отырып, өндірістік ортаға жағымды әсер етеді, еңбек қауіпсіздігін арттырады және жарақаттануды төмендетеді.

Жарықтандырудың жеткіліксіздігі көрудің нашарлауына алып келеді, назар аударуды әлсіретеді, уақытынан бұрын шаршаудың туындауына алып келеді. Жарықтың шамадан тыс ашық болуы көздің тітіркенуін тудырады. Жұмыс орнында жарықтың дұрыс емес бағыты күрт көлеңкелер әсерінен жұмыс жасаушыға кедергі тигізеді. Осы себептердің барлығы жазатайым оқиғаларға немесе кәсіби ауруға тудыруы мүмкін, сол себепті жарықтың дұрыс есебі маңызды.

Жарықтандырудың үш түрі бар-табиғи, жасанды және құрамдастырылған (табиғи және жасанды бірге)

Табиғи жарықтандыру - үй-жайлардың сыртқы қоршау конструкцияларындағы жарық ойықтары (терезелер) арқылы өтетін күндізгі жарықпен үй-жайларды жарықтандыру. Табиғи жарықтандыру күн уақытына, жыл уақытына, облыстың тұрпатына және басқа да бірқатар факторларға байланысты өзгереді.

Жасанды жарықтандыру тәуліктің қараңғы уақытында және табиғи жарықтандыру коэффициентінің нормаланған мәнін қамтамасыз ету мүмкін болмаған күні (бұлтты ауа райы, қысқа жарық күні) жұмыс уақытында қолданылады. Табиғи жарықтандыру нормалары бойынша жеткіліксіз болған жағдайда жасанды жарықтандырумен құрамдастырылған жарықтандыру деп аталады.

Жұмыс орнының жарықтандыру нормалары 6.1-кестеде көрсетілген.

Кесте 6.1 Жұмыс орындарындағы жарықтандыру деңгейі

Бақылау нүктесі	Жарықтандыру (табиғи, жасанды), люкс	Жарықтандыру КЕО, %	Жарықтандыру құрамдастырылған, люкс
Үстел, пернетақта	400	1,5	500
Экран	300		300

Орташа дәлдіктегі жұмыстарды орындау кезінде жұмыс орнындағы құрамдастырылған жарықтандыру кемінде 500 люкс, аз дәлдіктегі және өрескел жұмыстарды орындау кезінде кемінде 200 люкс болуы тиіс (ҚР Үкіметінің 17 қаңтар 2012 жылы № 93 қаулысымен бекітілген Өндірістік мақсаттағы ғимараттар мен құрылыстарға қойылған санитариялық-эпидемиологиялық талаптардың 48, 49-тармақтары).

Дисплейлері бар жұмыс үй-жайларының жарықтандырылуы 300-500 люкс шегінде ұсынылады. Дисплеймен жұмыс істеушінің көру өрісінде терезелер мен жарық беретін құралдар болмауы тиіс. Шамдар

шашыратқыштармен болуы тиіс, экранда жарық көзінен шағылысу қорғаныс экрандарын орнатумен алынады. Жарық жарығының жарықтығы құжаттармен жұмыс бетінің жарығынан кем болмауы тиіс, өйткені көру өрісін ауыстырған кезде (құжаттан экранға және керісінше) жарықтың күрт өзгеруі ең аз болуы тиіс. Дербес компьютерлері бар үй-жайлардағы терезе ойықтары реттелетін жарықтан қорғау құрылғыларымен (жалюздер, шымылдықтар, сыртқы күнқағарлар және т.б.) жабдықталуы тиіс.

Дербес компьютерлерді пайдалану үшін үй-жайлардағы жарықтандырудың нормаланатын мәндерін қамтамасыз ету үшін жанып кеткен шамдарды уақтылы ауыстыру жүргізіледі. Терезе жақтаулары мен шамдардың әйнектерін тазалау жылына кемінде екі рет жүзеге асырылады.

Дербес компьютерде жұмыс істеу үшін арнайы талаптар орнатылған. Мысалы, сұйық кристалды немесе плазмалық монитормы бар компьютерді пайдаланушының бір жұмыс орнының ауданы кемінде 4,5 шаршы метр, электронды-сәулелі түтік базасындағы экраны бар – кемінде 6 шаршы метрді қамтуы керек.

Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2011 жылдың 1 желтоқсанында бекітілген "Санитариялық-эпидемиологиялық талаптарға сәйкес көздерімен жұмыс істеу жағдайларына қойылатын физикалық факторлар (компьютерлер мен видеотерминалы) адамға әсер ететін" (бұдан әрі – санитариялық-эпидемиологиялық талаптар № 1430) қаулысына сәйкес экран видеомониторының алфавиттік-сандық белгілердің және символдардың өлшемдерін ескере отырып қолданушының көзінен 600-700 мм қашықтықта, бірақ 500 мм жақын емес қашықтықта болуы керек. № 1430 санитарлық-эпидемиологиялық талаптардың 19-тармағына сәйкес бейнетерминалдармен және дербес компьютерлермен тоқтамай жұмыс жасау ұзақтығы екі сағаттан аспауы қажет.

## **6.4 Жарықтандыруды есептеу**

Ұзындығы 8 м, ені 5м, биіктігі 3м жұмыс орнының жарықтандырылуын есептеу жарықтандыру жүйесін таңдауға, шамдардың қажетті санын, олардың түрін және орналасуын анықтауға негізделеді. Осыған байланысты жасанды жарықтандыру параметрлерін есептейміз.

Әдетте жасанды жарықтандыру екі түрлі жарық көздері арқылы орындалады: қыздыру шамдары және люминесцентті шам. Қыздыру шамдарымен салыстырғанда бірқатар маңызды көрсеткіштері бар люминесцентті шамдарды пайдаланамыз :

- жарықтың спектрлік құрамы негізінен олар күндізгі, табиғи жарыққа жақын;
- жоғары ПӘК бар (қыздыру шамдарының пайдалы әрекет коэффициенттерінен 1,5-2 есе жоғары);
- жоғары жарық шығарушы (қыздыру шамдарына қарағанда 3-4 есе жоғары);

– ұзақ қызмет ету мерзімі.

Жарықтандыруды есептеу ауданы  $40\text{ м}^2$  бөлме үшін жүргізіледі, ұзындығы 8м, ені 5м, биіктігі 3 м. Жарық ағыны әдісін қолданамыз.

Шамдардың санын анықтау үшін мына формула бойынша жер бетіне түсетін жарық ағынын анықтаймыз:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n}, \quad (6.1)$$

мұндағы,  $F$  – есептеп алынатын жарық ағыны, Лм;

$E$  – нормаланған минималды жарықтандыру шамасы.

Осы мәліметтерге сүйеніп манипулятор аспабының құрастырушының жұмысын дәл жұмыс дәрежесіне жатқызуға болады, демек, ең аз жарықтандыру шамасы  $E = 300$  Лк болады;

$S$  жарық жүргізілетін үй-жайдың ауданы (біздің жағдайда  $S = 40\text{ м}^2$ ).  $Z$  орташа жарықтанудың ең аз шамаға қатынасы (әдетте 1,1...1,2 тең қабылданады,  $z = 1,1$  болсын).

$n$  мәнін әр түрлі шамдарды қолдану коэффициенттерінің мәліметтері бойынша анықтаймыз. Ол үшін зертханалық бөлменің индексі мына теңдеу бойынша есептейміз:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (6.2)$$

мұндағы,  $S$  – үй-жайдың ауданы,  $S = 40\text{ м}^2$ ;

$h$  – аспаның есептік биіктігі,  $h = 3\text{ м}$ ;

$A$  – үй-жайдың ені,  $A = 5\text{ м}$ ;

$B$  – бөлменің ұзындығы,  $B = 8\text{ м}$ .

Мәндерді қойып:

$$I = \frac{40}{3 \cdot (5 + 8)} = 0,99.$$

Үй-жайдың индексі  $I$  біле бойынша  $n = 0,34$  тең.

$F$  жарық ағынын анықтау үшін формулаға барлық мәндерді қоямыз:

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 1,1}{0,34} = 50956\text{ Лм}.$$

Жарықтандыру үшін ЛБ40-1 типті люминесцентті шамдарды аламыз, жарық ағыны  $F = 4320$  Лк.

Орнатылатын шамдардың саны келесі теңдеу бойынша есептейміз:

$$N = \frac{F}{F_l}, \quad (6.3)$$

мұндағы,  $N$  – шамдардың анықталатын саны;

$F$  – жарық ағыны,  $F = 50956$  Лм;

$F_l$  – шамның жарық ағыны,  $F_l = 4320$  Лм.

$$N = \frac{50956}{4320} = 12шт.$$

Жарықтандыру құрал-жабдықтарын таңдау кезінде ОД типті шамдарды пайдаланамыз. Әрбір шам екі қос лампадан жабдыкталатын болады.

## **Қорытынды**

Бұл дипломдық жобада кш еркіндік дәрежелі манипулятор зерттелді. Оның динамикасы мен сенімділігінің есептеулері қолданылып, манипулятор моделі құрастырылды. Жасау барысында кадамды қозғалтқыш пен серво қозғалтқыш артықшылықтары салыстырылды. Жасалынған манипулятордың физикалық мүмкіншіліктері эксперименттеліп тексерілді. Осы манипулятор өзінің универсалдығын көрсетті, яғни оның атқарушы механизмін ауыстыру арқылы әртүрлі қызметті атқара алады.

Экономикалық есептеулер бұл жобаның 2,2 жылда ақталып шығады, сол арқылы ол өзінің тиімділігін көрсетті. Жобаның жасалуына кететін материалдарға, қондырғыларға кететін шығындар есептеліп шығарылды.

Тіршілік қауіпсіздігі бөлімінде жалпы еңбек шарттары анализі және жоба жүзеге асатын зертханадағы жасанды жарықтандыру қарастырылды. Жарықтандыру адам көзіне зиян келтірмейтін, мемлекеттік стандарт бойынша есептеліп шығарылды.

Қорыта айтқанда, бұл манипулятордың басқаларына қарағанда артықшылығы өзінің универсалдығы және ұзақ уақыт жұмыс жасауға төзімділігі болып табылады.

## Әдебиеттер тізімі

- 1 Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе.- М.: Энергия, 1977. – 432б.
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560б.
- 3 Чиликин М.Г., Соколов М.М., Терехов В.М., Шинянский А.В. Основы автоматизированного электропривода. - М.: Энергия. 1974. – 568б.
- 4 Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. — М.: Энергия, 1979. — 616 с.
- 5 Чиликин М.Г., «Общий курс электропривода».М: Энергоиздат 1981 Методические указания по курсовому проектированию дисциплины Автоматизированный электропривод».
- 6 Бабошкин Г.И., г.Новомосковск Яуре А.С., Пезнер Е.М. «Крановой электро-привод»
- 7 Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: МЭИ, 1971. - 224 б.
- 8 Сандлер А. С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. - М.: Высш. школа, 1972. - 440 б.
- 9 Быков В. П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. - М.: Высш. школа, 1977. - 391 б.
- 10 Соколов М. М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. - М.: Энергия, 1976. - 488 б.
- 11 Сагитов П.И. Автоматизированный электропривод типовых промышленных механизмов. - Алматы: АИЭС, 2006. – 95б.
- 12 Базилов Қ.Б., Алимбаева С.А., Нурмаганбетова С.С. 5В71900 Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша бітіруші жұмысының экономикалық бөлімі үшін әдістемелік нұсқаулар. – Алматы: АЭЖБУ, 2009.
- 13 Баклошов Н.И. Охрана труда на педприятиях связи и охрана окружающей среды: Оқу құралы/ Москва: Радио и связь, 1989.
- 14 [https://pikabu.ru/story/protsess\\_sozdaniya\\_robota\\_manipulyatora](https://pikabu.ru/story/protsess_sozdaniya_robota_manipulyatora).
- 15 <http://arduino-diy.com/arduino-robot-manipulyator>.
- 16 <https://habr.com/ru/post/387875/>.
- 17 <https://lesson.iarduino.ru/page/sborka-robota-manipulyatora>.
- 18 Дюсебаев М.К., Хакимжанов Т.Е., Бегимбетова А.С.5В70400 Есептеу техникасы және бағдарламалық қамтамасыз ету, 5В71900Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандықтары бойынша барлық оқу түрінің студенттері үшін диплом жұмысына арналған әдістемелік нұсқау – Алматы: АЭЖБУ, 2009. 9 б.