

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

6B07103 - Автоматтандыру және роботтандыру

Бектегенова Әсемгүл Мақсатқызы

«Үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың, жалпыланған координаттар өзгеру  
аралықтарына байланысты жұмыс кеңістігін логика функцияларын қолданып математикалық  
жазуын өндеу»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B07103-Автоматтандыру және роботтандыру

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**  
Автоматтандыру және басқару  
кафедрасының меңгерушісі,  
физика-математика ғылымдарының  
кандидаты



Алдияров Н.У.  
«\_\_\_» 2023 ж.

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың, жалпыланған координаттар өзгеру аралықтарына байланысты жұмыс кеңістігін логика функцияларын қолданып математикалық жазуын өндеу»


6B07103 - «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығы


Орындаған:

Бектегенова Әсемгүл Мақсатқызы

Рецензент:  
Ғ.Даукеев атындағы АЭЖБ  
университетінің доценті,  
PhD доктор

Ғылыми жетекші:  
техника ғылымдарының кандидаты,  
қауымдастырылған  
профессор

 Бәзіл Г.Д.  
« 02 » 06 2023 ж

 Бейсембаев А.А.  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 ж.

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

6B07103 - «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығы



**Дипломдық жұмысты орындауға арналған  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Бектегенова Әсемгүл Максатқызы

Жобаның тақырыбы: «Үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың, жалпыланған координаттар өзгеру аралықтарына байланысты жұмыс кеңістігін логика функцияларын қолданып математикалық жазуын өндеу»

Университет проректоры Б.А. Жаутиковтың «23» қараша 2022ж. № «408-П/Ө» бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «06» маусым 2023 ж.

Дипломдық жобада әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

а) кіріспе;

б) технологиялық бөлім, арнайы бөлім.

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):  
функционалдық сұлба, құрылымдық сұлба.



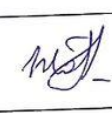
Жұмыс презентациясы \_\_\_\_\_ слайдтарда көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер \_\_16\_\_ атаулардан тұрады.


Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, зерттеп дайындалатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Технологиялық бөлім	15.02.23 - 03.03.23	
Арнайы бөлім	13.03.23 - 14.04.23	

Аяқталған дипломдық жоба үшін, оған қатысты бөлімдердің жобасын көрсетумен, кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Технологиялық бөлім	Бейсембаев А.А., техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор		
Арнайы бөлім	Бейсембаев А.А., техника ғылымдарының кандидаты қауымдастырылған профессор		
Норма бақылаушы	Жанабаева Э.Ж., техника ғылымдарының магистрі, ассистент	29.05.23	

Ғылыми жетекшісі  Бейсембаев А.А.

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы  Бектегенова Ә.М.

Күні « 06 » маусым 2023 ж.

## АҢДАТПА

Аталған дипломдық жобаның басты мақсаты болып, үш айналу қимыл дәрежесі бар манипулятордың қозғалуын MatLab кітапханасын қолданып визуалды модельдеу және есептеу. Бұл дипломдық жұмыста манипуляторлы роботтын жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептеу . Координаттар арқылы цилиндр,тор мэндерін бере отырып логикалық айнымалыларды беріп,Матлаб жүйесінде қарастыру. Нәтижесінде ол роботтын қозғалыс дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмыс тақырыбы бойынша координаттар арқылы әр түрлі мән бере отырып жұмыс кеңістігін есептеу.

## АННОТАЦИЯ

Основной целью данной работы является визуальное моделирование и расчет движения манипулятора с тремя степенями вращательного движения с использованием библиотеки MatLab. Для решения этой задачи было рассмотрено математическое написание упомянутого робота. В результате он позволяет роботу повысить точность движений. В этой дипломной работе робот-манипулятор использует обобщенные координаты для математического вычисления рабочего пространства с помощью логических функций путем изменения .

Расчет рабочего пространства с присвоением различных значений по координатам по теме дипломной работы.

## ANNOTATION

The main purpose of this work is visual modeling and calculation of the movement of a manipulator with three degrees of rotational motion using the MatLab library, SimMultibody. To solve this problem, the mathematical writing of the mentioned robot was considered. As a result, it allows the robot to increase the accuracy of movements. In this thesis, the robot manipulator uses generalized coordinates to mathematically calculate the workspace using logical functions by changing .

Calculation of the workspace with assignment of various values by coordinates on the topic of the thesis.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Технологиялық бөлім	8
1.1 Роботтардың қолданылуы, жіктелуі және техникалық сипаттамалары	8
1.2 Роботтарды қолдану салалары	10
1.3 Манипуляциялық жүйелердің құрылымы туралы түсінік	12
1.4 Координаттар жүйесі бойынша қозғалғыштың тасымалданатын дәрежелерін жіктеу	13
2 Арнайы бөлім	15
2.1 Манипуляциялық роботтардың жұмыс кеңістігін сипаттау әдістемесі	15
2.2 Үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттардың шекаралық мәндеріне тәуелділігін зерттеу	24
2.3 Айналу түріндегі үш буыны бар манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігінің сипаттамасы	30
2.4 Манипуляциялық роботтың параметрлерінің өзгеру шектері өзгерген кезде жұмыс кеңістігінің сипаттамасы	39
2.5 Үш дәрежелі манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігін модельдеу	30
3 Тордың математикалық сұлулығы	40
3.1 Тор теориясының негізі	40
3.2 Тор туралы кейбір координаталарды жалпылау	40
3.3 Параметрлік Тор теңдеуі	42
Қорытынды	45
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	46
А қосымшасы	47
Б қосымшасы	49
В қосымшасы	52
Г қосымшасы	53

## КІРІСПЕ

Жобаның мақсаты. Үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептеу. Сонымен қатар бірнеше координаталар бере отырып, Matlab жүйесінде модельдеп, өзгерістерін қарау. Нәтижесінде роботтың қозғалыс дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Тақырыптың өзектілігі. Роботтық манипулятор адам қолының жұмысын атқаруға арналған техникалық құрылғы. Манипулятордың механизмі бірнеше қозғалыс дәрежесінен, тұйықталмаған кинематикалық тізбектен, иінді механизмнен құралады. Манипулятор қолмен және автоматты басқарылатын болып екі түрге бөлінеді. Қолмен басқарылатын манипуляторлардың буындары қосымша механизмдер арқылы адамның көмегін қажет етеді. Автоматты түрде басқарылатын манипуляторлар буындарына алдын ала жасалынған қозғалыс программалары бойынша жұмыс атқаратын жетектерден беріледі. Автоматты түрде басқарылатын манипуляторды робот деп атайды.

Жоба тапсырмасы мен міндеті. Бұл зерттеудің бірінші және негізгі міндеті – үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептеу.

Жоба жоспары. Бірінші бөлімде, манипуляторлы роботтардың қолданылуы, техникалық салалары, өнеркәсіпте пайдаланылуы және манипуляциялық жүйе құрылымы айтылды. Манипуляциялық роботтың қандай жерлерде қолдану аясы жазылды. Қимыл жасау кезінде олардың екі тәсілі қарастырылады. Сонымен қатар, роботтың координаттар жүйесінде бірнеше түрлері бар екенін қарастырылды. Яғни, цилиндрлік, сфералық координаттар жүйесі жазылды.

Екінші бөлімде, үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептелуі қарастырылды. Ең алдымен манипуляциялық роботқа координаттар жүйесінде белгеле бір параметр беру арқылы график құрылды. Одан кейін логикалық функциялар беру арқылы тиіс және тиіс емес амалдар қарастырылды. Matlab жүйесінде алынған логикалық функцияларды енгізе отырып, графикті модельдеу. Соңында, жасаған математикалық моделіміз Matlab жүйесімен сәйкес келгенін көре аламыз.

Үшінші бөлімде, үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жұмыс кеңістігі ретінде тор теориясын алдым. Тор теориясының негіздемесін, кеңістік желісін және сонымен қатар параметр есептелуі жазылған.

# 1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ

## 1.1 Роботтардың қолданылуы, жіктелуі және техникалық сипаттамалары

Роботтар және олардың негізінде жасалған робототехникалық жүйелер өте күрделі құрылғылар болып табылады. Робототехникалық жүйелерге енгізілген роботтар мен олар қызмет көрсететін жабдықтар бір-бірімен әртүрлі байланыстарға ие: ақпараттық, кинематикалық, бағдарламалық жасақтама және басқалар.

Өнеркәсіптік робототехниканың қарқынды дамуы өткен ғасырдың ортасынан басталды, олардың біріншісі адамды монотонды, монотонды автомобильдер шығаратын конвейерлік операциялардан босату үшін қолданыла бастады. Қазіргі уақытта жұмыс, оның ішінде өнеркәсіптік жұмыстар адам қызметінің өте кең салаларында қолданылады: Бұйымдарды құрастыру бойынша қарапайым операцияларды орындаудан бастап дәлдігі жоғары бөлшектерді дайындауға дейін; өндірістік үй-жайлардағы жабдыққа қызмет көрсетуден бастап, адамның қатысуы қажет емес немесе қолайсыз төтенше жағдайларда жұмыс істеуге дейін.

Манипулятордың сілтемелерінің бірі тұрақты және қозғалыссыз, ал басқалары жетектердің әсерінен басқарылатын қозғалыстар жасай алады. Робот манипуляторлары бесінші класты бір қозғалмалы айналмалы немесе трансляциялық кинематикалық жұптарды пайдаланады.

Робот манипуляторларында бесінші класты бір қозғалмалы кинематикалық жұптардың таралуы мұндай жұптар оларды құрайтын кинематикалық байланыстардың бір координатада бір-біріне қатысты қозғалысын қамтамасыз ететіндігімен түсіндіріледі, сондықтан бір сілтемені екіншісіне қатысты жылжыту үшін бір жетек қажет.

Жетектердің манипулятор буындарына күштік әсері роботты басқару жүйесінен келетін басқару сигналдарына сәйкес жүзеге асырылады, олар өз кезегінде ұстап алу қозғалысының қажетті (берілген) заңдары бойынша, сондайақ роботтың жай-күйі мен қоршаған технологиялық ортаны ескере отырып қалыптасады. Осылайша, Робот жетектерінің әсерінен манипулятордың сілтемелері және оны ұстап алу кеңістікте белгілі бір қозғалыстар жасайды.

Роботтар үшін қозғалыс тапсырмаларының екі түрі тәсілі бар:

1) Берілген уақыт кезеңінде бір нүктеден екінші нүктеге жылжупозициялық басқару. Бұл жағдайда бастапқы, аралық және соңғы нүктелердің координаттары беріледі (сурет. 1.2). Жиырылу қозғалысының траекториясы және оның нүктелер арасындағы қозғалыс жылдамдығы реттелмейді. Мұндай нүктелердің саны шексіз көп болуы мүмкін екені түсінікті.

Маңызды мәселе - әр нүктеде ұстау тоқтауы керек. Сонымен, роботтың қозғалысын зерттеу кезінде көрші нүктелердің әрбір жұбын шартты түрде бастапқы және соңғы деп санауға болады. Позициялық басқарудың ерекше жағдайы-бұл циклдік басқару, мұнда ұстау екі нүкте арасында қозғалыс жасауы



керек. Позициялық және циклдік басқарудың мысалы ретінде дайындаманың сақтау орнынан машинаның арматурасына және кері қарай қозғалу болуы мүмкін.

2) Түсіруді берілген траектория бойынша жылжыту және осы траектория бойынша уақыт бойынша берілген қозғалыс заңы – контурлық басқару. Бұл жағдайда жиырылу қозғалысының заңы уақыт бойынша беріледі, яғни жиырылу қозғалысының Заңы  $x$ ,  $y$ ,  $z$  координаттары бойынша келесідей беріледі:  $x = x(t)$ ;  $y = y(t)$ ;  $z = z(t)$ , сондай-ақ уақыт функциясында траектория бойынша қозғалу кезінде жиырылу бағыты. Кеңістіктегі жиырылу бағыты Эйлер бұрыштарын қолдану арқылы берілуі мүмкін:  $\gamma = \gamma(t)$ ,  $\theta = \theta(t)$ ,  $\varphi = \varphi(t)$  немесе бағыттаушы косинустарды (инерциялық координаталар жүйесінің координаталық осьтері мен жиырылу координаталық осьтері арасындағы бұрыштарды пайдалану)

## 1.2 Өнеркәсіптік роботтардың қолдану салалары

Қазіргі уақытта робототехникалық жүйелер Машина жасауда, өндіріс құралдарын өндіретін өнеркәсіпте, сондай-ақ жеңіл және тамақ өнеркәсібінде кеңінен қолданылады.

Сонымен қатар, Жүйелік талдау деректері негізінде роботтандыруды қажет ететін басқа салалардың тізімі ұсынылуы мүмкін.

- 1) Жүктерді тасымалдау және қойма шаруашылығы;
- 2) Орман шаруашылығы;
- 3) Тау-кен дело, пайдалы қазбаларды өндіру, қазу;
- 4) Инженерлік-құрылыс және құрылыс-монтаж жұмыстары;
- 5) Жол құрылысы және үйінді инженерлік құрылыстардың (бөгеттер, бөгеттер) құрылысы.

Технологиялық операцияларды роботтандыру құрылыстағы технологиялық процестерді автоматтандырудың маңызды бағыты болып табылады. Құрылыс жұмыстарын роботтандыру алдында технологиялық операциялар мен процестерді мұқият талдау жүргізіледі. Талдау пәні техникалық, ұйымдастырушылық, Әлеуметтік және экономикалық факторлар болып табылады.

Ең алдымен, зерттеу барысында құрылыс процестерін механикаландыру және автоматтандыру деңгейі және операциялардың күрделілік деңгейі бағаланады. Операциялық талдау нәтижелері роботтандырылған процестің күрделілік деңгейін және робототехника құралдарын пайдаланудың техникалық орындылығын алдын ала анықтауға мүмкіндік береді.

Технологиялық жабдықтау құралдарын талдау пайдаланылатын технологиялық жабдықтың роботтандыру құралдарымен бірлесіп жұмыс істеу мүмкіндігін бағалауға немесе оны ауыстыру қажеттілігі туралы шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Роботтандырудың орындылығын бағалау процесінде технологиялық жабдықтар мен енгізілетін робототехника құралдарын барынша жүктеу мүмкіндіктері, объектінің шегінде және басқа объектіге

агрегатты жылжытуға кететін уақыт шығындары, сондай-ақ жабдықты монтаждау мен баптауға кететін уақыт шығындары ескеріледі.

Робототехника құралдарын бағдарламалау, пайдалану және техникалық қызмет көрсету арнайы біліктілікті талап етеді. Сондықтан роботтандырылған құрылыс процестерін талдау кезеңінде кадрлардың құрылымы мен олардың біліктілік деңгейі мәселелерін қарастыру қажет.

Жекелеген құрылыс процестерін роботтандырудың экономикалық орындылығын бағалау шығындарды талдау және олардың өтелуін есептеу негізінде жүзеге асырылады. Бұл ретте енгізілетін робототехника құралдарының басқа технологиялық жабдықтармен үйлесімділігін ескеру қажет. Роботтандыру объектілері экономикалық немесе басқа, мысалы, әлеуметтік әсерді қамтамасыз етсе, таңдалған болып саналады. Роботтандырудың орындылығы туралы түпкілікті шешімді сараптамалық бағалаулар мен мамандардың осы операцияларды немесе процестерді роботтандыру техникалық және экономикалық тұрғыдан мүмкін екендігі туралы қорытындысы негізінде қабылдаған дұрыс.

Роботтық технологиялық процесті әзірлеу кезінде қолданыстағы технологиялық процестің операцияларын орындаудың барлық ерекшеліктері мен әдістері талданады және ең жоғары өнімділік пен ең жақсы сапаны қамтамасыз ететіндерді таңдайды.

Қазіргі робототехника механика мен кибернетика синтезі негізінде пайда болды және олардың дамуының жаңа бағытына серпін берді. Механика үшін бұл манипулятор түріндегі көп буынды механизмдермен, ал кибернетика үшін жасанды интеллектпен соңғы буын роботтары талап ететін интеллектуалды басқарумен байланысты болды.

Осылайша, робототехниканың міндеті-роботтар мен оларды қолдануға негізделген әртүрлі мақсаттағы робототехникалық жүйелерді құру және қолдану мақсатында механика мен кибернетиканы дамыту және синтездеу.

### **1.3 Манипуляциялық жүйелердің құрылымы туралы түсінік**

Манипулятор-бұл кинематикалық сілтемелер деп аталатын денелердің сериялық, параллель немесе сериялық-параллель қосылуынан пайда болатын және кіріс сілтемелерінің қозғалысын қажетті (берілген) ұстау қозғалысына айналдыруға арналған кинематикалық тізбек.

Бұл жағдайда кинематикалық сілтемелер кинематикалық жұптардың көмегімен бір-бірімен жылжымалы түрде қосылады.

Манипуляторды құрайтын кинематикалық тізбектің екі терминалды буыны бар: олардың бірі негіз – тірек болады (оған нөлдік нөмір беріледі), ал екінші терминалдық сілтеме ұстағышпен жабдықталған. Бұл соңғы сілтемеге манипулятордың жылжымалы сілтемелерінің саны сілтемелер тізбектей қосылған кезде тең болатын соңғы n-ші нөмір беріледі.

Біз қазірдің өзінде қолданылған терминдерге анықтама береміз.

Кинематикалық буын-бұл механизмнің құрамына кіретін, бұл жағдайда манипулятордың құрамына кіретін бір-бірімен тығыз байланысты денелер жиынтығы.

Кинематикалық жұп - екі кинематикалық байланыстың қозғалмалы байланысы, олардың бір-біріне қатысты белгілі бір қозғалысына мүмкіндік береді.

Кіріс кинематикалық сілтеме-бұл тәуелсіз, берілген қозғалысты алатын сілтеме.

Кинематикалық тізбек-бұл кинематикалық жұптардың көмегімен бірбірімен қозғалмалы түрде байланысқан кинематикалық байланыстардың жиынтығы.

Егер кинематикалық тізбекте бір кинематикалық жұпқа енетін кинематикалық сілтемелер болса, онда мұндай тізбек ашық деп аталады, ал егер әрбір сілтеме кем дегенде екі кинематикалық жұпқа енсе, онда бұл жабық кинематикалық тізбек.

Манипулятор сілтемелерді тізбектей байланыстыратын ашық кинематикалық тізбек негізінде де құрылуы мүмкін (антропоморфты адам тәрізді Роботтар) және тізбекті параллель немесе параллель байланыстыратын жабық кинематикалық тізбек негізінде.

#### **1.4 Координаттар жүйесі бойынша қозғалғыштықтың тасымалданатын дәрежелерін жіктеу**

Роботтар механикалық манипуляторлар ретінде қызмет етеді. Олар манипулятордың соңында орналасқан жұмыс органының трансляциялық немесе бұрыштық қозғалысы бар бір, сирек екі қозғалғыштық дәрежесі бар кинематикалық жұптардан және көбінесе әрбір қозғалғыштық дәрежесі үшін бөлек жетектерден тұратын ашық кинематикалық тізбек.

Манипулятордың қозғалғыштығы портативті және бағдарлы болып бөлінеді. Қозғалғыштықтың тасымалданатын дәрежелері манипулятордың жұмыс аймағында манипуляция объектісін жылжытуға, ал бағдарлаушы дәрежелер оны бағдарлауға қызмет етеді.

Теориялық тұрғыдан алғанда, манипуляция объектісін толығымен бос жұмыс аймағының кез келген нүктесіне жылжыту үшін қозғалғыштықтың портативті дәрежелерінің ең аз саны үшке тең. Алайда, манипуляциялық мүмкіндіктерді кеңейту үшін және қажетті мандерді, манипулятордың кинематикалық және динамикалық параметрлерін қамтамасыз ету (қозғалыстың неғұрлым күрделі траекторияларын жүзеге асыру, мысалы, кедергілерді айналып өту, жылдамдықты арттыру және т. б.) манипуляторлар әдетте қозғалғыштықтың бірнеше артық портативті дәрежелерімен қамтамасыз етіледі, бұл, әрине, роботтың құнын едәуір қиындатады және арттырады.

Бағдарлау қозғалғыштығының ең қажетті саны үшке тең. Олар әдетте манипулятордың жұмыс органының бойлық және басқа екі өзара перпендикуляр

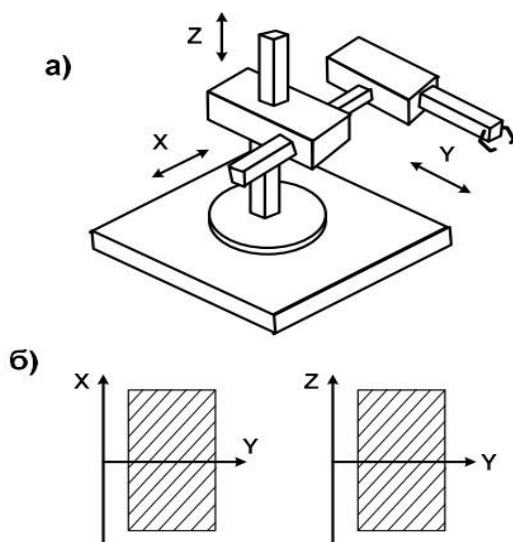
осьтерге қатысты айналуын қамтамасыз ететін бұрыштық қозғалысы бар кинематикалық жұптармен жүзеге асырылады.

Жоғарыда айтылғандай, электромеханикалық, гидравликалық және пневматикалық болуы мүмкін манипулятор жетектері әдетте манипулятордың буындарына тікелей орналастырылады немесе әртүрлі типтегі беріліс механизмдері арқылы қозғалысты тиісті буынға беру арқылы оның негізіне шығарылады.

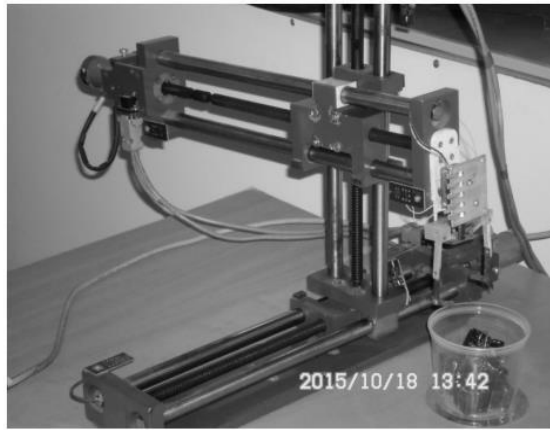
Дискілердің орналасуы көбінесе манипулятордың дизайнын анықтайды. Дискілерді тікелей манипулятор буындарына орналастыру кинематикалық байланыстарды едәуір жеңілдетеді, бұл дәлдікті арттыруға көмектеседі. Бұл орналасудың кемшілігі-манипулятордың жылжымалы бөлігінің массасын арттыру. Соңғысы оның жүк көтергіштігі мен динамикалық параметрлерінің төмендеуіне әкеледі. Осыған байланысты, әдетте, манипуляторлардың дизайнын оңтайландыра отырып, олар қозғалғыштықтың әртүрлі деңгейлері үшін дискілерді орналастырудың осы екі нұсқасының комбинациясына жүгінеді.

1.1-1.4 суретте әр түрлі координаттар жүйелерінде және олардың жұмыс аймақтарында қозғалғыштығының үш портативті дәрежесі бар манипуляторлардың конструкциялары көрсетілген.

Тікбұрышты координаттар жүйесінде жұмыс істейтін манипуляторлар, параллелепипед түрінде жұмыс аймағы бар. Мұнда тек трансляциялық қозғалыстар жүзеге асырылады, сондықтан мұндай координаттар жүйесі түзу сызықты қозғалыстарды орындау үшін ең ыңғайлы. Сонымен қатар, ол мүмкіндігінше жеңілдетеді бағдарламалау жұмыс, өйткені ол әдетте ол дәл тікбұрышты координаттар жүйесінде орындалады, сондықтан бұл жағдайда бағдарламаларды бір координаттар жүйесінен екіншісіне қайта есептеу қажет.

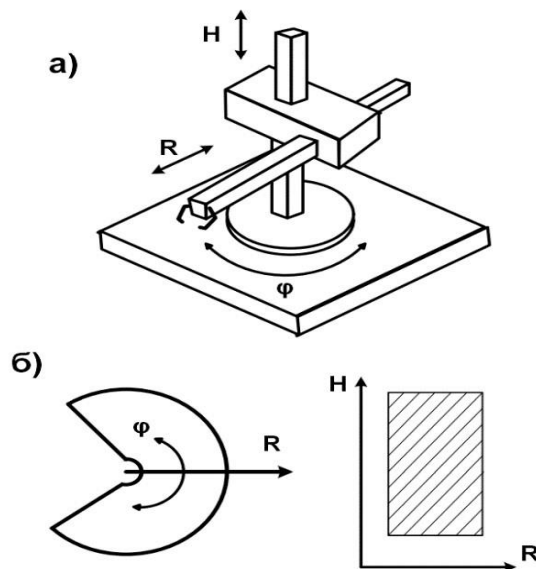


1.1 - сурет – Тікбұрышты координаттар жүйесі бар манипулятор



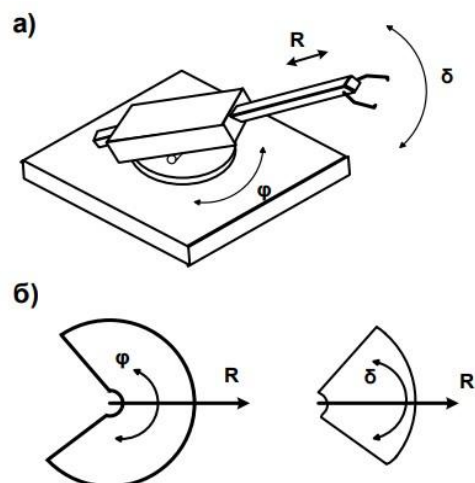
1.2 - сурет – Тікбұрышты координаттар жүйесі бар манипулятор

Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін манипуляторларда үдемелі орын ауыстырулармен қатар бір бұрыштық орын ауыстыру (шеңбер бойынша) жүргізіледі. Тиісінше, жұмыс аймағы цилиндр тәрізді.



1.3 - сурет – Цилиндрлік координаттар жүйесі бар манипулятор

Сфералық координаттар жүйесі жағдайында (сурет.1.4) қазірдің өзінде екі бұрыштық қозғалыс жүзеге асырылады және жұмыс аймағы формашарға тән. Мұндай координаттар жүйесімен жұмыс істеу, әдетте, цилиндрлік жүйеге қарағанда күрделі, бірақаттам.



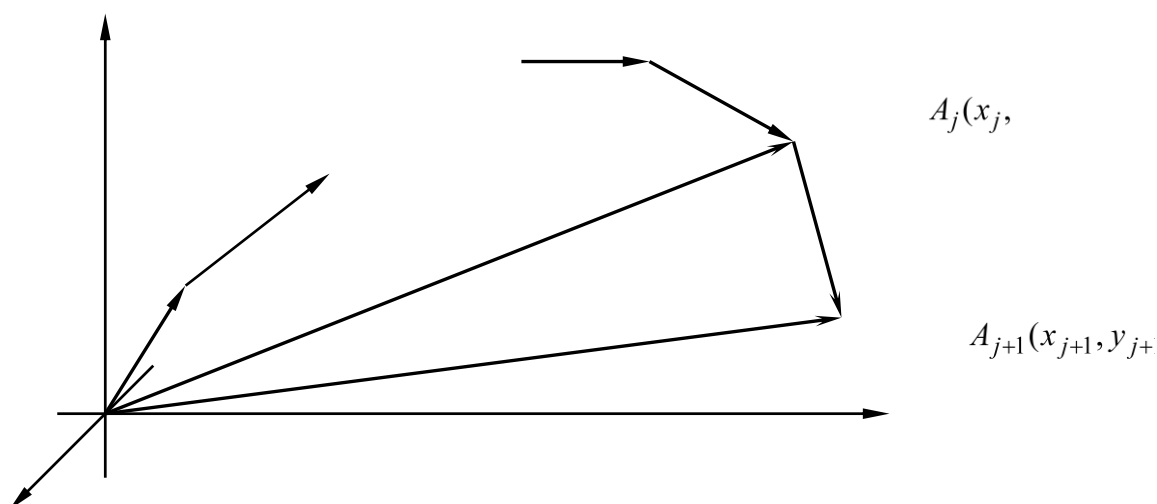
1.4 - сурет – Сфералық координаттар жүйесі бар манипулятор

Жоғарыда келтірілген манипуляторларда қозғалғыштықтың тек үш портативті дәрежесі бар. Дегенмен, нақты роботтардың манипуляторлары көп жағдайда сілтемелердің көп санын қамтиды және сәйкесінше ұтқырлық дәрежесінің артықтығына ие.

## 2 АРНАЙЫ БӨЛІМ

### 2.1 Манипуляциялық роботтардың жұмыс кеңістігін сипаттау әдістемесі

Манипуляциялық роботты қарастырайық, ол ашық кинематикалық тізбек, қозғалғыштығының  $n$  дәрежесі бар (2.1 – сурет).



2.1 - сурет – Қозғалғыштығының  $n$  дәрежесі бар манипуляциялық роботтың кинематикалық тізбегі.

$OXYZ$  кеңістігіндегі роботтың жұмыс органының орны  $A_j(x_j, y_j, z_j)$  және  $a_j$  векторымен анықталады:

$$a_j = \sum_{i=1}^n a_{i,j} \quad (2.1)$$

мұндағы  $a_{i,j}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), - жұмыс органын  $A_j(x_j, y_j, z_j)$  нүктесінде орналастыру кезінде кинематикалық тізбегінің  $i$  - буынының орнын анықтайтын вектор.

$n$ -роботтың ұтқырлық дәрежелерінің саны.

$a_{i,j}$  векторының басы  $i - 1$ -ші кинематикалық жұптың ортасында, ал соңы  $i$  - сол кинематикалық жұптың ортасында,  $l_i$  берілген ұзындықта болады. Жұмыс органын  $A_j(x_j, y_j, z_j)$  нүктелеріне  $A_{j+1}(x_{j+1}, y_{j+1}, z_{j+1})$  нүктесіне жылжыту үшін шартты қанағаттандыратын  $a_{i,j+1}$  векторларының жиынтығын табу керек:

$$\sum_{i=1}^n a_{i,j+1} = \sum_{i=1}^n (a_{i,j} + \Delta a_{i,j+1}) = a_j + a_{i,j+1} = a_{j+1} \quad (2.2)$$

мұндағы  $a_{j+1} - A_{j+1}(x_{j+1}, y_{j+1}, z_{j+1})$  нүктесіндегі жұмыс органының орнын анықтайтын вектор,  $a_{i,j+1} - a_{i,j}$  және  $a_{i,j}$  векторларының айырмашылығын білдіретін вектор.

$a_i$  параметрлерінің өзгеруін анықтайтын айнымалы шама-  $q_i$  жалпыланған координатының мәні.  $q_i$  мәніне түрдің конструктивті шектеулері қойылады:

$$q_i^H \leq q_i \leq q_i^B \quad (2.3)$$

мұндағы  $q_i^H$ ,  $q_i^B$  – манипуляциялық роботтың кинематикалық жұптарының дизайн ерекшеліктеріне байланысты  $i$  – сол жалпыланған координатаның төменгі және жоғарғы өзгеру шектері.

$q_i$  мәндерінің өзгеруі  $l_i$  векторының ұзындығының өзгеруін немесе оның OXYZ кеңістігіндегі бағытын анықтайды.

Әдетте манипуляциялық роботтарда 5 – ші класты кинематикалық жұптар қолданылады, оларды келесі логикалық өрнекпен көрсетуге болады:

$$p_i = \begin{cases} 0, & \text{егер кинематикалық жұп сызықтық қозғалыс болса} \\ 1, & \text{егер айналудың кинематикалық жұбы болса} \end{cases} \quad (2.4)$$

$a_i$  векторының параметрлерін оның ұзындығын  $l_i$ , охуз кеңістігіндегі бағдарды,  $q_i - q_i^H$ ,  $q_i^B$  параметрінің өзгеруінің төменгі және жоғарғы шектерін біле отырып,  $p_i$  кинематикалық жұбының түрін роботтың жұмыс кеңістігін графикалық түрде құруға болады.

Жалпы жағдайда жұмыс кеңістігін келесі логикалық өрнек ретінде ұсынуға болады :

$$L( D_k(x,y,z) \geq 0) = 1 \quad (2.5)$$

мұндағы  $D_k(x,y,z) > 0$ , ( $k=1,2,\dots,r$ ),  $k$  -жұмыс кеңістігінің шекарасын анықтайтын немесе жуықтайтын қарапайым теңсіздікпен сипатталатын қарапайым бетпен шектелген кеңістіктің еріген бөлігі,  $r$ -элементар беттердің саны.

Логикалық өрнекті (2.5) келесідей алуға болады:

1) роботтың жұмыс аймағының шекараларын сипаттайтын немесе жуықтайтын қарапайым беттер анықталады. Бұған роботтың жұмыс аймағын сипаттайтын өрнектерді логикалық қалыптастыруға арналған қосымша көмекші беттер де кіреді. Бұл беттерді элементар теңдеулермен немесе  $D_k(x,y,z) \geq 0$  түріндегі теңсіздіктермен анықтауға болады,

2) Жұмыс аймағының, шекаралық және қосалқы беттердің геометриялық бейнесі негізінде жұмыс аймағын логикалық сипаттайтын логикалық функция жасалады:

$$D_1 L D_2 L \dots L D_n = 1 \quad (2.6)$$

мұндағы  $n$ -роботтың жұмыс аймағына жуықтайтын беттер саны;

$L$ -логикалық операцияның белгісі (конъюнкция, дизъюнкция немесе теріске шығару).

$D_i, i=1,2,\dots,n$  -келесі өрнекпен анықталған логикалық айнымалы:



$$D_i = \begin{cases} 1, & \text{егер } D_i(x, y, z) \geq 0 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.7)$$

3) Алынған логикалық функция негізінде роботтың жұмыс аймағын сипаттайтын R – функциясы құрылады:

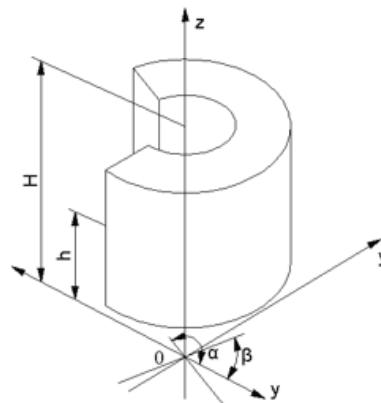
$$(D_1(x, y, z) \geq 0) L^r (D_2(x, y, z) \geq 0) L^r \dots L^r (D_n(x, y, z) \geq 0) = 1 \quad (2.8)$$

мұндағы  $L^r$  – конъюнкция;

R – дизъюнкция немесе R-терістеудің логикалық операциясының белгісі.

Осылайша, өте күрделі геометриялық объектілерді логикалық өрнектер түрінде сипаттауға болады, атап айтқанда роботтардың жұмыс кеңістігін сипаттауға болады.

Біз 3 дәрежелі қозғалғыштығы бар манипуляциялық роботтың мысалында роботтардың жұмыс аймақтарын сипаттайтын R функцияларын құру әдістемесін суреттейміз. Жұмыс аймағының бұл түрі көптеген өнеркәсіптік роботтарда кездеседі. Өнеркәсіптік роботтың жұмыс аймағы суретте көрсетілген цилиндрдің көрінісіне ие болсын.



2.2 - сурет – роботтың жұмыс аймағының көрінісі

Роботтардың жұмыс аймақтарын сипаттаудың жоғарыда аталған әдістемесіне сәйкес роботтың жұмыс аймағының шекарасын сипаттайтын қарапайым беттерді анықтау қажет.

$D_1$  – түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын R радиусының цилиндрімен шектелген кеңістік:

$$D_1 = \begin{cases} 1, & \text{егер } R^2 - x^2 - y^2 \geq 0 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.9)$$

$D_2$  – сыртқы бөлігі болып табылады кеңістік түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын R радиусының цилиндрімен шектелген:

$$D_2 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x^2 + y^2 - r^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.10)$$

$D_3$  – түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын  $Z=H$  жазықтығынан төмен кеңістік:

$$D_3 = \begin{cases} 1, \text{ егер } H - z \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.11)$$

$D_4$  – түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын  $Z=h$  жазықтығынан жоғары кеңістік:

$$D_4 = \begin{cases} 1, \text{ егер } z - h \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.12)$$

$D_5$  – түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын  $y=tg\alpha * x$  жазықтығының оң жағындағы кеңістік:

$$D_5 = \begin{cases} 1, \text{ егер } y - tg\alpha * x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.13)$$

$D_6$  –  $y=tg\beta * x$  жазықтығының сол жағындағы кеңістік түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_6 = \begin{cases} 1, \text{ егер } y - tg\beta * x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.14)$$

Берілген жұмыс аймағын сипаттайтын логикалық көрініс функциясы (2.13) келесі түрге ие болады:

$$(D_1 \wedge D_2) \wedge (D_3 \wedge D_4) \wedge (D_5 \wedge D_6) = 1 \quad (2.15)$$

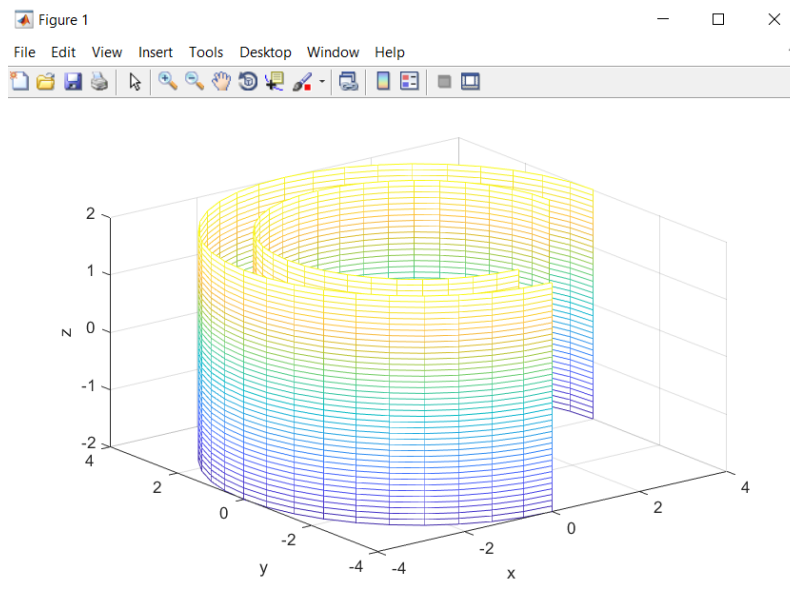
Алынған логикалық функция негізінде (2.15) біз қарастырылып отырған роботтың жұмыс аймағын келесі өрнек түрінде сипаттайтын  $R$  функциясын аламыз:

$$\begin{aligned} & ((R^2 - x^2 - y^2 \geq 0) \wedge_1 (x^2 + y^2 + r^2)) \wedge_1, \\ & ((H - z \geq 0) \wedge_1 (z - h)) \wedge_1 ((y - tg a * x \geq 0) \wedge_1, \\ & (y - tgb * x \geq 0)) = 1 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Жоғарыда айтылғандардан көрініп тұрғандай, кез-келген жұмыс кеңістігін өрнек түрінде сипаттауға болады.

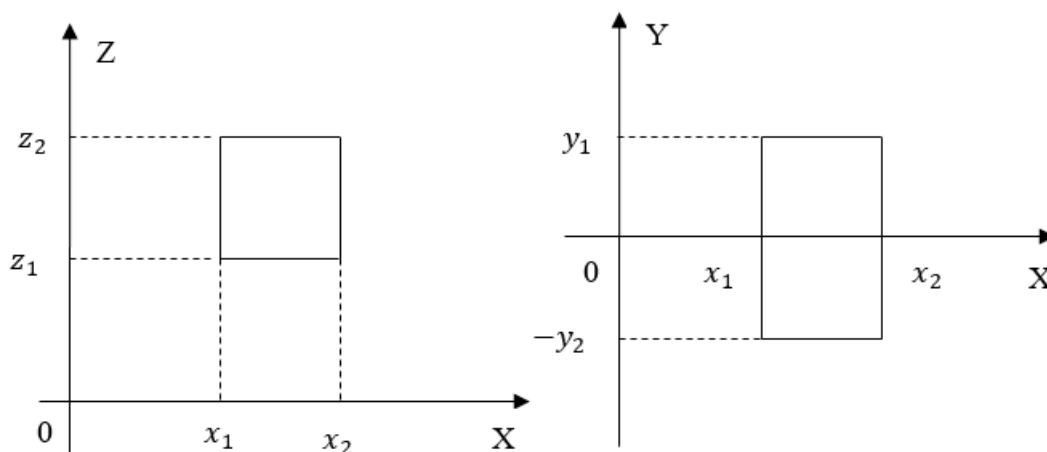
Біз MATLAB бағдарламалық өнімінде осы  $mr$  жұмыс кеңістігін модельдейміз.

Осы бағдарламаны құрастыру нәтижесінде келесі 2.3-суретті аламыз:



2.3-сурет-жұмыс кеңістігінің түрі

Манипулятордың жұмыс кеңістігін сипаттайық, металл ағынын қалыптарды буындары арасында тасымалдау үшін. Бұл манипулятордың кинематикалық құрылымы келесі түрге ие. Бұл манипулятордың жұмыс кеңістігі 2.4-суретте көрсетілген. Суреттен көрініп тұрғандай, жұмыс кеңістігі тікбұрышты параллелепипед болып табылады.



2.4 – сурет – манипулятордың жұмыс кеңістігінің проекциясы

Осы манипулятордың жұмыс кеңістігін сипаттау үшін келесі логикалық айнымалыларды қарастырайық.

$D_1$  – жазықтықтың астында орналасқан кеңістік  $z = z_2$  түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_1 = \begin{cases} 1, \text{ егер } z_2 - z \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.17)$$

$D_2$  – жазықтықтың үстінде орналасқан кеңістік  $z = z_1$  түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_2 = \begin{cases} 1, \text{ егер } z - z_1 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.18)$$

$D_3$  –  $x = x_2$  жазықтығының сол жағында орналасқан кеңістік түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_3 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x_2 - x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.19)$$

$D_4$  –  $x = x_1$  жазықтығының оң жағында орналасқан кеңістік түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_4 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x - x_1 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.20)$$

$D_5$  –  $y = y_1$  жазықтығынан төмен орналасқан кеңістік түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_5 = \begin{cases} 1, \text{ егер } y_1 - y \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.21)$$

$D_6$  –  $y = -y_2$  жазықтығынан жоғары орналасқан кеңістік түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_6 = \begin{cases} 1, \text{ егер } y + y_2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.22)$$

Манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық функция келесідей болады:

$$D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5 \cap D_6 = 1$$

Әрі қарай, магний балқымасының бетінен оксидті пленканы алу үшін манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігін сипаттау мәселесін қарастырыңыз (2.17-сурет). Бұл манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігі 4.5-суретте

көрсетілген цилиндрлік пішінге ие. Бұл суретте  $OXZ$  және  $OXU$  жазықтығындағы жұмыс кеңістігінің проекциялары көрсетілген.

Қарастырылып отырған манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігінің логикалық сипаттамасын қалыптастыру үшін келесі логикалық айнымалыларды енгіземіз.

$D_1$  – түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын радиус цилиндрімен шектелген кеңістік  $R_1 = l + \Delta$ :

$$D_1 = \begin{cases} 1, \text{ егер } R_1^2 - x^2 - y^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.23)$$

$D_2$  – радиус цилиндрімен шектелген кеңістіктің сыртқы бөлігі  $r_1 = l + \Delta - d$ , түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_2 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x^2 + y^2 - r_1^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.24)$$

$D_3$  – радиус цилиндрімен шектелген кеңістік  $R_2 = l$ , координаталардың басталуына қатысты  $OX$  осі бойынша  $x_1 = (\Delta + l - d)\text{Cos}\alpha_1$  және  $OY$  осі бойынша  $y_1 = (\Delta + l - d)\text{Sin}\alpha_1$  түрдің логикалық өрнегімен сипатталған:

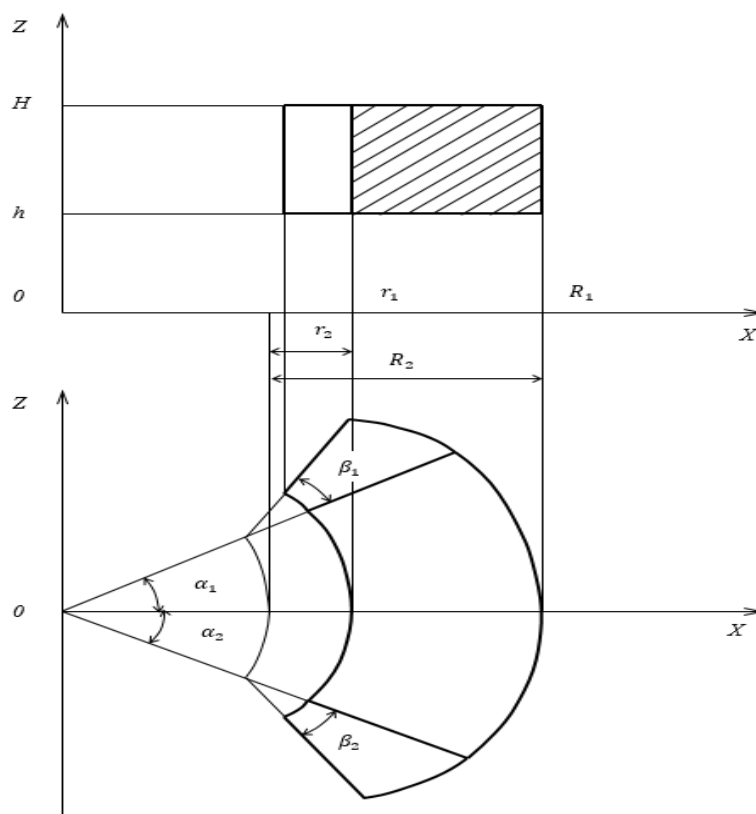
$$D_3 = \begin{cases} 1, \text{ егер } R_2^2 - (x - x_1)^2 - (y - y_1)^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.25)$$

$D_4$  – радиус цилиндрімен шектелген кеңістіктің сыртқы бөлігі  $r_1 = l - d$ , координаттардың басталуына қатысты  $OX$  осі бойынша  $x_1 = (\Delta + l - d)\text{Cos}\alpha_1$  және  $OY$  осі бойынша  $y_1 = (\Delta + l - d)\text{Sin}\alpha_1$  түрдің логикалық өрнегімен сипатталған:

$$D_4 = \begin{cases} 1, \text{ егер } (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 - r_1^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.26)$$

$D_5$  – радиус цилиндрімен шектелген кеңістік  $R_2 = l$ , координаталардың басталуына қатысты  $OX$  осі бойынша  $x_2 = (\Delta + l - d)\text{Cos}\alpha_2$  және  $OY$  осі бойынша  $y_2 = (\Delta + l - d)\text{Sin}\alpha_2$  түрдің логикалық өрнегімен сипатталған:

$$D_5 = \begin{cases} 1, \text{ егер } R_2^2 - (x - x_2)^2 - (y - y_2)^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.26)$$



2.5 - сурет – Манипуляциялық жұмыс кеңістігінің проекциялары

$D_6$  – радиус цилиндрімен шектелген кеңістіктің сыртқы бөлігі  $r_1 = l - d$ , координаттардың басталуына қатысты шамасы  $x_2 = (\Delta + l - d)\cos\alpha_2$   $OX$  осі бойынша және  $y_2 = (\Delta + l - d)\sin\alpha_2$   $OY$  осі бойынша, түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_6 = \begin{cases} 1, & \text{егер } (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 - r_1^2 \geq 0 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.27)$$

$D_7$  –  $z=H$  жазықтығынан төмен кеңістік, мұндағы  $H = p + h$  түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_7 = \begin{cases} 1, & \text{егер } H - z \geq 0 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.28)$$

$D_8$  – жазықтықтан жоғары кеңістік  $z=h$ , мұндағы  $h = p$ , түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_8 = \begin{cases} 1, & \text{егер } z - h \geq 0 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.29)$$

$D_9$  – түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын  $y = \operatorname{tg}\alpha_1 \cdot x$  жазықтығының оң жағындағы кеңістік:

$$D_9 = \begin{cases} 1, \text{ егер } y - tg\alpha_1 \cdot x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.30)$$

$D_{10}$  – түрдің логикалық өрнегімен сипатталатын  $y = -tg\alpha_2 \cdot x$ , жазықтығының сол жағындағы кеңістік:

$$D_{10} = \begin{cases} 1, \text{ егер } y + tg\alpha_2 \cdot x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.31)$$

$D_{11}$  – жазықтықтың оң жағындағы кеңістік  $y = tg(\alpha_1 + \beta_1) \cdot (x - x_1) + y_1$ , түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_{11} = \begin{cases} 1, \text{ егер } y - tg(\alpha_1 + \beta_1) \cdot (x - x_1) - y_1 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.32)$$

$D_{12}$  – жазықтықтың сол жағындағы кеңістік  $y = -tg(\alpha_2 + \beta_2) \cdot (x - x_2) - y_2$ , түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_{12} = \begin{cases} 1, \text{ егер } y + tg(\alpha_2 + \beta_2) \cdot (x - x_2) + y_2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.33)$$

$D_{13}$  – жазықтықтың сол жағындағы кеңістік  $x = 0$ , түрдің логикалық өрнегімен сипатталады:

$$D_{13} = \begin{cases} 1, \text{ егер } x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.34)$$

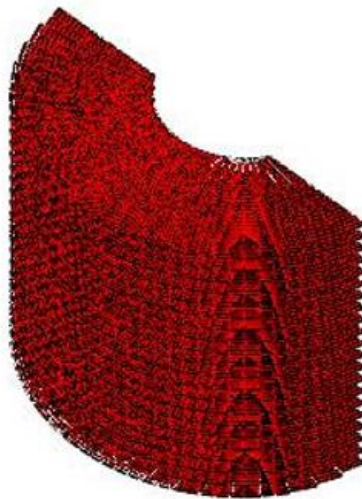
$D_{14}$  – радиус цилиндрімен шектелген кеңістіктің сыртқы бөлігі  $r_3 = \Delta$ , түрдің логикалық өрнегімен сипатталған:

$$D_{14} = \begin{cases} 1, \text{ егер } x^2 + y^2 - r_3^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.35)$$

Манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық функция келесідей болады:

$$\begin{aligned} & ((D_1 \cap D_2 \cap D_9 \cap D_{10} \cap D_{13}) \cup (D_3 \cap D_4 \cap \overline{D_9} \cap D_{11} \cap D_{14}) \\ & \cup (D_5 \cap D_6 \cap \overline{D_{10}} \cap D_{12} \cap D_{14})) \cap D_7 \cap D_8 = 1 \end{aligned}$$

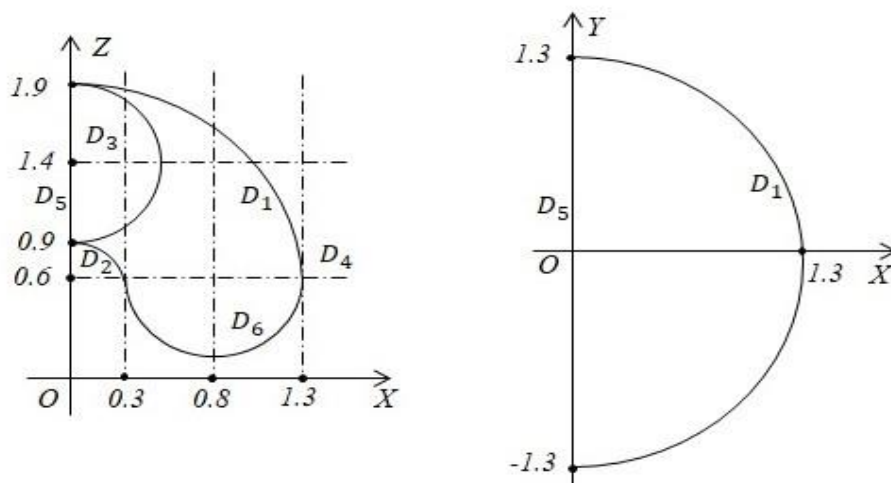
Манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігін сипаттайтын алынған логикалық өрнектерді тексеру үшін MAPLE 12 пакетін қолдана отырып модельдеу жүргіземіз.



2.6 - сурет – манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігінің түрін модельдеу нәтижесі

**2.1 Үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың дәрежелері бойынша жалпыланған координаттардың шекаралық мәндеріне тәуелділігін зерттеу**

РП графикалық бейнесін құру үшін шекаралық беттерді анықтау қажет. Шекаралық беттер  $Q_1, q_2, q_3$  жалпыланған координаттарының шекаралық мәндеріне сәйкес келетін МР буындарының орналасуына байланысты. Қарастырылып отырған RP мг  $oxz$  және  $OXY$  жазықтығындағы проекциялардың графикалық бейнесі 2.7-суретте көрсетілген.



2.7 - сурет –  $Oxz$  және  $Oxy$  жазықтығындағы проекцияларының графикалық бейнесі



Біз құрамдас бөліктерін сипаттайтын шекаралық және қосымша беттерді анықтайтын логикалық айнымалыларды анықтаймыз.

$L_1$ -радиусы бар  $A(0,0,0.6)$  нүктесінде центрі бар Сферамен шектелген  $D_1$  шарының ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы  $R_1 = 1,3$

$$L_1 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x^2 + y^2 + (z - 0.6)^2 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.36)$$

$L_2$ -радиусы  $R_2 = 0,3$  болатын  $A(0,0,0.6)$  нүктесінде центрі бар сферамен шектелген  $D_2$  шарының сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы:

$$L_2 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x^2 + y^2 + (z - 0.6)^2 - 0,09 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.37)$$

$L_3$ -радиусы  $R_3=0.5$  болатын  $A(0,0,1.4)$  нүктесінде центрі бар Сферамен шектелген  $D_3$  шарының сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы.

$$L_3 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x^2 + y^2 + (z - 1.4)^2 - 0,25 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.38)$$

$L_4$  -жазықтықтан жоғары орналасқан  $d_4$  ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы,  $z=0.6$

$$L_4 = \begin{cases} 1, \text{ егер } z - 0.6 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.39)$$

$L_5$ -жазықтықтың оң жағында орналасқан  $d_5$  ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы,  $x=0$

$$L_5 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.40)$$

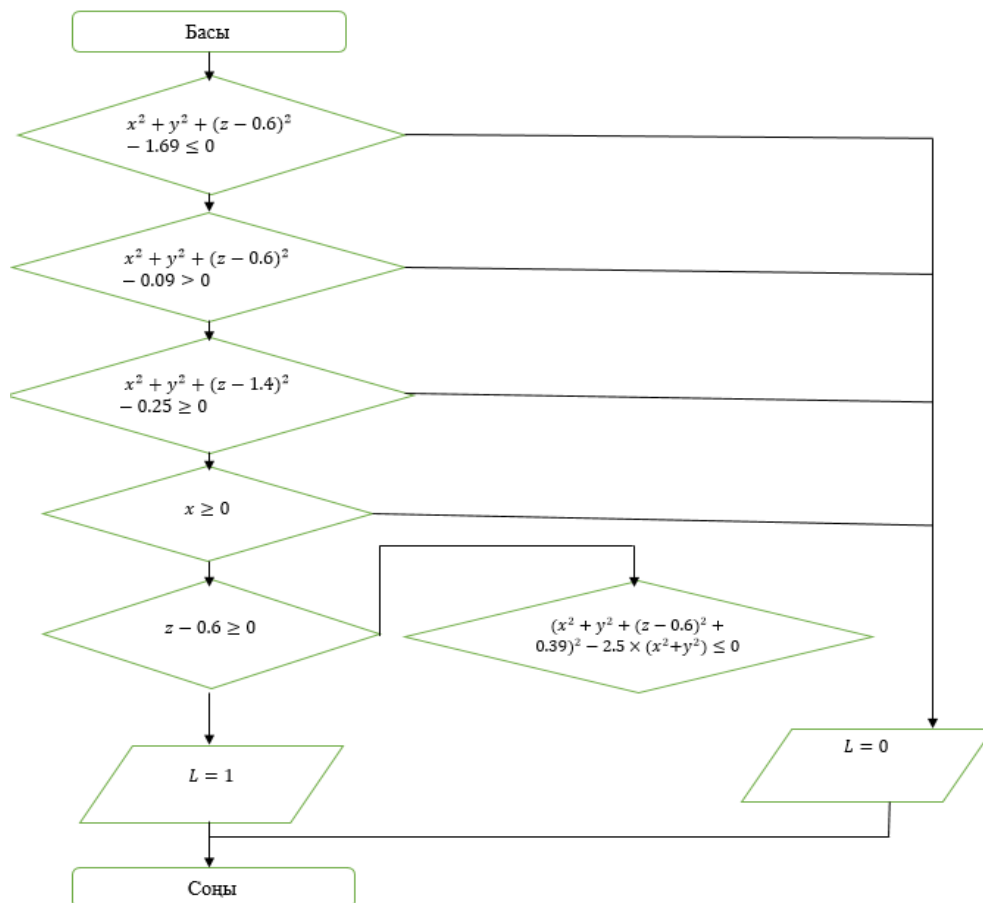
$L_6$ -радиусы 0.5-ке тең,  $Oz$  осінің айналасында центрі координаттары бар нүктеде  $(0.8, 0, 0.6)$  шеңбермен шектелген шеңбердің айналуы арқылы алынған  $D_6$  торының ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы.

$$L_6 = \begin{cases} 1, \text{ егер } (x^2 + y^2 + (z - 0.6)^2 + 0.39)^2 - 2.56 \times (x^2 + y^2) \leq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.41)$$

Алынған логикалық функциялардың негізінде (1) – (6) РП құрамдас бөліктерін сипаттайтын РП МР сипаттайтын логикалық функциялардың дизъюнктивті қалыпты формасы қалыптасады.

$$(L_1 \wedge L_2 \wedge L_3 \wedge L_4 \wedge L_5) \vee (\bar{L}_4 \wedge \bar{L}_5 \wedge \bar{L}_6) = 1$$

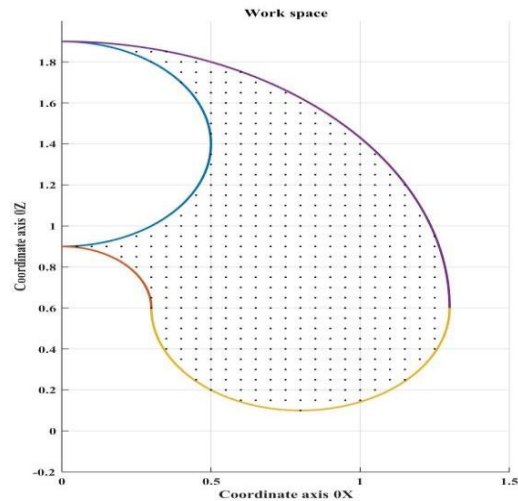
RP mг аналитикалық сипаттамасының Блок-схемасы 2.2-суретте көрсетілген. Егер L=1 болса, онда нүкте RP m-ге жатады, әйтпесе ол RP m-ге жатпайды, яғни L=0.



2.8 - сурет – PMR аналитикалық сипаттамасының блок-схемасы

Бұл процедураны жүзеге асыру үшін MATLAB-та work\_space деп аталатын функция бағдарламасы жасалды. `m.function [L]=Work_space(x,y,z)`

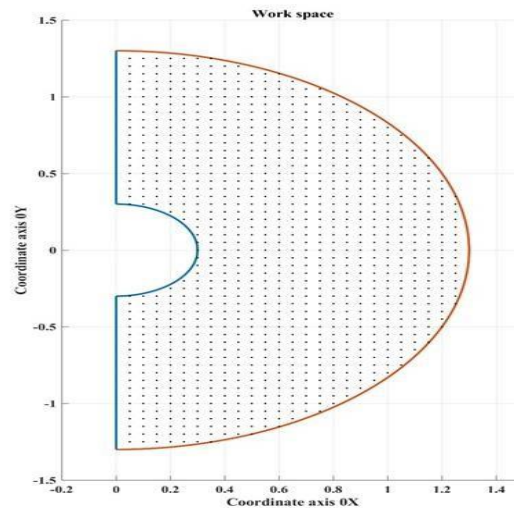
MatLab-та модельдеу нәтижесінде біз 2.3-суретте көрсетілген нәтижені аламыз. 2.3-суреттен көрініп тұрғандай, RP m-ге жататын нүктелер 2.2-суретке сәйкес аймақты толтырады.



2.9 - сурет – OXZ жазықтығына RP MP проекциясы

Work\_space\_and\_border\_oxu Бағдарламасы.m, work\_space функциясының бағдарламасын пайдалану.m, OXY жазықтығына RP mp проекциясын модельдеу.

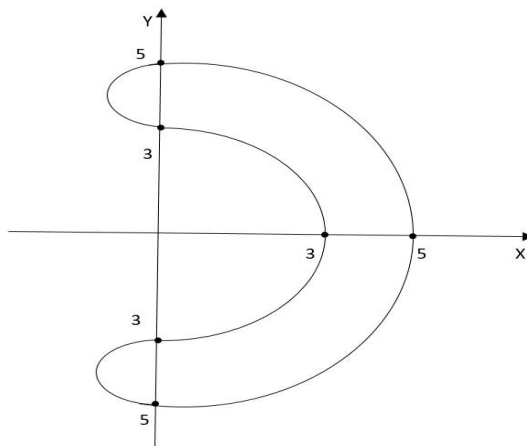
MatLab-та модельдеу нәтижесінде біз 2.10-суретте көрсетілген нәтижені аламыз. 2.10-суреттен көрініп тұрғандай, RP mp-ге жататын нүктелер 2.7-суретке сәйкес аймақты толтырады.



2.10 - сурет – OXY жазықтығына RP mp проекциясы

RP MP шеңбері түрінде жиырылу траекториясының берілген нүктелерінің тиесілігін анықтау мәселесін қарастырыңыз.

RP графикалық бейнесін құру үшін шекаралық беттерді анықтау қажет. Шекаралық беттер  $Q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  жалпыланған координаттарының шекаралық мәндеріне сәйкес келетін MP буындарының орналасуына байланысты. Қарастырылып отырған RP mp oxz және OXY жазықтығындағы проекциялардың графикалық бейнесі 2.11-суретте көрсетілген.



2.11 - сурет – OXZ және OXY жазықтығындағы RP тiр проекцияларының графикалық бейнесі

Біз құрамдас бөліктерін сипаттайтын шекаралық және қосымша беттерді анықтайтын логикалық айнымалыларды анықтаймыз.

$L_1$ -радиусы бар  $A(0,0,0.6)$  нүктесінде центрі бар Сферамен шектелген  $D_1$  шарының ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы  $R_1 = 3$

$$L_1 = \begin{cases} 1, & \text{егер } x^2 + y^2 \leq 5 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.42)$$

$L_2$  -радиусы  $R_2 = 5$  болатын  $A(0,0,0.6)$  нүктесінде центрі бар сферамен шектелген  $D_2$  шарының сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы.

$$L_2 = \begin{cases} 1, & \text{егер } x^2 + y^2 \geq 3 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.43)$$

$L_3$ -радиусы  $x=0$  болатын жазықтығының оң жағында орналасқан  $D_5$  ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы

$$L_3 = \begin{cases} 1, & \text{егер } x \leq 0 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.44)$$

$L_4$  -радиусы  $R_4 = 0,5$  болатын жазықтықтың оң жағында орналасқан сферамен шектелген  $D_4$  шарының сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы.

$$L_4 = \begin{cases} 1, & \text{егер } x^2 + (y - 4)^2 \leq 1 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.45)$$

$L_5$  -радиусы  $R_4 = 0,5$  болатын жазықтықтың оң жағында орналасқан сферамен шектелген  $D_5$  шарының сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы.

$$L_5 = \begin{cases} 1, & \text{егер } x^2 + (y + 4)^2 \leq 1 \\ 0, & \text{теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.46)$$

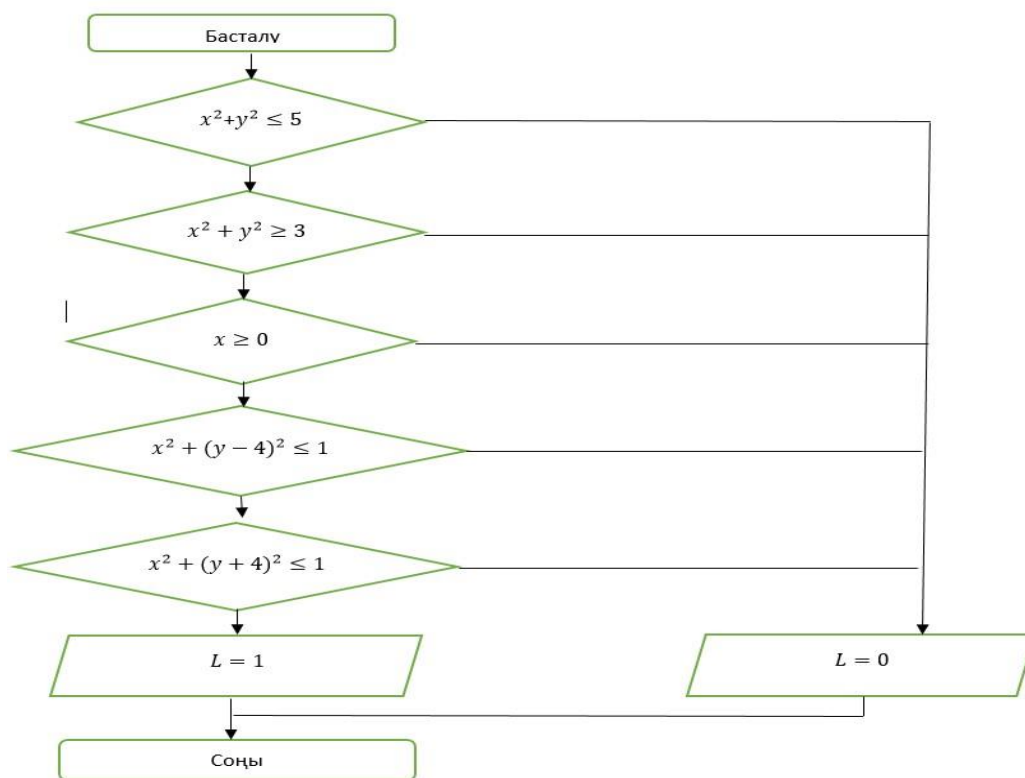
Алынған логикалық функциялардың негізінде (1) – (5) РП құрамдас бөліктерін сипаттайтын РП МР сипаттайтын логикалық функциялардың дизъюнктивті қалыпты формасы қалыптасады.

$$(L_1 \wedge L_2 \wedge L_3) \vee (L_4 \wedge L_3) \wedge (L_5 \wedge L_3) = 1$$

РР mг аналитикалық сипаттамасының Блок-схемасы 4-суретте көрсетілген. Егер L=1 болса, онда нүкте РР mг-ге жатады, әйтпесе ол РР mг-ге жатпайды.

РП графикалық бейнесін құру үшін шекаралық беттерді анықтау қажет. Шекаралық беттер Q\_1, q\_2, q\_3 жалпыланған координаттарының шекаралық мәндеріне сәйкес келетін МР буындарының орналасуына байланысты. Қарастырылып отырған РР mг охz және ОХУ жазықтығындағы проекциялардың графикалық бейнесі 2.5-суретте көрсетілген.

РР mг аналитикалық сипаттамасының Блок-схемасы 2.2-суретте көрсетілген. Егер L=1 болса, онда нүкте РР mг-ге жатады, әйтпесе ол РР mге жатпайды, яғни L=0.

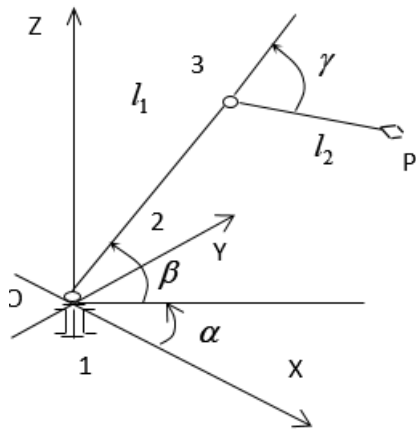


2.12 - сурет – РМР аналитикалық сипаттамасының блок-схемасы

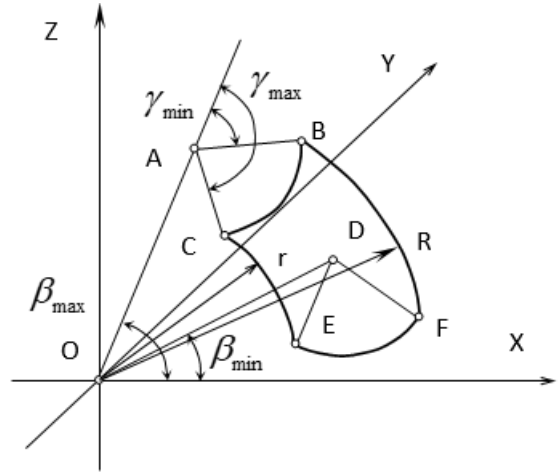
## 2.2 Айналу түріндегі 3 буыны бар манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігінің сипаттамасы

Манипуляциялық роботтың қозғалғыштығының үш дәрежесі болсын (2.7 – сурет), ұтқырлықтың бірінші дәрежесі –  $OZ$  осьтің айналасында  $\alpha$  бұрышқа айналу, екіншісі  $\alpha$  бұрышта және  $O$  нүктесінде берілген түзудің айналасында,  $\beta$  бұрышқа, үшіншісі-  $\alpha$  бұрышта және  $A$  нүктесінде берілген түзудің айналасында, айналу  $\gamma$  бұрышқа және сілтемелердің ұзындығы  $l_1 > l_2$  үшін шарт орындалады. Айналу бұрыштары  $OXYZ$  жалпыланған координаттар, роботтың кеңістіктегі орнын анықтайды.

Нәтижесінде жазықтықта  $R$  және  $r$  радиус шарларымен және  $OXZ$  осьтің айналасындағы  $OA$ ,  $OD$ ,  $OZ$  түзулердің айналу конустарымен,  $l_2$  радиус шеңберлерінің айналуымен алынған торустармен,  $A$  және  $D$  центрлері нүктелерде алынған.  $OXY$  жазықтықта (2.7.1, 2.7.2-сурет) роботтың жұмыс кеңістігі  $R$  және  $r$  радиус шарларымен және жазықтыққа тура  $MP$  және  $NQ$  перпендикуляр өтетін  $OXY$  жазықтықтармен шектеледі.



2.13.1 - сурет –  $OXY$  жазықтығы



2.13.2 - сурет –  $OXY$  жазықтығы

Роботтың жұмыс кеңістігін сипаттау үшін  $R$ -функцияларының математикалық аппараты қолданылады. Біз жұмыс кеңістігін шектейтін және олардың логикалық айнымалыларын анықтайтын беттерді анықтаймыз. Бұл:

$D_1$  – радиус шарының ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы  $R = \sqrt{(l_1 + l_2 \cos \gamma_{\min})^2 + (l_2 \sin \gamma_{\min})^2}$ :

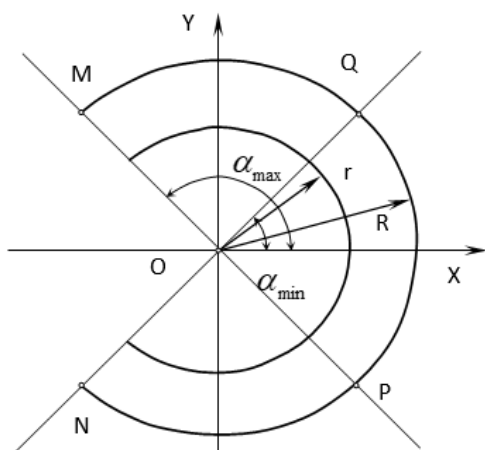
$$D_1 = \begin{cases} 1, \text{ егер } R^2 - x^2 - y^2 - z^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.47)$$

$D_2$  – радиус шарының сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы  $r = \sqrt{(l_1 - l_2 \cos(180^\circ - \gamma_{\max}))^2 + (l_2 \sin(180^\circ - \gamma_{\max}))^2}$ :

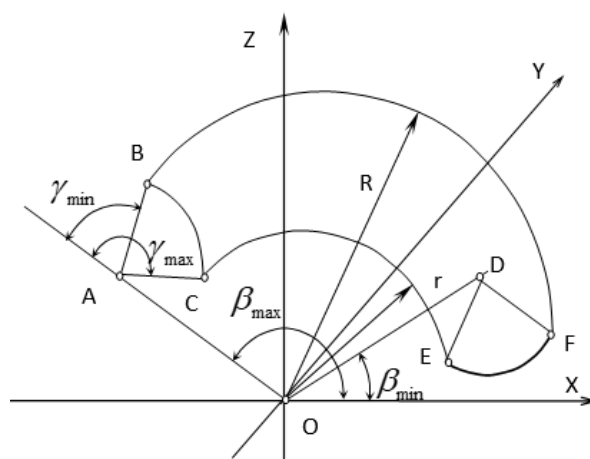
$$D_2 = \begin{cases} 1, \text{ егер } x^2 + y^2 + z^2 - r^2 \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.48)$$

$D_3$  – түзудің айналуы нәтижесінде алынған конустың сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы  $OA$ ,  $z = tg\beta_{\max} \times x$ , вокруг оси  $OZ$  :

$$D_3 = \begin{cases} 1, \text{ егер } z^2 - \tan^2 \beta (x^2 + y^2) \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.49)$$



2.14.1 - сурет –  $OXY$  жазықтығы



2.14.2 - сурет –  $OXY$  жазықтығы

$D_4$  – түзудің айналуы нәтижесінде алынған конустың ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы  $OD$ ,  $z = tg\beta_{\min} \times x$ , осьтің айналасында  $OZ$

$$D_4 = \begin{cases} 1, \text{ егер } z^2 - \tan^2 \beta (x^2 + y^2) \leq 0 \\ 0, \text{ теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.50)$$

$D_5$  –  $A$  нүктесінде центрі бар шеңберді айналдыру арқылы алынған торустың сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы,  $(x - l_1 \cos\beta_{\max})^2 + (z - l_1 \sin\beta_{\max})^2 = l_2^2$ , осьтің айналасында  $OZ$  :

$$D_5 = \begin{cases} 1, \text{ егер } ((z - l_1 \sin \beta_{\max})^2 x^2 + y^2 - l_1^2 \cos^2 \beta_{\max} - l_2^2)^2 - \\ - 4l_1^2 \cos^2 \beta_{\max} (x^2 + y^2) \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.51)$$

$D_6$  –  $D$  нүктесінде центрі бар шеңберді айналдыру арқылы алынған торустың ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалы,  $(x - l_1 \cos\beta_{\min})^2 + (z - l_1 \sin\beta_{\min})^2 = l_2^2$ , осьтің айналасында  $OZ$  :

$$D_6 = \begin{cases} 1, \text{ егер } ((z - l_1 \sin \beta_{max})^2 x^2 + y^2 - l_1^2 \cos^2 \beta_{max} - l_2^2)^2 - \\ - 4l_1^2 \cos^2 \beta_{max} (x^2 + y^2) \leq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.52)$$

$D_7$  – сызықпен берілген жазықтықтың астында орналасқан жартылай жазықтықты анықтайтын логикалық айнымалы  $NQ$ ,  $y = tg \alpha_{min} \times x$ ,  $OXY$  жазықтыққа перпендикуляр:

$$D_7 = \begin{cases} 1, \text{ егер } y - \tan \alpha_{min} \times x \leq 0 \\ 0, \text{ теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.53)$$

$D_8$  – сызықпен берілген жазықтықтан жоғары орналасқан жартылай жазықтықты анықтайтын логикалық айнымалы  $MP$ ,  $y = tg \alpha_{max} \times x$ ,  $OXY$  жазықтыққа перпендикуляр:

$$D_8 = \begin{cases} 1, \text{ егер } y - \tan \alpha_{min} \times x \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.54)$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle QOP$  бұрышпен шектелген секторда болсын  
Логикалық айнымалылар негізінде (1) – (8), роботтың жұмыс кеңістігінің сипаттамасын келесі логикалық өрнек түрінде қалыптастырамыз :

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6)) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Енді осы роботтың  $OXY$  жұмыс кеңістігі кеңістікте  $\angle MON$  бұрышпен шектелсін . Содан кейін логикалық өрнек келесі форманы алады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6)) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

$\beta_{max}$  бұрыштың өлшемін өзгертемін, содан кейін 2.14.2-суретте көрсетілген роботтың жұмыс кеңістігі пайда болады.

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle QOP$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.8.2-сурет) және келесі шарт орындалады:

$$180^\circ - \beta_{max} > \beta_{min} . \quad (2.55)$$

Содан кейін роботтың жұмыс кеңістігін сипаттау үшін шеңбердің центрмен нүктеге айналуы нәтижесінде алынған тордың сыртқы ішкі кеңістігін анықтайтын логикалық айнымалыны енгіземіз,



$(x + l_1 \cos(180^\circ - \beta_{\max})^2 + (z - l_1 \sin(180^\circ - \beta_{\max}))^2 = l_2^2$  ,  $OZ$  осьтің айналасында, көрініс алады:

$$D_9 = \begin{cases} 1, \text{ егер } ((z - l_1 \sin \beta_{\max})^2 x^2 + y^2 - l_1^2 \cos^2(180^\circ - \beta_{\max} - l_2^2)^2 - \\ - 4l_1^2 \cos^2 \beta_{\max} (x^2 + y^2) \geq 0 \\ 0, \text{ теріс жағдайда} \end{cases} \quad (2.56)$$

Логикалық айнымалылар негізінде осы роботтың жұмыс кеңістігінің сипаттамасын келесі түрде қалыптастырамыз:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_4 \cap D_9 \cap \overline{D_7} \cap \overline{D_8}) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3}) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_6)) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

### 2.3 Манипуляциялық роботтың артикуляциялық параметрлерінің өзгеру шектері өзгерген кезде жұмыс кеңістігінің сипаттамасы

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.12-сурет) және шарт орындалады. Содан кейін, осы роботтың жұмыс кеңістігінің сипаттамасы келесідей болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_4 \cap D_9 \cap \overline{D_7} \cap \overline{D_8}) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3}) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_6)) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle QOP$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.14-сурет) және келесі шарт орындалады:

$$180^\circ - \beta_{\max} \leq \beta_{\min} \quad (2.57)$$

Логикалық айнымалылар негізінде, біз осы роботтың жұмыс кеңістігінің сипаттамасын жасаймыз:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9 \cap \overline{D_7} \cap \overline{D_8}) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6)) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MOQ$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.14.1-сурет) және шарт орындалады. Содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесі форманы алады:

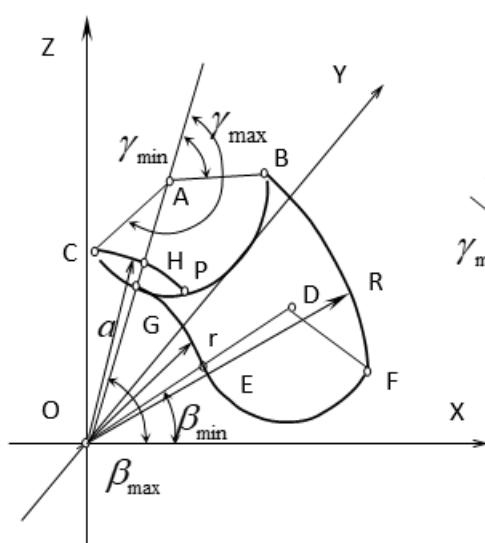
$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9 \cap \overline{D_7} \cap \overline{D_8}) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6)) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

Бұрыштың  $\gamma_{\max}$  өлшемін өзгертіп, содан кейін роботтың жұмыс кеңістігі 2.14.2-суретте көрсетілген көріністі алады. Бұл жағдайда жұмыс кеңістігіне қосымша пайда болады, 2.14.1-суреттен айырмашылығы, Торус пен доптың ішкі бетімен *CHPG* шектелген айналу фигурасы түрінде, сызықпен шектелген аймақ. Логикалық айнымалыны анықтау кезіндегі шамасы  $r = l_1 - l_2$ .

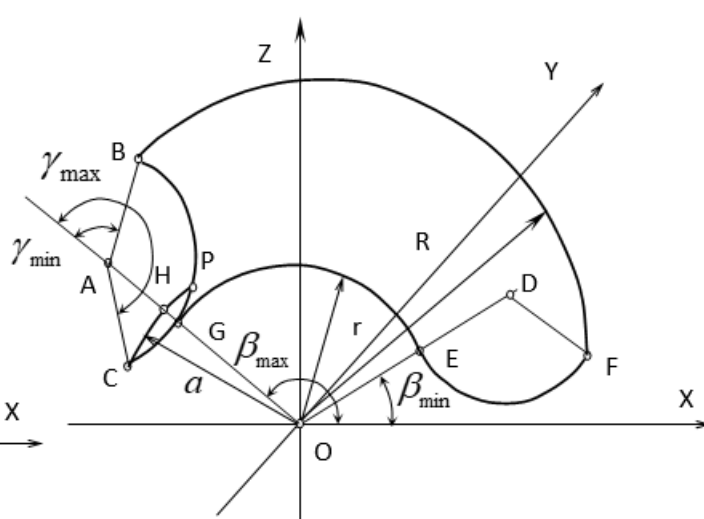
Сонымен қатар, радиус шарының ішкі кеңістігін сипаттайтын  $D_{10}$  „логикалық айнымалыны“ қарастырайық

$$a = \sqrt{(l_1 - l_2 \cos(\gamma_{\max} - 180^\circ))^2 + l_2^2 \sin^2(\gamma_{\max} - 180^\circ)}:$$

$$D_{10} = \begin{cases} 1, & \text{егер } a^2 - x^2 - y^2 - z^2 \geq 0 \\ 0, & \text{теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.58)$$



2.15.1 - сурет – *OXY* жазықтығы



2.15.2 - сурет – *OXY* жазықтығы

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle QOP$  (бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15.1-сурет). Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6) \cup (\overline{D_5} \cap D_{10})) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15.1-сурет). Содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесі форманы алады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_{10}} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Бұрыштың өлшемін өзгертіңіз және 2.15.1-суретте көрсетілген роботтың жұмыс кеңістігін алыңыз.

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOQ$  (бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15.1-сурет) және шарт орындалады. Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$\left( (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10}) \right) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15-сурет) және шарт орындалады, содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесідей болады:

$$\left( (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10}) \right) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

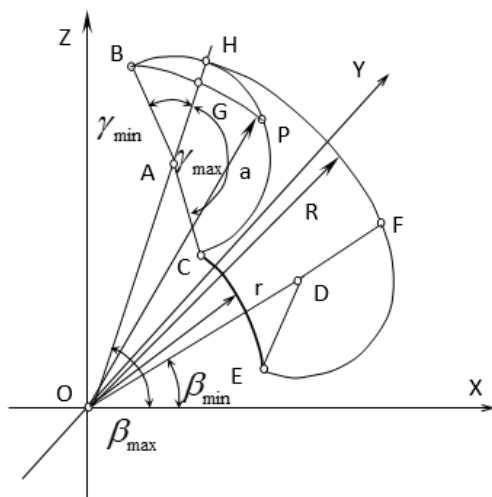
Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOQ$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15-сурет) және шарт орындалады. Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$\left( (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10}) \right) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

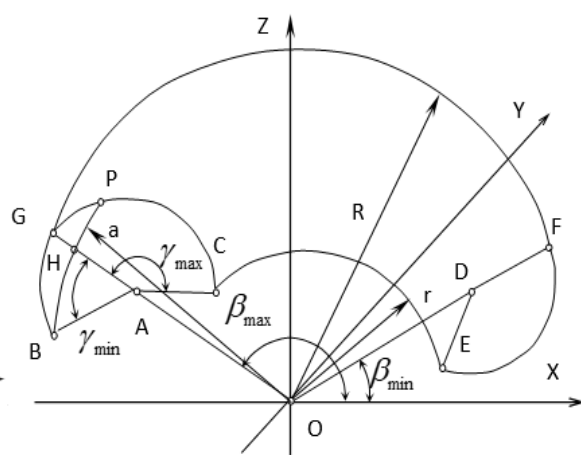
Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15-сурет) және шарт орындалады, содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесідей болады:

$$\left( (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10}) \right) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Бұрыштың  $\gamma_{\min}$  өлшемін өзгертіңіз, содан кейін роботтың жұмыс кеңістігі 2.15.1-суретте көрсетілген көріністі алады. Бұл жағдайда жұмыс кеңістігіне қосымша пайда болады, 2.12.1-суреттен айырмашылығы, Торус пен доптың ішкі бетімен шектелген айналу фигурасы түрінде,  $BHPG$  сызықпен шектелген аймақ. Логикалық айнымалыны анықтаған кезде шамасы  $R = l_1 + l_2$ .



2.16.1 - сурет –  $OXY$  жазықтығы



2.16.2 - сурет –  $OXY$  жазықтығы

Сонымен қатар, радиус шарының сыртқы кеңістігін сипаттайтын  $D_{11}$  логикалық айнымалыны қарастырайық  $a = \sqrt{(l_1 + l_2 \cos \gamma_{\min})^2 + l_2^2 \sin^2 \gamma_{\min}}$  :

$$D_{11} = \begin{cases} 1, & \text{егер } x^2 + y^2 + z^2 - a^2 \geq 0 \\ 0, & \text{теріс жаңдайда} \end{cases} \quad (2.59)$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOQ$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.16.1-сурет). Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6) \cup (\overline{D_5} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.16.2-сурет). Содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесі форманы алады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6) \cup (\overline{D_5} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

$\beta_{\max}$  бұрыштың өлшемін өзгертіңіз және 2.16.1-суретте көрсетілген роботтың жұмыс кеңістігін алыңыз.

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOP$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.14.1-сурет) және шарт орындалады . Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_{10}} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15-сурет) және шарт орындалады содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесідей болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_{10}} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOQ$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15-сурет) және шарт орындалады. Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_{10}} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.15-сурет) және шарт орындалады , содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесідей болады:

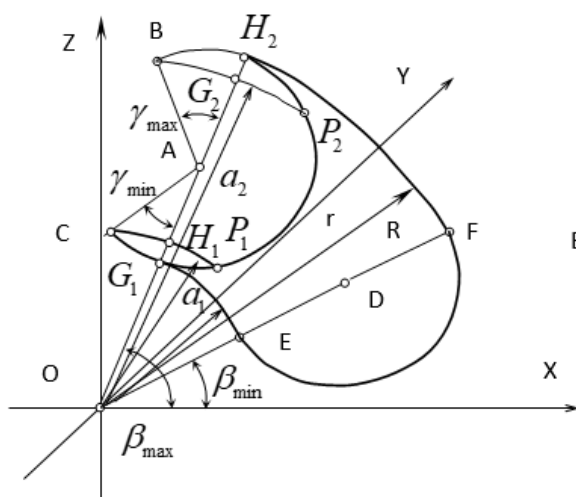
$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_{10}} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

Бұрыштың өлшемін өзгертеміз  $\gamma_{\min}$  және  $\gamma_{\max}$  , содан кейін роботтың жұмыс кеңістігі 2.16.1-суретте көрсетілген көріністі алады. Бұл жағдайда 2.10-суреттен айырмашылығы, торустың ішкі беттерімен шектелген айналу фигуралары  $BH_1P_1G_1$  және  $CH_2P_2G_2$  . сызықтармен шектелген 2 шар түрінде жұмыс кеңістігіне қосымша пайда болады.

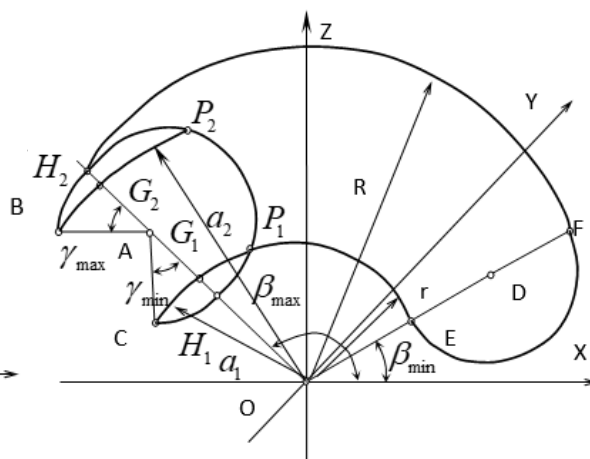
Логикалық айнымалыны анықтау кезінде  $R = l_1 + l_2$  шамасы және логикалық айнымалыны анықтау кезінде  $r = l_1 - l_2$  шамасы .  $a$  төменгі аймақ үшін  $BH_1P_1G_1$   $a_1$  шамасы, жоғарғы аймақ үшін  $CH_2P_2G_2$   $a_2$  шамасы ретінде белгіленеді.

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOQ$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.10-сурет). Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек, бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6) \cup (\overline{D_5} \cap D_{10} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$



2.17.1 - сурет –  $OXY$  жазықтығы



2.17.2 - сурет –  $OXY$  жазықтығы

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.12-сурет). Содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесі форманы алады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4 \cap D_5) \cup (D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_4} \cap D_6) \cup (\overline{D_5} \cap D_{10} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

Бұрыштың  $\beta_{\max}$  өлшемін өзгертіңіз және 2.17.1-суретте көрсетілген роботтың жұмыс кеңістігін алыңыз.

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOQ$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.12-сурет) және шарт орындалады. Содан кейін логикалық айнымалыларға негізделген логикалық өрнек, бұл жұмыс кеңістігін сипаттайтын келесі көрініс болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.12-сурет) және шарт орындалады, содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесідей болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_3 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle NOQ$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.12-сурет) және шарт орындалады. Содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесі форманы алады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cap D_8) = 1$$

Роботтың жұмыс кеңістігі  $\angle MON$  бұрышпен шектелген секторда болсын (2.12-сурет) және шарт орындалады, содан кейін берілген жұмыс кеңістігін сипаттайтын логикалық өрнек келесідей болады:

$$((D_1 \cap D_2 \cap \overline{D_3} \cap D_9) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_4) \cup (D_1 \cap D_2 \cap D_6 \cap \overline{D_4}) \cup (\overline{D_9} \cap D_{10} \cap D_{11})) \cap (D_7 \cup D_8) = 1$$

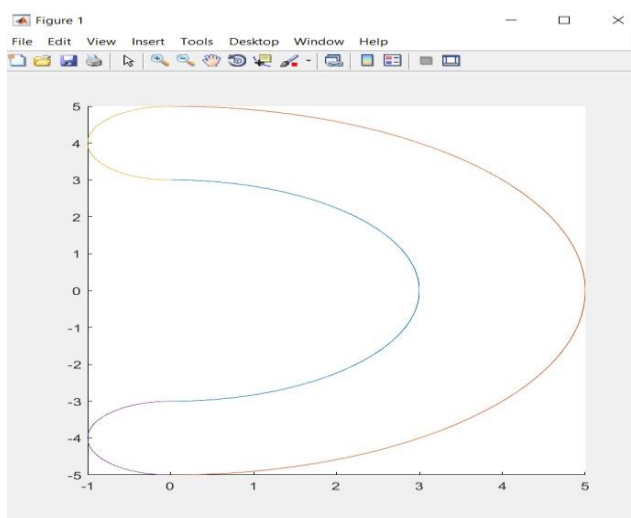
Жұмыс кеңістігінің сипаттамасынан көріп отырғаныңыздай, келесі қорытындылар жасауға болады:

- 3 дәрежелі манипулятордың жұмыс кеңістігінің түрі кинематикалық тізбекті құрайтын кинематикалық жұптардың түріне байланысты;
- жұмыс кеңістігінің түрі манипуляциялық роботтың ұтқырлық дәрежесі бойынша жалпыланған координаттардың өзгеру шегіне байланысты;
- логикалық өрнек түріндегі сипаттама жұмыс кеңістігінің түріне байланысты.

## 2.4 Үш дәрежелі манипуляциялық роботтың жұмыс кеңістігін модельдеу

Бұл процедураны жүзеге асыру үшін MATLAB-та `work_space.m` деп аталатын функция бағдарламасы жасалды.

MatLab-та модельдеу нәтижесінде біз 2.6-суретте көрсетілген нәтижені аламыз. 2.6-суреттен көрініп тұрғандай, RP  $m$ -ге жататын нүктелер 2.4-суретке сәйкес аймақты толтырады.



2.6 - сурет – OXZ жазықтығына RP MP проекциясы

### 3 Тордың математикалық сұлулығы

#### 3.1 Тор теориясының негізі

Тор-айналудың геометриялық денесі. Торус шеңбермен бір жазықтықта жатқан айналу осінің айналасындағы шеңбердің қозғалысымен алынады, сонымен қатар шеңбердің шеңберге тікелей көбейтіндісі болып табылады. Бұл Тор теңдеуін кеңістікте қалай шығаруға болатындығы түсіндіріледі.

Логикалық функциялар және кванторы:  $\wedge$  (ЖӘНЕ),  $\vee$  (НЕМЕСЕ)  $\Rightarrow$ ,  $\Leftarrow$  (керек),  $\Leftrightarrow$  (баламалы),  $\forall$  (барлық),  $\exists$  (бар).  $\stackrel{\text{def}}{=}$  - анықтама бойынша тең: "анықтама бойынша теңдік" белгісінің сол жағында тұрған символдық құрылым (символдық өрнек) оң жақта тұрған символдық құрылымды ауыстырады (мәтіндегі баламамен алмастыра алады).  $U$  - жиындардың бірігуі.  $\cap$  - жиындардың жолын кесу.  $\{a \in P\}$  -  $p$  қасиеті (қасиеттері) бар барлық  $a$  жиынтығы. Тордың жалпы іс-қимыл теориясы ұзақ даму тарихына ие және эквивалентті топологияның маңызды саласын құрайды. Торик топологиясы орбиталық кеңістік бай комбинаторлық құрылымды алып жүретін Торус әрекет класының алгебралық, комбинаторлық, дифференциалдық және гомотопиялық аспектілерін зерттейді. Бұл аймақтың ерекшелігі-кеңістіктің комбинаторикасы тұрғысынан инварианттарды есептеу мүмкіндігі Орбита негізгі мақсаттардың бірі-осы инварианттардың көмегімен торикалық кеңістіктерді жіктеу.

#### 3.2 Тор туралы кейбір координаталарды жалпылау

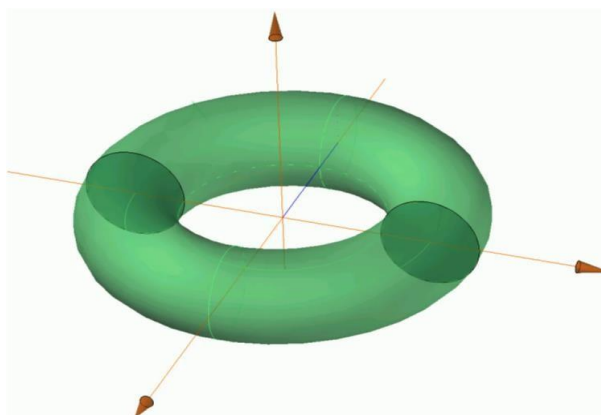
Үш өлшемді Евклид кеңістігінде тор – бұл шеңбердің жазықтығында жатқан және оны кесіп өтпейтін осьтің айналасында  $r$  радиусын құрайтын шеңбердің  $R$  радиусының бағыттаушы шеңбері бойынша (бағыттаушы шеңберде центрі бар) айналу арқылы алынған айналу денесі ( $R > r$ -кәдімгі тор). Тиісінше, Торус беті (тороид) – осы шеңбердің жазықтығында жатқан және оны кесіп өтпейтін осьтің айналасында генератор шеңберін айналдыру арқылы алынған айналу беті. Тороидпен шектелген үш өлшемді фигура толықтығы (толықтығы, толықтығы) деп те аталады.

Папп-Гульдиннің бірінші теоремасы (айналу бетінің ауданы туралы): осы сызықтың жазықтығында жатқан және оны кесіп өтпейтін осьтің айналасында жазық сызықтың (жабық немесе жабық емес) айналуы нәтижесінде пайда болған дененің бетінің ауданы айналу сызығының ұзындығының шеңберге көбейтіндісіне тең, оның радиусы осьтен сызықтың барицентріне дейінгі қашықтық (оның координаттары фигураның барлық нүктелерінің орташа арифметикалық координаттары). Тордың бетінің ауданы қайдан келеді

Папп-Гульдиннің екінші теоремасы (айналу денесінің көлемі туралы): сол жазықтықта орналасқан және фигураны кесіп өтпейтін осьтің айналасында жазық фигураның айналуы нәтижесінде пайда болған дененің көлемі фигураның айналу

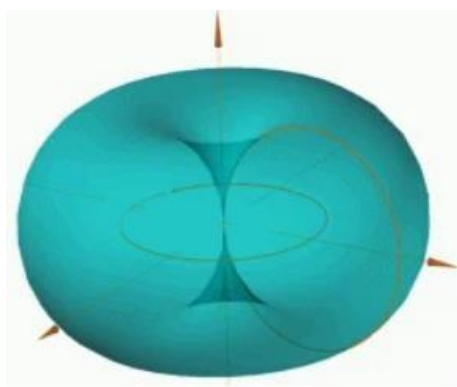


осінен фигураның барицентріне дейінгі қашықтық радиусы болатын шеңбердің ұзындығына көбейтілген фигураның ауданына тең. Тордың көлемі қайдан келеді.  $R > r$  кезінде багельге ұқсас ашық тор пайда болады (тесігі бар).



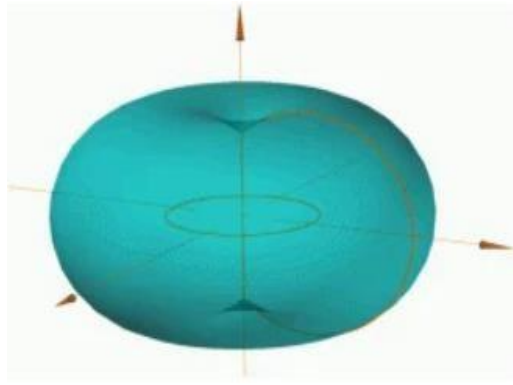
3.1 - сурет –  $R > r$  кезіндегі ашық тор бейнесі

Егер  $R = r$  болса, онда сіз багельге ұқсас денені аласыз, бірақ тесіксіз – жабық тор.



3.2 - сурет –  $R = r$  кезіндегі жабық тор бейнесі

Егер  $R < r$  болса, онда сіз өздігінен қиылысатын денені аласыз - екі қиылысатын бөліктен тұратын жабық сақина торусы: үлкен доғамен және оның аккордымен Шектелген шеңбер сегментінің айналуы нәтижесінде алынған Торус бөлігі.



3.3 - сурет –  $R < r$  кезіндегі жабық сақина тор бейнесі

### 3.3 Параметрлік Тор теңдеуі

Қорытындылай келе, Мен сізді торға қатысты екі теоремамен таныстырғым келеді, олар менің ойымша, кейбір нақты есептеулер мен құрылыстар үшін пайдалы болуы мүмкін.

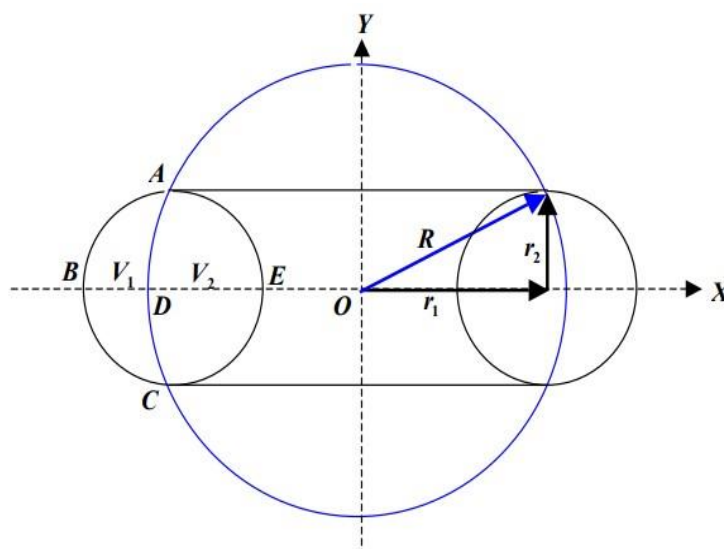
1-Теорема (тордың сфералық қимасы туралы)

Егер тор  $(r_1, r_2)$  және сфера  $(R = \sqrt{r_1^2 + r_2^2})$  ортақ симметрия центрі бар  $O$ , содан кейін сфера торды екі тең бөлікке бөледі (сурет. 10).

Тордың кесіндісі қара түспен, сфераның кесіндісі көк түспен көрсетілген.

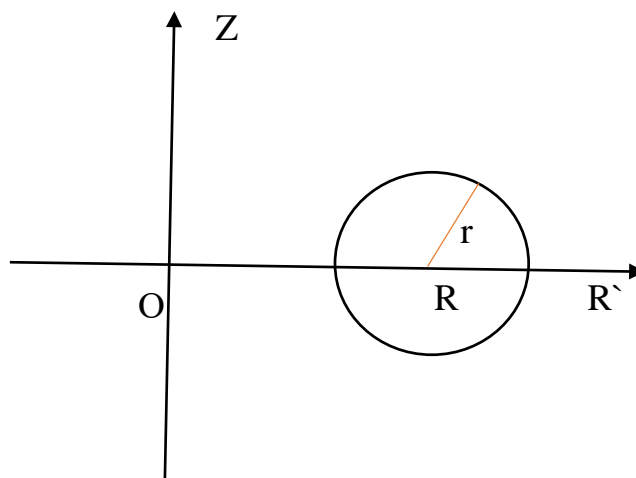
Дәлел: Көлемді доға мен доғаның айналуы нәтижесінде пайда болған көлемдердің айырмашылығы ретінде есептеуге болады.

Тордың көлемі белгілі, сондықтан  $V = 2\pi^2 r_1 r_2^2$  және  $V_1 = \frac{1}{2}V$  осы жерден біз мынаны қорытындылаймыз  $V_1 = V_2$



3.4 - сурет – 1 теорема бойынша дәлелденген тор графигі

Шығару цилиндрлік жүйедегі Торус теңдеуі:



3.5 - сурет – Цилиндрлік координат жүйесіндегі тор графигі

Сонымен, цилиндрлік координаттардағы шеңберді алып, сызудан бастайық, бірақ  $R' OZ$  жазықтығында. Сонымен,  $R$ -координаттардың басынан шеңбердің центріне дейінгі қашықтық,  $r$ -шеңбердің радиусы, яғни бұл жазықтықтағы теңдеу  $(r' - R)^2 + z^2 = r^2$  болады, мұндағы  $r'$  -  $OR$  осіндегі айнымалы.

Келесі пайымдаулар: бұл цилиндрлік координаттар, сондықтан параметр болуы керек. Бірақ егер сіз бұл параметрге қол тигізбесеңіз, бірақ оны  $[0; 2]$  интервалына қойсаңыз, онда бүкіл жазықтық  $OZ$  айналасында айналады, ал шеңбер торустың бетін сипаттайды.

Параметрлік Торус теңдеуін шығару

Біз  $XOZ$  жазықтығында бірдей шеңберді аламыз және саламыз, бірақ  $x_r$  және  $z_r$  арқылы шеңберімізге жататын нүктелердің координаттарын белгілейміз (содан кейін неге екені белгілі болады).

$$\begin{cases} x_r = R + r \cos t \\ z_r = r \sin t \end{cases} \quad (3.1)$$

Енді  $Oy$  осі бар кеңістік елестетілді. Біз шеңберді  $OZ$  айналасында айналдыруымыз керек, ол үшін  $z$  осін ойша тастаймыз -  $XOY$  қалады. Координаттардың басында центрі бар шеңбер құру проблема емес,

$$\begin{cases} x = x_r \cos u \\ y = z_r \sin u \end{cases} \quad (3.2)$$

бірақ бұл шеңбердің радиусы  $XOZ$  жазықтығындағы шеңбердің әрбір нүктесі болады (ол бірінші), яғни оның радиусы  $x_r$  болады.

$$\begin{cases} x = (R + r \cos t) \cos u \\ y = (R + r \cos t) \sin u \\ z = r \sin t \end{cases} \quad (3.3)$$

Өз кезегінде  $z$  тек теңдеулер жүйесіне жатады, өйткені ол шеңбердің радиусына мүлдем әсер етпейді. Нәтижесінде дәл сол тор алынады, тек параметрлік түрде ұсынылған. Мұнда анимация мүмкіндігі артып келеді: өзгертуге болатын екі параметр қосылады (менде  $t$  және  $u$  бар).

## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жобада MatLab, SimMultibody ортасын қолданып, үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептеу және де нәтижесін Matlab жүйесінде модельдеу болып табылады.

Бірінші бөлімде, манипуляторлы роботтардың қолданылуы, техникалық салалары, өнеркәсіпте пайдаланылуы және манипуляциялық жүйе құрылымы айтылды. Манипуляциялық роботтың қандай жерлерде қолдану аясы жазылды. Қимыл жасау кезінде олардың екі тәсілі қарастырылады. Сонымен қатар, роботтың координаттар жүйесінде бірнеше түрлері бар екенін қарастырылды. Яғни, цилиндрлік, сфералық координаттар жүйесі жазылды.

Екінші бөлімде, үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептелуі қарастырылды. Ең алдымен манипуляциялық роботқа координаттар жүйесінде белгеле бір параметр беру арқылы график құрылды. Одан кейін логикалық функциялар беру арқылы тиіс және тиіс емес амалдар қарастырылды. Matlab жүйесінде алынған логикалық функцияларды енгізе отырып, графикті модельдеу. Соңында, жасаған математикалық моделіміз Matlab жүйесімен сәйкес келгенін көре аламыз.

Үшінші бөлімде, үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жұмыс кеңістігі ретінде тор теориясын алдым. Тор теориясының негіздемесін, кеңістік желісін және сонымен қатар параметр есептелуі жазылған.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 В. Г. Хомченко Робототехнические системы: Учебное пособие Омск.
- 2 Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. 3-56 Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для ву ов. - 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
- 3 Jadran Lenarcic, Oussama Khatib Advanced in Robot Kinematics:2014.
- 4 П. К. Рашевский. «Курс дифференциальной геометрии», Гос. Изд. технико-теоретической литературы, М., 1956.
- 5 Хомченко В. Г. Моделирование дискретных систем посредством сетей Петри. Методические указания к расчетно-графической работе по курсу «Проектирование роботов и робототехнических систем»/ Хомченко В. Г., Соломин В. Ю. – Омск, ОмГТУ, 2007.
- 6 Н. А. Глаголев. «Проективная геометрия», «Высшая школа», М.,1963
- 7 П. С. Александров «Введение в теорию групп», «Наука», М., 1980
- 8 Шахинпур М. Курс робототехники: – М. Мир, 1990.
- 9 Автоматизация производственных процессов в машиностроении. - М.: Высшая школа, 2015.
- 10 Антонетти, П. МОП-БИС. Моделирование элементов и технологических процессов / П. Антонетти, Д. Антониадис, Р. Даттон, и др.. - М.: Радио и связь, 2016.
- 11 Виноградов, В. М. Автоматизация технологических процессов и производств. Введение в специальность. Учебное пособие / В.М. Виноградов, А.А. Черепяхин. - М.: Форум, Инфра-М, 2014.
- 12 Кузнецов, М.М. Автоматизация производственных процессов / М.М. Кузнецов, Л.И. Волчкевич, Ю.П. Замчалов. - М.: Высшая школа; Издание 2-е, перераб. и доп., 2014.

## А қосымшасы

Matlab бағдарламасына жазылған листинг

```
R=4;
r=3;
u = (-2:0.1:2)';
v = [0:0.05*pi:3*pi/2];
X = R*ones(size(u))*cos(v);
Y = R*ones(size(u))*sin(v);
Z = u*ones(size(v));
figure('Color','w')
hS=mesh(X,Y,Z)
hold on
X1 = r*ones(size(u))*cos(v);
Y1 = r*ones(size(u))*sin(v);
Z1 = u*ones(size(v));
hS1=mesh(X1,Y1,Z1);
xlabel('x'); ylabel('y'); zlabel('z') % axes%
if(X.^2+Y.^2-a.^2)>=0 disp('====1');
else disp('====0');
end;
if 1.69-x.^2-y.^2-(z-0.6).^2>=0% Ішкі кеңістіктің жұмысы
L1=1% D сферасымен шектелген
else
L1=0% әйтпесе
end
if x.^2+y.^2+(z-0.6).^2-0.09>=0% Сыртқы ішкі кеңістіктің жұмысы
L2=1% D2 сферасымен шектелген шар
else
L2=0% әйтпесе
end
if x.^2+y.^2+(z-1.4).^2-0.25>=0% Сыртқы ішкі кеңістіктің жұмысы
L3=1% D3 сферасымен шектелген шар
else
L3=0% әйтпесе
end
if z-0.6>=0% Ішкі кеңістіктің жұмысы
L4=1% D4 жазықтығынан жоғары
else
L4=0% әйтпесе
end
if z-0.6<=0% Ішкі кеңістіктің жұмысы
L40=1% D4 жазықтығынан жоғары
else
```

## А қосымшасының жалғасы

```
L40=0% әйтпесе
end
if x>=0% Ішкі кеңістіктің жұмысы
L5=1% D5 жазықтығының оң жағында
else
L5=0% әйтпесе
end
if (x.^2+y.^2+(z-0.6).^2+0.39).^2-2.56*(x.^2+y.^2)<=0% Ішкі
L6=1% тордың ішкі кеңістігі D6
else
L6=0% әйтпесе
end
LS1=L1&L2&L3&L4&L5% Логикалық шарт
LS2=L40&L5&L6% Логикалық шарт
L=LS1|LS2% РП сипаттайтын логикалық шарт
End
```



## Б қосымшасы

```
clear
hold on
r1=0.5% R1 радиусын орнату
a1=(-90:1:90)% B1 айналу бұрышының мәндерін өзгерту шектері
=a1*pi/180% Радиан өлшеміне көшу
x1=r1*cos(b1)% Параметрлік шеңбер теңдеуі, x мәні
z1=r1*sin(b1)+1.4% Параметрлік шеңбер теңдеуі, мәні y
plot(x1,z1)% Шеңбер нүктелерінің графигін салу
r2=0.3% R2 радиусын орнату
a2=(0:1:90)% Айналу бұрышының мәндерін өзгерту шектері
b2=a2*pi/180% Радиан өлшеміне көшу
x2=r2*cos(b2)% Параметрлік шеңбер теңдеуі, мәні x
z2=r2*sin(b2)+0.6% Параметрлік шеңбер теңдеуі, мәні y
plot(x2,z2)% Шеңбер нүктелерінің графигін салу
a3=0% Айналу бұрышының айнымалысының бастапқы мәні
z3=0.6% Z3 айнымалысының мәні
r4=0.5% R4 радиусын орнату
a4=(-180:1:0)% Айналу бұрышының мәндерін өзгерту шектері
b4=a4*pi/180% Радиан өлшеміне көшу
x4=r4*cos(b4)+0.8% Параметрлік шеңбер теңдеуі, x мәні
z4=r4*sin(b4)+0.6% Параметрлік шеңбер теңдеуі, мәні Ж
plot(x4,z4)% Шеңбер нүктелерінің графигін салу
r5=1.3% R4 радиусын орнату
a5=(0:1:90)% Айналу бұрышының мәндерін өзгерту шектері
b5=a5*pi/180% Радиан өлшеміне көшу
x5=r5*cos(b5)% Параметрлік шеңбер теңдеуі, x мәні
z5=r5*sin(b5)+0.6% Параметрлік шеңбер теңдеуі, мәні y
plot(x5,z5)% Шеңбер нүктелерінің графигін салу
y=0% OXZ жазықтығына РП проекциясының тапсырмасы
x=-0.2% X айнымалысының бастапқы мәні
while x<=1.5% X айнымалысының соңғы мәні
x=x+0.05% X айнымалысын өзгерту қадамы
z=-0.2% Z айнымалысының бастапқы мәні
while z<=2% Z айнымалысының соңғы мәні
z=z+0.05% Z айнымалысын өзгерту қадамы
L1=Work_space(x,y,z)% Бағдарлама функциясы
if L1% Сипаттайтын логикалық шарт, РП
plot(x,z,'.k')% Жұмыс кеңістігінің графигін құру
end end end
hold off title('Work space')
xlabel('Coordinate axis OX')
ylabel('Coordinate axis OZ')
```

## Б қосымшасының жалғасы

```
axis([0 1.5,-0.2 2.0])
grid on
clear hold on
r1=0.3%
a1=(-90:1:90)%
b1=a1*pi/180%
x1=r1*cos(b1)%
y1=r1*sin(b1)%
plot(x1,y1)%
r2=1.3%
a2=(-90:1:90)%
b2=a2*pi/180%
x2=r2*cos(b2)%
y2=r2*sin(b2)%
plot(x2,y2)%
line([0,0],[0.3,1.3])
line([0,0],[-0.3,-1.3])
z=0.6%
x=-0.2%
while x<=1.5%
x=x+0.05% y=-1.5
while y<=1.5
y
y=y+0.05
L1=Work_space(x,y,z)
if L1
plot(x,y,'k')%
end end end
hold off title('Work space')
xlabel('Coordinate axis 0X')
ylabel('Coordinate axis 0Y')
axis([-0.2 1.5,-1.5 1.5])
grid on
function [ L ] = Work_spacem( x , y , z)% UNTITLED Summary of this function
goes here
% Detailed explanation goes here
if x.^2+y.^2 <=5% Ішкі кеңістіктің жұмысы
L1=1;% D сферасымен шектелген шар
else
L1 = 0;% әйтпесе
end
if x.^2+y.^2 >=3% Сыртқы ішкі кеңістіктің жұмысы
```

## Б қосымшасының жалғасы

```
L2=1;% D2 сферасымен шектелген шар
else
L2=0;%әйтпесе
end
if x<=0% Сыртқы ішкі кеңістіктің жұмысы
L3=1% D3 сферасымен шектелген шар
else
L3=0%әйтпесе
end
if x.^2+(y-4).^2<=1% Ішкі кеңістіктің жұмысы
L4=1% D4 жазықтығынан жоғары
else
L4=0%әйтпесе
end
end
if x.^2+(y+4).^2 <=1%Ішкі кеңістіктің жұмысы
L5=1% D4 жазықтығынан жоғары
else
L5=0%әйтпесе
end
LS1=L1&L2&L3% Логикалық шарт
LS2=(L4&L5)&L3% Логикалық шарт
L=LS1|LS2% РП сипаттайтын логикалық шарт
end
```

## В қосымшасы

```
clear hold on
r1=3% R1 радиусын орнату
a1=(-90:1:90)% Айналу бұрышының мәндерін өзгерту шектері
b1=a1*pi/180% Радиан өлшеміне көшу
x1=r1*cos(b1)% Параметрлік шеңбер теңдеуі, x мәні
y1=r1*sin(b1)% Параметрлік шеңбер теңдеуі, y мәні
plot(x1,y1)% Шеңбер нүктелерінің графигін салу
r2=5% R2 радиусын орнату
a2=(-90:1:90)% Айналу бұрышының мәндерін өзгерту шектері
b2=a2*pi/180% Радиан өлшеміне көшу
x2=r2*cos(b2)% Параметрлік шеңбер теңдеуі, x мәні
y2=r2*sin(b2)% Параметрлік шеңбер теңдеуі, y мәні
plot(x2,y2)% Шеңбер нүктелерінің графигін салу
r3=1
a3=(90:1:270)
b3=a3*pi/180
x3=r3*cos(b3)
y3=r3*sin(b3)+4
plot(x3,y3)%
r4=1
a4=(90:1:270)
b4=a4*pi/180
x4=r4*cos(b4)
y4=r4*sin(b4)-4
plot(x4,y4)%
while x<=5% X айнымалысының соңғы мәні
x=x+0.05% X айнымалысын өзгерту қадамы
z=-5% Z айнымалысының бастапқы мәні
while z<=5% Z айнымалысының соңғы мәні
z=z+0.05% Z айнымалысын өзгерту қадамы
L1=Work_space(x,y,z)% Бағдарлама функциясы
if L1% Сипаттайтын логикалық шарт, РП
plot(x,z,'.k')% Жұмыс кеңістігінің графигін құру
end
end
end
hold off title('Work space')
xlabel('Coordinate axis 0X')
ylabel('Coordinate axis 0Z')
axis([-1 5,-5 5])
grid on
```

## Г қосымшасы

### Maple бағдарламасына жазылған листинг

```

> restart;
> with(plots) : with(plottools) :
> A := proc (a, d, beta, theta) options operator, arrow; Matrix(4, 4, {(1, 1) =
cos(theta), (1, 2) = -sin(theta)*cos(beta), (1, 3) = sin(theta)*sin(beta), (1, 4) =
a*cos(theta), (2, 1) = sin(theta), (2, 2) = cos(theta)*cos(beta), (2, 3) = -
cos(theta)*sin(beta), (2, 4) = a*sin(theta), (3, 1) = 0, (3, 2) = sin(beta), (3, 3) = cos(beta),
(3, 4) = d, (4, 1) = 0, (4, 2) = 0, (4, 3) = 0, (4, 4) = 1}) end proc:

```

```

> A0 := A(Δ, 0, 0, α);

```

$$A0 := \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 & \Delta \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 & \Delta \sin(\alpha) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```

> A1 := A(0, 0, 0, β);

```

$$A1 := \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```

> A2 := A(0, h + p, -π/2, 0);

```

$$A2 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & h + p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```

> A3 := A(1-d, 0, π/2, 0);

```

$$A3 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1-d \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```

>

```

```

> T := A0.A1.A2.A3;

```

$$\begin{aligned}
 T := & [[\cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta), -\cos(\alpha) \sin(\beta) \\
 & -\sin(\alpha) \cos(\beta), 0, (\cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta)) (1-d) \\
 & + \Delta \cos(\alpha)], \\
 & [\sin(\alpha) \cos(\beta) + \cos(\alpha) \sin(\beta), \cos(\alpha) \cos(\beta) \\
 & -\sin(\alpha) \sin(\beta), 0, (\sin(\alpha) \cos(\beta) + \cos(\alpha) \sin(\beta)) (1-d) \\
 & + \Delta \sin(\alpha)], \\
 & [0, 0, 1, h + p], \\
 & [0, 0, 0, 1]]
 \end{aligned}$$



**Протокол анализа Отчета подобия  
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

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

**Автор:** Бектегенова Эсемгүл Мақсатқызы

**Название:** Үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың, жалпыланған координаттар өзгеру аралықтарына байланысты жұмыс кеңістігін логика функцияларын қолданып математикалық жазуын өңдеу

**Координатор:** Сарсенбаев Н.С.

**Коэффициент подобия 1:** 0.83%

**Коэффициент подобия 2:** 0.00%

**Замена букв:** 12

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0


**Белые знаки:** 0

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

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


Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 0.83% и Коэффициент подобия 2: 0.00%. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«\_\_» мая 202\_\_ г.  
Дата

  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**  
Дипломный проект допускается к защите.

«\_\_» мая 202\_\_ г.  
Дата

  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

### Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

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

**Автор:** Бектегенова Әсемгүл Максатқызы

**Название:** Үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың, жалпыланған координаттар өзгеру аралықтарына байланысты жұмыс кеңістігін логика функцияларын қолданып математикалық жазуын өңдеу

**Координатор:** Сарсенбаев Н.С.

**Коэффициент подобия 1:** 0.83%

**Коэффициент подобия 2:** 0.00%

**Замена букв:** 12

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

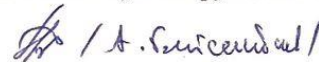
- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности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

**Обоснование:** В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 0.83% и Коэффициент подобия 2: 0.00%. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед комиссией.

«\_\_» мая 2023 г.

Дата

Подпись Научного руководителя





«Қ.И.СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ»  
КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

Бектегенова Әсемгүл Мақсатқызы

(білім алушының аты жөні)

дипломдық жұмысына

(жұмыс түрінің аталуы)

**СЫН-ПІКІР**

6B07103 – «Автоматтандыру және роботтандыру»

(оқыту бағдарламасының аталуы және шифрі)

«Үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың, жалпыланған координаттар өзгеру аралықтарына байланысты жұмыс кеңістігін логика функцияларын қолданып математикалық жазуын өндеу» тақырыбына орындалған

Орындалды:

а) графикалық бөлімі 15 бетте

б) түсініктеме жазбасы 54 бетте

жасалынған

**ЖҰМЫС ТУРАЛЫ ЕСКЕРТУЛЕР**

Бұл жұмыста үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептеу орындалған.

Үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептеу. Сонымен қатар бірнеше координаттар бере отырып, Matlab жүйесінде модельдеп, өзгерістерін қарау. Нәтижесінде роботтың қозғалыс дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмысына келесі ескертулер бар:

- қимыл дәрежелер саны көбейген жағдайда, жұмыс кеңістігінің қалай өзгеруі қарастырылмаған;

- қимыл дәрежесі сызықты қозғалу болғанда жұмыс кеңістігі және оның математикалық жазылуы қалай өзгергені көрсетілмеген.

Айтылған ескертулерге қарамай, диплом жұмысы жоғары деңгейде жасалып, практика жағынан жақсы нәтижелер табылды.

Дипломдық жұмысы 6B07103 – «Автоматтандыру және роботтандыру» оқыту бағдарламасының барлық талаптарына сәйкес келеді. Жалпы 91%, А- (өте жақсы) бағасына бағаланып, ал Бектегенова Әсемгүл Мақсатқызы 6B07103 – «Автоматтандыру және роботтандыру» оқыту бағдарламасы бойынша техника және технология саласындағы бакалавр лауазымына лайық деп есептеймін.

**Сын-пікір беруші**

Ғ. Даукеев атындағы АЭЖБУ АЖБ кафедрасының доценті, PhD докторы

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атауы)

Бәзіл Г.Д.  
(қолы)

Бәзіл Г.Д.

Қолтаңбаны растаймы

Подпись заверяю

«02» маусым 2023 ж.

Солтангажық  
(қызметі) аты-жөні  
«02» 06 2023 ж.

ҚазҰТЗУ 706-17 Ү. Сын-пікір



6B07103 – «Автоматтандыру және роботтандыру»

(ОБ аталуы және шифрі)

Бектегенова Әсемгүл Мақсатқызы

(білім алушының аты жөні)

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСЫНА

(жұмыс түрінің аталуы)

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ**

**ПІКІРІ**

Тақырыбы: «Үш қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың, жалпыланған координаттар өзгеру аралықтарына байланысты жұмыс кеңістігін логика функцияларын қолданып математикалық жазуын өндеу».

Үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың жалпыланған координаттар өзгерту арқылы жұмыс кеңістігін логикалық функциялар арқылы математикалық есептеу. Сонымен қатар бірнеше координаталар бере отырып, Matlab жүйесінде модельдеп, өзгерістерін қарау. Нәтижесінде роботтың қозғалыс дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Роботтық манипулятор адам қолының жұмысын атқаруға арналған техникалық құрылғы. Манипулятордың механизмі бірнеше қозғалыс дәрежесінен, түйықталмаған кинематикалық тізбектен, иінді механизмнен құралады. Манипулятор қолмен және автоматты басқарылатын болып екі түрге бөлінеді. Қолмен басқарылатын манипуляторлардың буындары қосымша механизмдер арқылы адамның көмегін қажет етеді. Автоматты түрде басқарылатын манипуляторлар буындарына алдын ала жасалынған қозғалыс программалары бойынша жұмыс атқаратын жетектерден беріледі. Автоматты түрде басқарылатын манипуляторды робот деп атайды.

Дипломдық жұмысын орындау кезінде Бектегенова Әсемгүл Мақсатқызы өзін өте жақсы жағына көрсетті. Берілген тапсырмаларды уақытында орындап, тәртіпті, білікті студент екені дәлелдеді. Жалпы өзінің теориялық және практикалық жағына дайындығын көрсетті. Өте жақсы инженерлік деңгейде жұмыс істей алатындығын дәлелдеді.

Диплом жұмысы барлық талаптарына сәйкес келеді. Дипломдық жұмысты 6B07103 – «Автоматтандыру және роботтандыру» оқыту бағдарламасы бойынша құрылған Мемлекеттік аттестаттау комиссиясында қорғауын ұсынамын.

**Ғылыми жетекші**

АЖБ кафедрасының қауымдастырылған профессоры, т.ғ.к., доцент  
(қызметі, ғыл. дәрежесі, атауы)

 Бейсембаев А.А.  
(қолы)

« 02 » \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2023 ж.

Ғылыми жетекшінің пікірі 706-16 КазҰТЗУ Ү.