

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ОӘК 621.865.8

Қолжазба нұсқасында

Қалиев Қажымұқан Бақбергенұлы

Магистрі академиялық дәрежесін іздену үшін

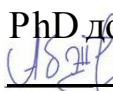
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

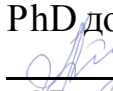
Диссертация
тақырыбы

Ғарыштық телескоптың бағытын басқару
үшін параллель құрылымды манипуляторды
қолдану

Мамандық

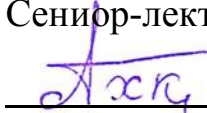
6M074600 – «Радиотехника,
электроника, телекоммуникациялар»

Ғылыми жетекші,
PhD докторы, сениор-лектор
 Қ.А. Абжапаров
«20» шілде 2020 ж.

Оппонент,
PhD докторы, сениор-лектор
 Л.Қ. Абжанова.
«25» шілде 2020 ж.

Нормобақылаушы:

Сениор-лектор, доктор PhD

 А.Хабай

«21» шілде 2020 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

ЭТЖҒТ каф. меңгерушісі

_____ И. Сырғабаев

« _____ » _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы
6М074600 – «Ғарыштық техника және технологиялар»

БЕКІТЕМІН

ЭТЖҒТ каф.меңгерушісі

_____И.Сырғабаев

« _____ » _____ 2020 ж.

магистерлік диссертация орындауға ТАПСЫРМА

Магистрант *Қалиев Қажымұқан*

Тақырыбы: *«Ғарыштық телескоптың бағытын басқару үшін параллель құрылымды манипуляторды қолдану»*

Университет ректорының «29» қазан 2018 ж. №1194-м бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «09» шілде 2020 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: *Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды робот, математикалық және компьютерлік модельдер, тәжірибе нәтижелері.*

Диссертацияда өңделетін сұрақтар, диссертацияның қысқаша мазмұны:

- 1) *Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды робот.*
- 2) *Параллель құрылымды роботтың кинематикалық және орын ауыстыру есебі*
- 3) *Параллель құрылымды роботтың гидравликалық жетегінің негізгі көрсеткіштері және олардың модельдері*
- 4) *Параллель құрылымды роботтың математикалық және компьютерлік модельдері*
- 5) *Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды роботтың басқару жүйесі және тәжірибелік нәтижелері.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

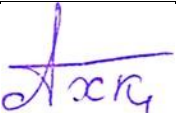
Сызбалық материалдар 18 слайдпен көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет: 1) Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. - Kluwer, Dordrecht, 2004. 2) Ceccarelli M. Problems and Procedures for Kinematic Design of Manipulators //Keynote Lecture, Proceedings of Eight National Conference on the Design of Mechanisms and Machines. - Taiwan, 2005. 3) Merlet J.P. Parallel Robots (Solid Mechanics and Its Applications). – Springer, 2006. - ISBN-10: 1402041322. 4) Шоланов К.С., Абжапаров К.А., Исследование положения платформенного робот зависимости от геометрических размеров платформы //Международный форум «Инженерное образование и наука в XXI веке: проблемы и перспективы». - Алматы, 2014, октябрь-22-23. - 419 с.

магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Ғарыштық телескопқа арналған роботтарды зерттеу	1.09.2019 - 13.12.2019	орындалды
Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды роботтың кинематикасын есептеу	20.01.2020 - 25.02.2020	орындалды
Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды роботтың математикалық және Компьютерлік модельдері	25.02.2020 – 24.04.2020	орындалды

Диссертациялық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған бөлімдерге қойған **қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	Абжапаров К.А., АжБ каф. сениор-лекторы, PhD докторы	25.02.2020 ж.	
Теориялық ақпарат	Абжапаров К.А., АжБ каф. сениор-лекторы, PhD докторы	24.04.2020 ж.	
Норма бақылау	Хабай А., ЭТЖҒТ каф. сениор-лекторы, PhD докторы	24.07.2020 ж.	

Ғылыми жетекші  Қ.А. Абжапаров

Магистрант  Қ.Қалиев

Мерзімі « 24 » шілде 2020 ж.

АҢДАТПА

Диссертациялық жұмыс ғарыштық телескоптың бағытын басқару үшін параллель құрылымды манипуляторды қолдану болып табылады. Ғарыштық робототехниканың жай-күйі мен даму перспективаларын талдау негізінде оларды жобалауды қамтамасыз ету, тренажерлер құру және пайдалану режимдерін өңдеу үшін ғарыштық робототехникалық жүйелердің динамикасын модельдеу міндеттері тұжырымдалған. Модельдердің түрлерін таңдау және роботтар конструкциясының жеке ерекшеліктерін есепке алу әдістері қарастырылған.

Қазіргі уақытта ғарыштық телескоптар кеңінен танымал, олардың көмегімен Әлемнің құрылымына қатысты көптеген маңызды ғылыми нәтижелер алынды. Алайда, осы телескоптарда базалық платформаға қатысты антеннаның қозғалысы қамтамасыз етілмейді, бірақ бұл олардың функционалдығын арттыруы мүмкін. Тек өзара тербелісті бәсеңдететін құрылғылар бар.

Жаңа ұрпақтың телескоптарында антеннаны жылжыту үшін роботты жүйелерді орнату жоспарланған. Бұл өте қиын міндет, абсолютті нөлге жақын температураның болуына байланысты, орналасудың қажетті дәлдігі, сонымен қатар ғарыш кемесі мен телескоп антеннасының өзара тербелістерін суыту қажеттілігі ескерілуі керек.

Диссертация шеңберіндегі зерттеулер келесі міндеттерді шешуді қарастырады:

1. Ғарыштық телескоптарға арналған параллель типті роботты басқару үшін кинематиканың тура және кері есебі шешілді;
2. Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды роботты кинематикалық модельдеу және оның еркіндік немесе басқарылу дәрежесінің жоғалуымен байланысты ерекшеліктерін анықтау критерийлері жасалды;
3. Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымның роботының басқарылатын қозғалысын компьютерлік моделдеу жасалды;
4. Параллель құрылымды роботты басқарудың алгоритмдерін синтездеу, қажетті заңдарға сәйкес берілген дәлдікпен қозғалыстарды қамтамасыз ету жасалды.
5. Параллель құрылымды роботтың электрогидравликалық автоматты басқарылатын жетектерінің қозғалыс реакциясын зерттеу бағдарламасы және әдістемесі жасалып шықты.

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работе рассмотрены функциональные возможности применения параллельного манипулятора для ориентацией космического телескопа. В настоящее время широко известны космические телескопы, с помощью которых получены многие важные научные результаты, касающиеся устройства Вселенной. Однако, в данных телескопах перемещения антенны относительно базовой платформы не предусмотрены, хотя это могло бы повысить их функциональные возможности. Имеют место лишь устройства для гашения взаимных колебаний.

В телескопах нового поколения планируется устанавливать робототехнические системы для перемещения антенны. Это очень сложная задача ввиду наличия температур, близких к абсолютному нулю, требуемой высокой точности позиционирования, кроме того, следует учесть и необходимость гашения взаимных колебаний космического аппарата и антенны телескопа.

Исследования в рамках диссертации предусматривают решение следующих задач:

1. решена прямая и обратная задача кинематики для управления роботом платформенного типа;
2. разработка алгоритмов структурного синтеза роботов параллельной структуры, предназначенных для космических телескопов;
3. выполнено компьютерное моделирование управляемого движения платформы робота;
4. синтез алгоритмов управления роботом параллельной структуры, обеспечивающих движения по требуемым законам с заданной точностью.
5. разработана методика и программа исследования двигательной реакции различных электрогидравлических автоматически управляемых приводов

ANNOTATION

The thesis considers the functional possibilities of using a parallel manipulator for the orientation of a space telescope. Currently, space telescopes are widely known, with the help of which many important scientific results concerning the structure of the Universe have been obtained. However, these telescopes do not provide for moving the antenna relative to the base platform, although this could improve their functionality. There are only devices for quenching mutual vibrations.

It is planned to install robotic systems for moving the antenna in the new generation of telescopes. This is a very difficult task due to the presence of temperatures close to absolute zero, the required high accuracy of positioning, in addition, it is necessary to take into account the need to dampen the mutual vibrations of the spacecraft and the telescope antenna.

Research in the framework of the dissertation provides for the following tasks:

1. the direct and inverse kinematics problem for controlling a platform-type robot has been solved;
2. development of algorithms for structural synthesis of parallel structure robots intended for space telescopes;
3. computer simulation of controlled movement of the robot platform was performed;
4. synthesis of parallel structure robot control algorithms that provide movements according to the required laws with a given accuracy.
5. developed a method and program for studying the motor reaction of various electrohydraulic automatically controlled drives.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Параллель манипуляторларды қолдану салалары және зерттеу әдістері	10
1.1 Параллель манипуляторлар	10
1.2 Параллельді құрылым манипуляторлары және оларды робототехникалық кешендер мен технологиялық процестерде қолдану	11
1.3 Ғарыштық телескоптың антеннасын бағдарлау үшін параллельді құрылым механизмдерін синтездеу	14
1.4 Ғарыштық телескоп үшін параллель құрылымды роботтарды пайдалану мүмкіндіктері	17
2 Ғарыштық телескоп үшін арналған платформалық типті параллель құрылымы бар роботты есептеу және компьютерлік модельдеу	21
2.1 Платформаны позициялау міндетін шешу	21
2.2 Обсерватория антеннасының бағдарын басқаруға арналған параллель манипуляторды математикалық, алгоритмдік және бағдарламалық қамтамасыз ету	27
2.3 Платформа қозғалысын визуализациялау кестесі	40
2.4 Ғарыштық телескоптың бағдарын басқару үшін параллельді құрылым манипуляторының геометриясын жобалау нәтижелері	41
2.5 Манипулятордың орналасуы	42
2.6 Параллель роботтың қозғалыс дәрежесінің гидрожетегін басқару модельдері мен алгоритмдері	43
2.7 Параллель робот қозғалысының дәрежесі гидрожетектің статикалық сипаттамалары	44
2.8 Параллель робот қозғалыс дәрежелі гидрожетектің динамикалық сипаттамалары	48
2.9 Төрт сілтілі золотникті параллель роботтың қозғалысының дәрежесі гидрожетектің динамикасы	51
2.10 MatLab бағдарламалық ортасында параллель роботтың қозғалу дәрежесі дроссельді гидрожетекті модельдеу	54
3 Роботты басқару жүйесін аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз ету	64
3.1 Басқару жүйесінің аппараттық бөлігі, SCADA жүйесін пайдалану	65
3.2 Екі сенсордың деректері негізінде платформалық роботтың гидравликалық жетегін басқару үшін анық емес контроллерді жобалау	68
3.3 SHOLKOR роботының қозғалыс реакциясын эксперименттік зерттеу	75
Қорытынды	78
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	79
Қосымша А	83

КІРІСПЕ

Тақырыптың өзектілігі: көптеген іргелі ғылымдарды, соның ішінде ғарыштық астрономияны дамыту ғылыми деректерді алудың жаңа тиімділігі жоғары құралдарын жасауды талап етеді. Қазіргі уақытта ғаламның құрылғысына қатысты көптеген маңызды ғылыми нәтижелер алынған ғарыштық телескоптар кеңінен танымал. Алайда, бұл телескоптарда базалық платформаға қатысты антеннаның жылжуы қарастырылмаған, бірақ бұл олардың функционалдық мүмкіндіктерін арттыруы мүмкін. Өзара тербелістерді өшіруге арналған құрылғылар ғана бар.

Жаңа буын телескоптарында антеннаны жылжыту үшін робототехникалық жүйелерді орнату жоспарлануда. Бұл өте күрделі міндет, позициялаудың жоғары дәлдігіне талап етілетін абсолютті нөлге жақын температуралардың болуына байланысты, бұдан басқа, ғарыш аппараты мен телескоптың антеннасының өзара тербелістерін өшіру қажеттілігін ескеру қажет.

Көрсетілген техникалық есепті шешу үшін параллельді құрылымның механизмдері ең қолайлы болып табылады, олар бірнеше кинематикалық тізбектері бар және жүктемені кеңістіктік фермалар сияқты қабылдайды. Бұл құрылғылар дәлдік пен жүктеме қабілеттілігінің жоғары көрсеткіштерімен ерекшеленеді, бірақ оларды ғарыш телескоптарының антенналарын манипуляциялау үшін пайдалану кезінде кейбір мәселелер туындайды. Атап айтқанда, бұл ғарыш кеңістігіндегі шарттарды есепке алу кезінде осы объектілерді құрылымдық синтездеу, моделдеу және басқару туралы сөз болып отыр.

Диссертациялық жұмыстың тақырыбы осы мәселелерді шешуге арналған және мазмұндалғанның аясында ол өзекті болып көрінеді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды роботты синтездеу, талдау, модельдеу және басқару үшін әдістер мен құралдарды әзірлеу болып табылады.

Көрсетілген мақсатқа жету үшін диссертацияда келесі **негізгі міндеттер:**

- Ғарыштық телескоп үшін арналған платформалық типті параллель құрылымды роботтың функционалдық мүмкіндіктері бойынша қолайлысын таңдау;
- ғарыштық телескоптарға арналған параллель құрылымды роботты кинематикалық модельдеу;
- ғарыштық телескоптарға арналған параллель құрылымды роботтың математикалық және компьютерлік модельдеудің жүргізу, динамикалық сипаттамаларын анықтау;
- Автоматты жетектерді басқару жүйесін құру. Платформалық роботты басқаруды автоматтандырудың аппараттық-бағдарламалық құралдарын қалыптастыру.

- Платформалық роботтың автоматты басқарылатын электрогидрожетектерінің қозғалтқыш реакцияларын аналитикалық және эксперименталды зерттеу.

Зерттеу әдістері. Диссертацияда жүйелік талдау, компьютерлік модельдеу, аналитикалық геометрия, бұрандалы есептеу, механизмдер мен роботтар теориясы, автоматты басқару теориясы әдістері қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы мен практикалық құндылығы:

Диссертациялық жұмыста келесі жаңа нәтижелер алынды:

1. Ғарыштық телескопқа арналған платформа түріндегі робот басқару үшін кинематиканың тікелей және кері міндеті шешілді;
2. Ғарыштық телескоптарға арналған робот платформасының басқарылатын қозғалысын компьютерлік модельдеу орындалды;
3. Ғарыштық телескопқа арналған параллель платформалы робот динамикасы зерттелді;
4. Электрогидравликалық жетектерді басқарудың бақылау жүйесі әзірленді;
5. Өртүрлі электрогидравликалық автоматты басқарылатын жетектердің қозғалтқыш реакциясын зерттеу әдістемесі мен бағдарламасы әзірленді.

Қорғалатын нәтижелер мен ғылыми ережелер:

1. Ғарыштық телескоптың алты басқарылатын еркіндік дәрежесі бар параллельді құрылым манипуляторының жаңа құрылымдық схемасы;
2. Параллель манипулятор платформасының орналасуы және MATLAB параллель манипулятор платформасының қозғалуы алгоритмі;
3. Ғарыштық телескоптарға арналған параллель құрылымы Робот динамикасының есептерін шешу әдістері. Автоматты басқарылатын жетек схемасы;
4. Ғарыштық телескоптың параллель құрылымы роботын басқару алгоритмдері.

1 ПАРАЛЛЕЛЬ МАНИПУЛЯТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ САЛАЛАРЫ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

1.1 Параллель манипуляторлар

Алпыс жыл бұрын 1956 жылы В.Е. Гью (В. Е. Гофа) мақаласы жарияланды, содан кейін 1965 жылы – Д. Стюарттың мақаласы жарияланды. Тіреуіштердің ұзындығы өзгерген кезде платформа кеңістіктегі өз орнын өзгертеді. Кейіннен бұл құрылғылар ғылыми әдебиетте Гью-Стюарт платформалары (гексаподтар), сондай-ақ "параллельді құрылым механизмдері" ("параллельді механизмдер") деп атала бастады. Параллельді құрылым механизмдері (ПҚМ) бірқатар пайдалы қасиеттерге ие (салыстырмалы түрде аз салмақ, жоғары жүк көтергіштік, қаттылық және жоғары дәлдік) және сондықтан қазіргі заманғы машина жасау, автомобиль жасау, өлшеу техникасы, тренажерлер мен позициялау құрылғыларын жасау, су асты және ғарыштық зерттеулер, дәлме-дәл станок жасау, сондай-ақ экстремалды жағдайларда жұмыстарды орындау сияқты салаларда өте перспективалы ретінде қарастырылады. Параллельді құрылым механизмдерінің маңызды артықшылықтарының бірі-олардың дәстүрлі манипуляторлардан айырмашылығы жабық кинематикалық тізбектер бар, сондықтан жүктемені кеңістіктік фермалар сияқты қабылдайды. Жұмыстарға [1-3] талданып, геометрия және жұмыс сипаттамалары жазық және кеңістік ХТЖ құрылымы және кинематикалық тәсілдері, және осы талдаудың негізінде жүйелеу жүргізілетін тетіктерін берумен есепке алу, олардың ерекше ережелерін. Дж. П. Мерле өз еңбектерінде ПҚМ кинематикасы мен динамикасын құрастыру және зерттеу, Грассманның геометриясын тарту арқылы олардың ерекше жағдайларын зерттеу туралы толық библиографияны ұсынды. [4, 5] жұмыстарында бұрандалар теориясының негізгі ережелерін баяндаудан басқа, кинематиканы зерттеу нәтижелері, ерекше ережелер критерийлері және ПҚМ күштік талдаудың бұрандалы алгоритмі бар, барлық ерекшеліктер осы тізбектердің матрицаларының қасиеттеріне байланысты үш топқа бөлінген. [6-10] баптарда тізбекті және параллель құрылымды роботтардың статикасын, кинематикасын және динамикасын зерделеуге бұрандалы есептеуді қолдану мәселелері қарастырылған, ал дамып келе жатқан аймақтың сандық алгебралық геометриясының [11] негізін қалаушылардың бірі кітабында механизм теориясында пайда болатын полиномдық теңдеулер жүйесін сандық шешуге алгебралық-геометриялық тәсіл қолданылады.

Жұмыс [12] тірі заттардың тірек-қимыл аппаратының қозғалысын модельдеуге және талдауға бұрандалы есептеуді қолданумен байланысты. Әр түрлі еркіндік дәрежесі бар параллель манипуляторлардың қозғалысын зерттеумен байланысты мәселелер [13-19]. М.Чеккарелли өзінің бірқатар еңбектерінде, соның ішінде трактатта [20] және бапта [21-23] манипуляторлардың кинематикасын зерттеу әдістеріне шолу жасайды.

Бұл роботтардың параллель манипуляторлары үшін кинематиканың тура есебін шешу айқын түрде жоқ. Мұндай платформалық роботтарда басқару кезінде құрылым топологиясымен байланысты, сондай-ақ пайдалану кезінде де проблемалар туындайды, мысалы, бір жетектің істен шығуы бүкіл роботтың жұмысқа қабілеттілігінің бұзылуына әкеледі.

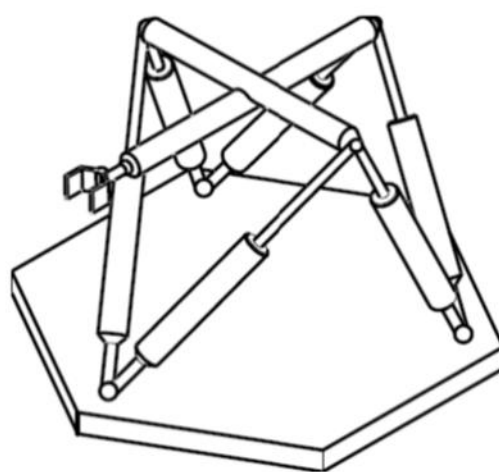
Бұл жұмыста ғарыш телескоп ретінде жаңа платформалық роботты пайдалану ұсынылады.

1.2 Параллельді құрылым манипуляторлары және оларды робототехникалық кешендер мен технологиялық процестерде қолдану

I-координаталық механизмдердің классикалық мысалдары Стюарттың платформасы және Данилевский манипуляторы болып табылады (1.1-сурет). Параллельді құрылым механизмдерінің жабық кинематикалық тізбектері бар, соның салдарынан ферма сияқты жоғары қаттылыққа ие[24-32].



а)



б)

1.1 Сурет - Параллельді құрылым механизмдері:
а) Стюарт платформасы негізіндегі тренажер; б) Данилевский манипуляторы

Өткен ғасырдың 60-80 жылдары параллельді құрылым манипуляторлары робототехника мен станок құрастыруда қарқынды қолданыла бастады. Есептеу техникасының үлкен мүмкіндіктерінің және жоғары дәлдікті позициялаудың сериялық шығарылатын желілік жетектердің пайда болуымен ПҚМ-ға қызығушылықтың артуының екінші толқыны байқалады. Үлкен зерттеу ХТЖ енгізді. Д. Стюарт, В. Гауф, А. Ш. Колискор, В. А. Глазунов, А. Ф. Крайнев, М. З. Коловский, У. С. Гохман, а. А. Кобринский, А. И. Корендясев, Л. А. Рыбак,

Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес, Х. Kong, С. Gosselin, J. Angeles, С. Ceccarelli және т. б. [32-41].

Кеңістіктік І-координаталық механизмдер бұрыннан белгілі, алайда техникада аз пайдаланылғандықтан, геометриялық және кинематикалық синтез, параллельді құрылым механизмдерін басқару жүйелерінің синтезі саласындағы зерттеулер XX ғасырдың соңы мен XXI ғасырдың басында қарқынды басталды.

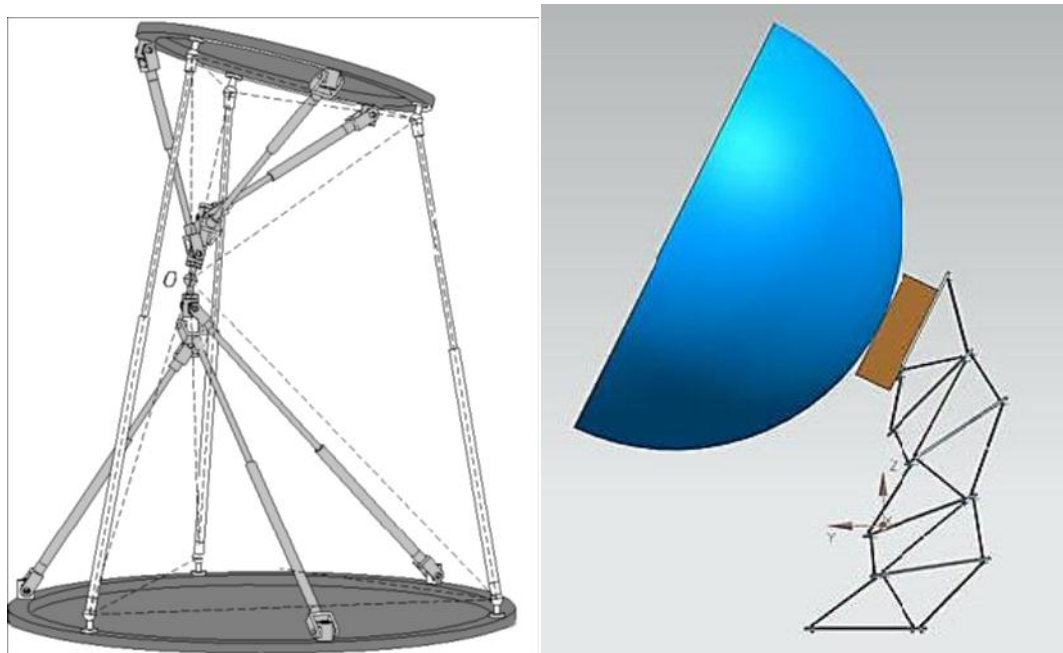
Г.Стюарт құрылымдық талдау және параллель кинематика механизмдерінің синтезі теориясының негізін қалаушылар болып табылады.

Параллельді құрылым манипуляторлары робототехникада, сынақ стендтерінде, тренажерларда, манипуляциялық жүйелерде, өлшеу аспаптарында қолданылады. [42].

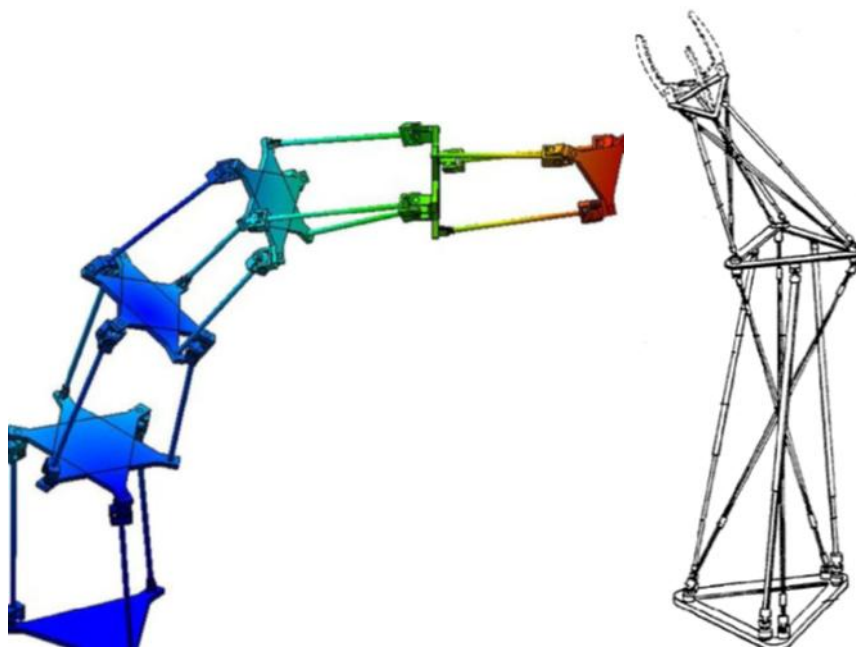
1.2.1 Параллель құрылымды аралас манипуляторлар

Параллельді құрылымның манипуляциялық механизмдерінің позициялаудың жоғары дәлдігі кезінде үлкен жүктемелерді қабылдаудың бірегей мүмкіндіктері соңғы уақытта ғалымдардың назарын аудартады, алайда параллельді құрылымның І - координаттық механизмдері жұмыс кеңістігінің шектеулі көлеміне ие. Мысалы, екі Триод негізіндегі платформа (1.2, а сурет), олардың шыңдары О нүктесінде жалғанады немесе радиотелескоптың орналасу механизмі.

Параллельді құрылым манипуляторларының түрлері - "хобот" типті көп секциялы манипуляторлар (1.3-сурет) [43-45]. Мұндай манипуляторлардың динамикасын зерттеуге арналған.



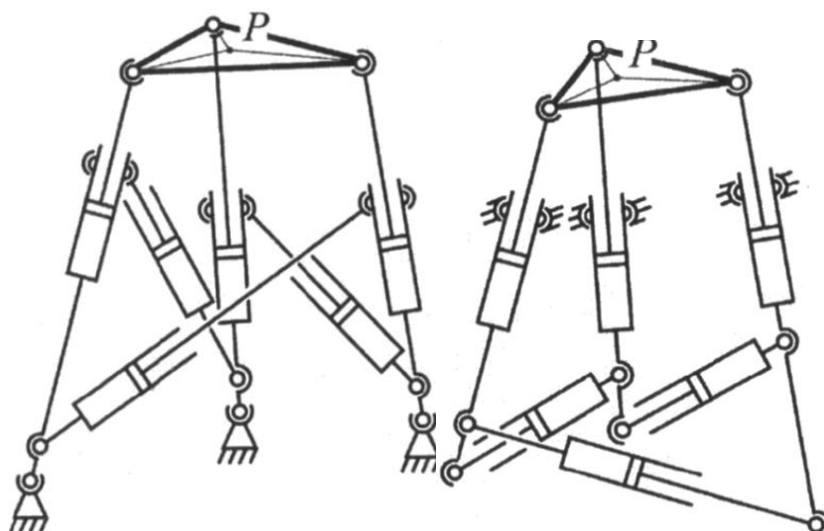
1.2 Сурет - Параллельді құрылымның аралас механизмдері



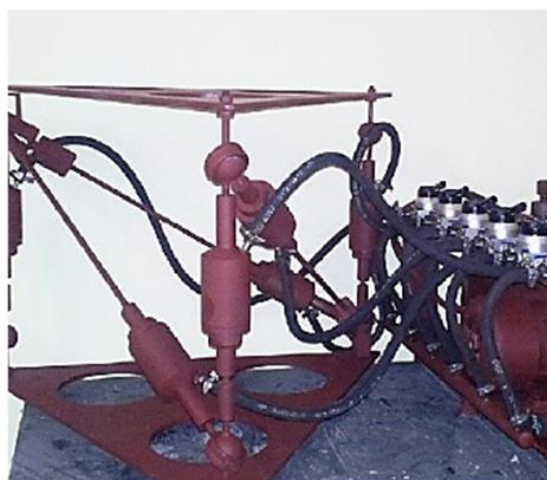
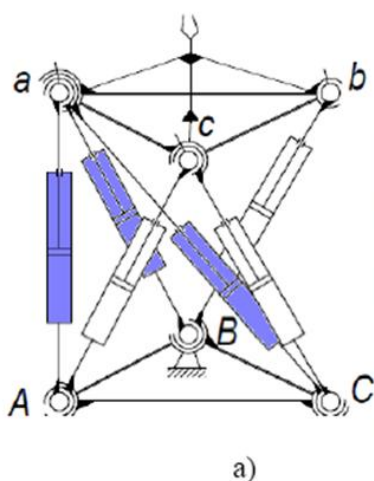
1.3 Сурет - "Хобот" типті параллель құрылымды көп секциялы манипуляторлар: а) триодтардан жасалған секциялармен; б) гексаподтардан жасалған секциялармен.

[6, 46] жұмыстарда қызмет көрсету аймағының үлкейтілген көлемімен, ерекше жағдайларды болдырмау қабілетімен және негіздің кішірейтілген өлшемімен ерекшеленетін параллель-қиылысатын және параллель-айнымалы құрылымды манипуляторлардың механизмдері қарастырылады (1.4 а, б сурет). Жұмыс авторларының айтуынша [47] осындай механизмдердің 118 базалық схемалары бар, олар тізбекті орналасқан кинематикалық тізбектер, сондай-ақ қиылысатын немесе параллель орналасқан кинематикалық тізбектер саны арасындағы өзара қатынас. Бұл ретте базалық схемалардың барлық қарастырылған нұсқалары үшін $W=6$ шығу буынының қозғалу дәрежесі. [48].

Мысалы, жылжымалы платформаның орналасу әдісімен ерекшеленетін Sholkor Parallel Manipulators (1.5-сурет) деп аталатын жаңа кеңістіктік тетіктерді алуға мүмкіндік береді. Кинематикалық схема (1.5, а сурет) үшбұрышты негізден және үшбұрышты платформадан тұрады, олар өзара алты жетек буынымен біріктіріліп, келесі түрде жинақталған: а нүктесіне платформаның үш жетек буыны, В нүктесіне бір және екі жетек буыны қосылған [21,49].



1.4 Сурет - Параллель-қиылысатын (а) және параллель - айнымалы (б) құрылымдардың координаттық механизмдері



1.5 Сурет - Sholkor параллелді құрылымды платформалық робот

1.3 Ғарыштық телескоптың антеннасын бағдарлау үшін параллельді құрылым механизмдерін синтездеу

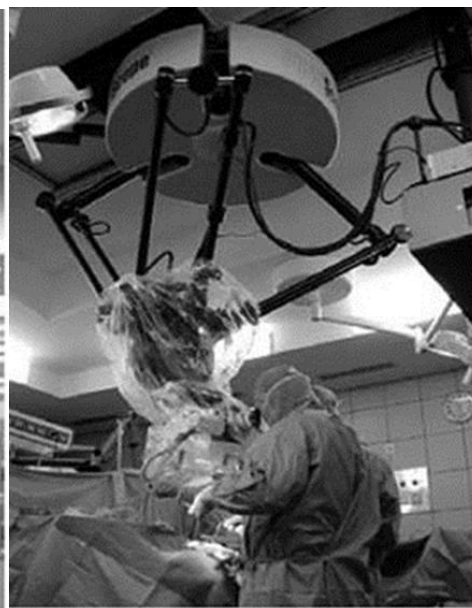
Соңғы жылдары параллельді құрылым құрылғыларын синтездеу және талдау бойынша үлкен жұмыс жүргізілуде. Олардың алғашқы қолданылуы ұшқыштарға арналған тренажерлер болды. Қазіргі уақытта бұл құрылғылар Технологиялық (1.6 а сурет), айла-шарғы, сынау, өлшеу, медициналық (1.6 б сурет) ретінде, сонымен қатар антенналарды бағдарлау үшін құрылғы ретінде

қолданылады (1.6 в сурет). Ғарыш құрылғылары жобалар бар деректерді пайдалану үшін қолданылады (1.7-сурет) [1].

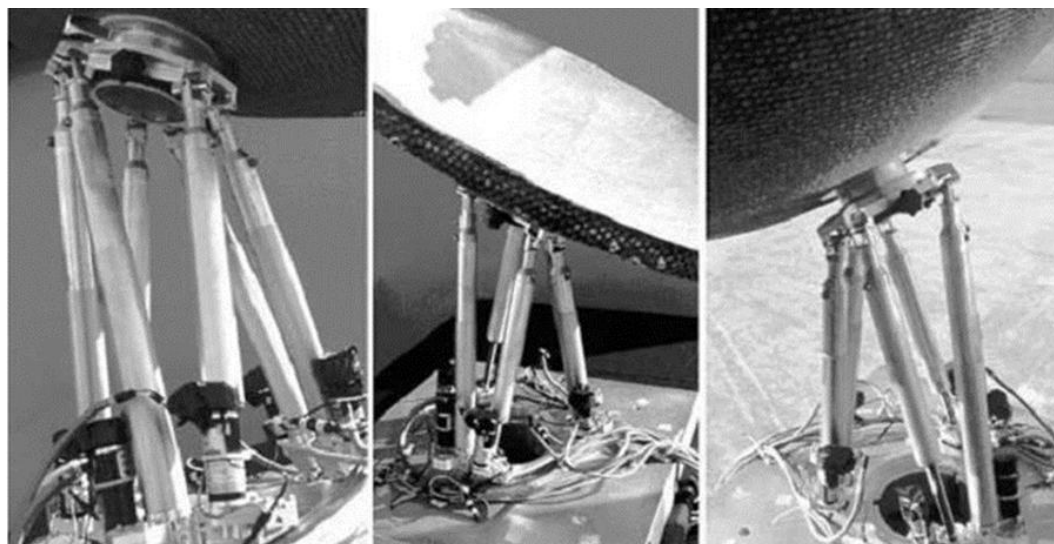
1.7- суретте ғарышта пайдалануға арналған және параллель дәйекті құрылымы бар механизмдер ұсынылған. Бұл қарапайым (1.7 а сурет) немесе ұялы (1.7 б сурет) құрылымдар болуы мүмкін. Әрбір модульдің алты еркіндік дәрежесі болуы мүмкін (1.7 в сурет).



а)

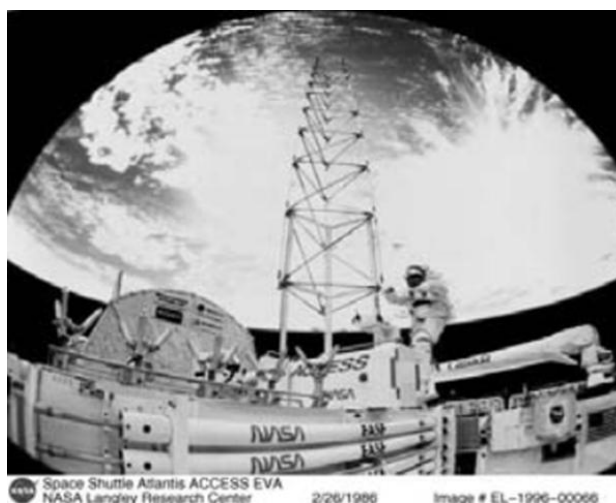


б)

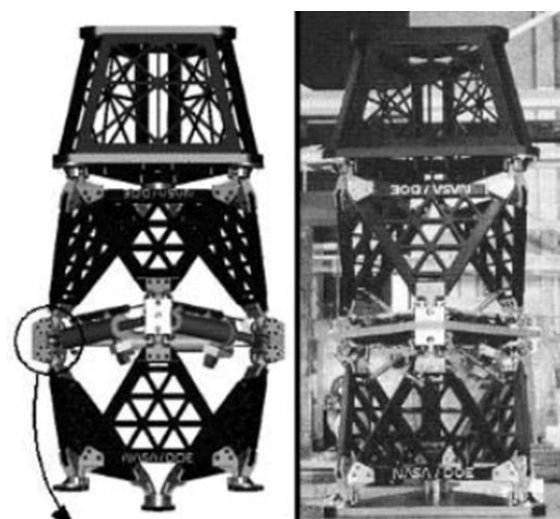


в)

1.6 Сурет - Құрылғылардың қатарлас құрылымдар үшін технологиялық мысалдары (а), манипулярлық, сынақ, өлшеу және медициналық (б) қолдану , сондай-ақ, антенналарды бағыттау (енгізілген)



a)



б)



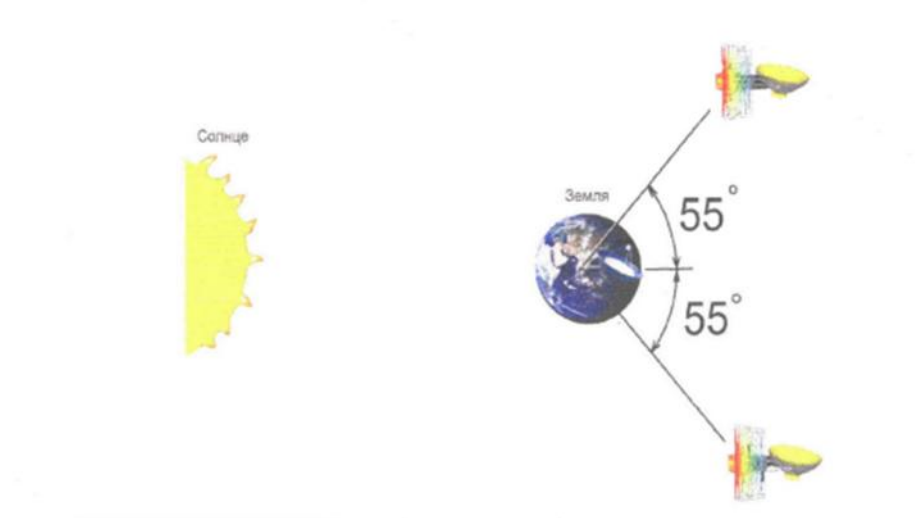
в)

1.7 Сурет - Ғарыштық қолдану үшін параллельді құрылым құрылғыларының мысалдары

Параллель құрылым механизмдері жоғары функционалдық қасиеттерімен сипатталады, себебі олардың жоғары дәлдігімен, жүк көтергіштігімен, негіздегі жетектерді орнату мүмкіндігі бар. Бұл қасиеттер ғарыштық радиотелескоптың бағыттау жүйесін әзірлеу міндеті үшін өте маңызды.

1.4 Ғарыштық телескоп үшін параллель құрылымды роботтарды пайдалану мүмкіндіктері

Параллельді құрылымды роботтарды ғарыштық телескопты жасау кезінде қолдануға болады. "Хаббл", "Гершель", "Кеплер" және т.б. кең танымал ғарыштық телескоптардың бірі болып табылады, олардың көмегімен әлемнің құрылымына қатысты көптеген маңызды ғылыми нәтижелер алынды. Бұл телескоптарды орнатуға жоспарланған робототехникалық жүйелер жылжыту үшін антенна қолданылады. Бұл абсолюттік оққа жақын температуралардың болуына байланысты позициялаудың жоғары дәлдігіне талап етілетін өте күрделі міндет, сонымен қатар өзара тербелістерді өшіру қажеттілігін ескеру қажет. Қазіргі уақытта "Миллиметрон" жаңа буындағы ғарыштық радиотелескоп құру бойынша жұмыстар жүргізілуде, ол Лаграйж нүктелерінің бірінде 1,5 млн.км жерді алып тастауда жұмыс істеуі тиіс. (1.8 - сурет). "Миллиметр" ғарыш обсерваториясын құру кезіндегі маңызды мәселелердің бірі - диаметрі 10-12 м. ашылатын телескопты 0,3-0,1секунд бұрышқа дейінгі дәлдікпен бағыттау міндеті болып табылады. Күн жылуынан телескопты қорғау үшін Күнге тұрақты бағытталған радиациялық экрандары бар ғарыш аппаратының қатты емес гантел тәрізді конструкциясымен жабдықтайды.



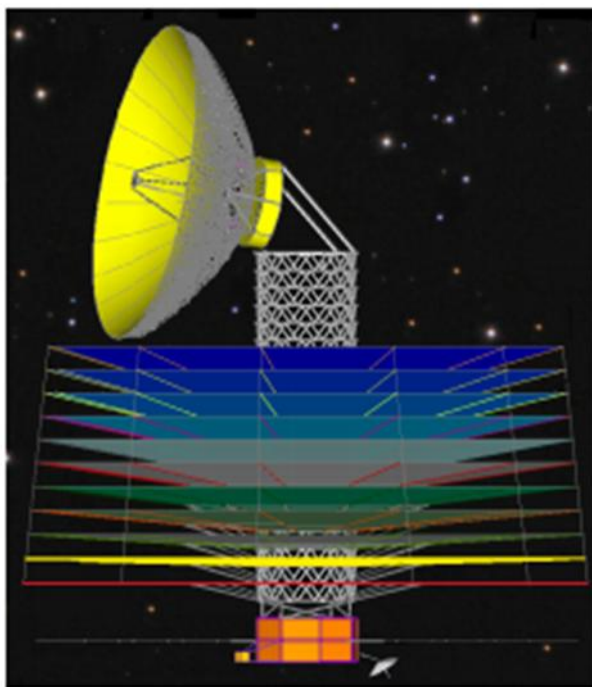
1.8 Сурет - Миллиметрон жаңа буындағы ғарыштық радиотелескоп

Бұл қондырғыда параллель құрылымы робот болып табылатын арнайы көп функциялы манипуляторлы құрылғы қолданылады.

Бағыттау манипуляторын пайдалану мыналарды қамтамасыз етуі тиіс: телескоптың көлік жағдайынан жұмыс жағдайына жылжуы; телескоптың радиациялық салқындату жүйесінің экрандарымен шектелген жартылай сферадағы кез келген кеңістіктік бұрышына телескоптың бағытталуы; телескоптың масса орталықтары мен ғарыш аппаратының өзгермейтін жағдайларына телескоптың бағытталуы; ғарыш аппаратын бағдарлау; телескоптың тұрақтандырушы тербелістерін төмендету; ғарыш аппаратының маховиктерін түсіру және басқа да міндеттер.

Нәтижесінде болжанатын құрылғы орбиталық астрофизикалық обсерваторияның навигациялық міндеттерін қамтамасыз ету үшін трансформацияланатын көп функциялы ғарыштық робот параллельді құрылым манипуляторы болып өзгертілуі тиіс.

Телескоп антеннасының ғарыш аппаратына қатысты өзара бұрылуы үшін антеннаны бекітілген оське айналдыратын сызықтық қозғалтқыштарды пайдалану жоспарланған (1.9-сурет). Бұл ретте масса орталығының жағдайы қатты өзгереді.



1.9 Сурет - "Миллиметрон" обсерваториясының жалпы түрі

Бұл жүйелер өте жоғары функционалдық қасиеттерімен сипатталады, себебі олардың жоғары дәлдігімен, жүк көтергіштігімен, негіздегі жетектерді орнату мүмкіндігі бар. Бұл қасиеттер ғарыштық телескоптар үшін қозғалтқыш жүйелерін әзірлеу міндеті үшін өте маңызды.

Машинатану институтында. РФА бұрын техникалық міндеттердің кең шеңберін шешу үшін, атап айтқанда аэродинамикалық құбырдағы аэроғарыштық жүйелердің модельдерін айла - шарғы жасау үшін, вакуумдағы

аса дәлдікті айла-шарғы жасау үшін, технологиялық және өлшеу жүйелері үшін нақты схемалар әзірленді [50-56]. Осы жүйенің талдауының маңызды аспектілері бірқатар авторлармен қаралды. Осы негізде ғарыштық телескоптар элементтерін манипуляциялау проблемасының техникалық шешімдері жасалуы мүмкін. Телескоп антеннасының ғарыштық аппаратқа қатысты өзара бұрылуы үшін механизмді үш еркіндік дәрежесімен қатар қолдану орынды (1.9 - сурет).

Басқа тәсіл-бұл массалар орталығын сақтай отырып, жазықтықта антеннаның қозғалысын қамтамасыз ететін роботты синтездеу. Бұл ретте екінші бұрылыс ғарыш аппаратының қозғалтқыштарымен жүзеге асырылуы тиіс.

Мүмкін болатын құрылымдық сипаттамалардың болуын ескеру қажет. Бұл роботтың бірнеше кинематикалық тізбектері болуы мүмкін. Бұл байланыстар еркіндік дәрежелерінің белгілі бір санын негіздейді. Бірақ бұл байланыстар азғындайтын сингулярлық орын бар. Осы ережелерде робот қосымша қозғалысқа ие болады және еркіндік дәрежелерінің лезде саны жетектер санына қарағанда көп болады. Бұл сингулярлықтардың ең қауіпті түрлерінің бірі. Мұндай сингулярлықты болдырмау үшін робот барлық кинематикалық тізбектер қайталанатын бірдей байланыстарды жасайтындай етіп жасалуы керек. Бұл жағдайда құрылымдық сингулярлық жоқ.

Біз құрылымдық сингулярлықтың үлгісін ұсынамыз. Бұл шығу буынының айналмалы қозғалыстарына арналған үш еркіндік дәрежесі бар робот. Оның айрықша ерекшелігі - әрбір тізбектің кіріс және шығыс айналмалы кинематикалық жұптарының осьтерінің қиылысуы.

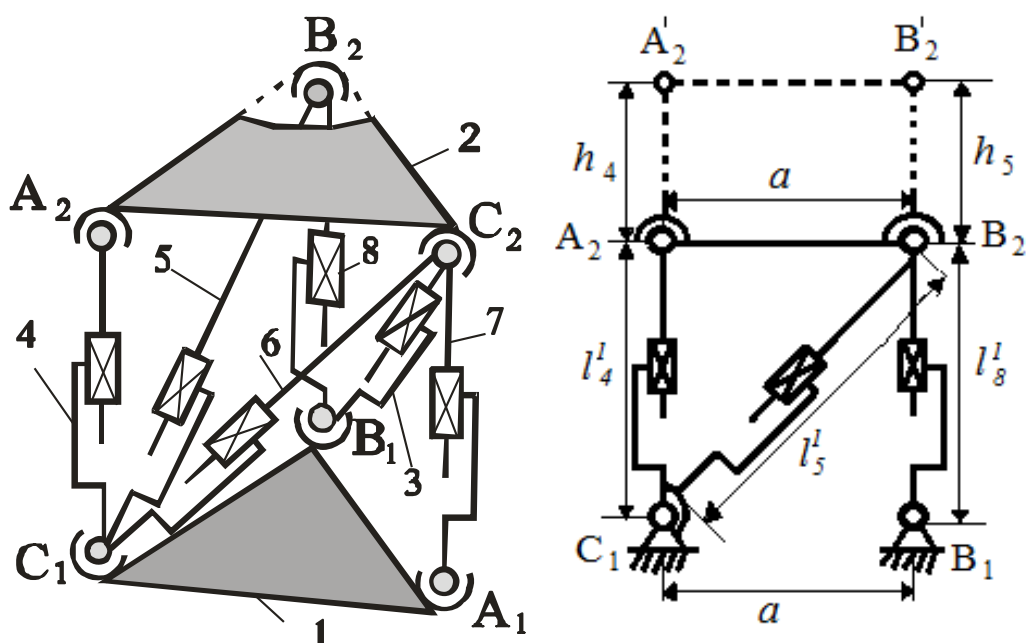
Аралық айналмалы кинематикалық жұптар ХОҮ жазықтығына параллель осінің сингулярлығы пайда болғанда, шығыс буынының тік қозғалу мүмкіндігі бар. Бұл қозғалыс негізгі емес және функционалдық мүмкіндіктерді бұзу болып табылады. Әлбетте, мұндай жағдайлардан аулақ болу керек.

Келесі тарауда антеннаның еркін дәрежесі әртүрлі антенналардың орын ауыстыруын қамтамасыз ету жұмыстары ұсынылады, бұл ретте барлық қарастырылған роботтар құрылымдық сингулярлыққа ие болмайды.

2 ҒАРЫШТЫҚ ТЕЛЕСКОП ҮШІН АРНАЛҒАН ПЛАТФОРМАЛЫҚ ТИПТІ ПАРАЛЛЕЛЬ ҚҰРЫЛЫМЫ БАР РОБОТТЫ ЕСЕПТЕУ ЖӘНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

2.1 Платформаны позициялау міндетін шешу

Бұл манипулятор алты жалғау буынымен (ЖБ) қосылған екі платформадан тұрады.



2.1 Сурет - Ұсынылған жаңа параллель манипулятор
а) құрылымдық схема; б) l_i мәндерімен кинематикалық схема

2.1 суретте а) параллель манипулятордың ұсынылған конструкциясының құрылымы көрсетілген, негізгі бөліктері: 1, тұрақты платформа, 2, жылжымалы платформа және 3-8, желілік жетекпен алты байланыс болып табылады.

Буындардың ұзындығын өзгерту принципін көрсету үшін 2.1 б) суретте көрсетілгендей, буындары бар манипулятордың кинематикалық схемасының бөлігі l_4, l_5, l_8 . Буындардың ауыспалы ұзындығы $l_i = l_i^1 + h_i$ ($i = 3, \dots, 8$), олар кіріс деректері болып табылады.

Мұнда, l_i^1 - жалғағыш буындардың бастапқы ұзындығы, h_i - жетек механизмінің көмегімен жасалатын қозғалысқа байланысты СЗ ұзындығының өзгеруі. Жылжымалы және стационарлық платформалардың нүктелері $A_1B_1C_1$ және $A_2B_2C_2$ а жақтарымен дұрыс үшбұрыштарды құрайды деп болжануда. Басқа қосылымдардың ұзындығы бастапқыда призма түрінде платформаның конфигурациясын алу үшін таңдалған. Сонымен қатар, қабырғалардың ұзындығы $l_4^1 = l_7^1 = l_8^1 = ka$; призманың тіктөртбұрыштарының диагоналі да тең

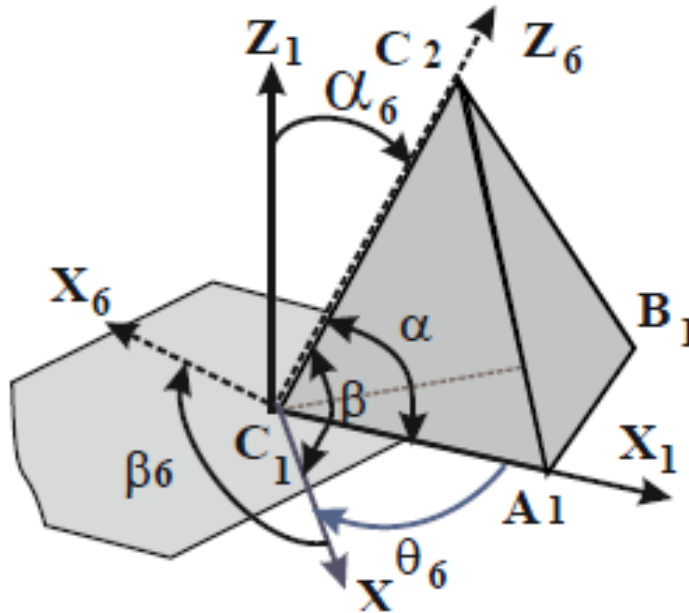
$l_3^1 = l_5^1 = l_6^1 = a\sqrt{1+k^2}$, мұнда k - коэффициент практикалық себептер бойынша таңдалады.

Содан кейін, аналитикалық нысандағы параллель манипулятор үшін енгізілген бастапқы деректерді пайдалана отырып, ол кинематиканың тікелей міндеті шешіледі. Бұл жағдайда координаттар жүйесін түрлендіру әдісі қолданылады, жұмыста хабарланғандай сегіз параметрге сәйкес [57]. Mathcad түрлендіру матрицасын қалыптастыру және олармен операцияларда қолданылады.

Жоғары платформаның C_2 торабының орналасуын анықтау үшін $C_2A_1B_1C_1$ пирамидасын қарастырамыз (2.1-сурет). Бастапқы кезде $C_1X_1Y_1Z_1$ базалық координат жүйесінің осін таңдаңыз. 1 платформасына байланысты $C_1X_1Y_1Z_1$, координаттар жүйесінің басталуы C_1 торабында таңдалады. C_1X_1 осі Ск $A_1B_1C_1$ үшбұрышының A_1C_1 жағы бойынша бағыттайды. C_1Z_1 осін $A_1B_1C_1$ үшбұрышына перпендикуляр жазықтықта бағыттаймыз.

C_2 торабы кеңістіктегі нүкте ретінде 3 дәрежелі еркіндікке ие, торап жағдайы h_3, h_6, h_7 қосқыш буындардың орын ауыстыруына байланысты 3,6,7.. C_2 торабының орналасуын анықтау үшін тәуелділікті алу үшін базалық жүйелерге сәйкес келетін координата жүйесіне дейін C_1-C_2 , $C_1-B_1-C_2$, $C_1-A_1-C_2$ жолдары бойынша үш жалғастырушы тізбектер арқылы координаталардың жылжымалы жүйелерін түрлендіруді орындайды. Бұл ретте жалғағыш буындармен байланысты координаттардың жылжымалы жүйелерінің басталуын сфералар орталықтарында, Z осьтерін таңдаймыз, жалғастырушы буындарының осьтері бойынша, X осьтері бойынша бағыттаймыз – бүйір қырының жазықтығында Z осьтеріне перпендикуляр бағыттаймыз.

Бастапқы кезде $C_1X_6Y_6Z_6$ 6 жалғастырғыш буынмен жалғанған координаталарының жылжымалы жүйесін $C_1X_1Y_1Z_1$ базалық координат жүйесіне түрлендіруді қарастырайық. Бұл түрлендіру 2.5 суретте көрсетілгендей, $C_1X_1Y_1Z_1$ жүйесінің тізбекті қозғалыстарының бірқатар $C_1X_6Y_6Z_6$ координаттар жүйесімен толық сәйкес келгенге дейін жүзеге асырылады. Түрлендіру кезінде алғашқы қозғалыс $O_1X_1Y_1Z_1$ жүйесінің C_1X_1 осі C_1Z_6 ($\beta = \pi/2$) осіне перпендикуляр орналасқанға дейін C_1Z_1 осінің айналасында шашу бұрышына бұрылуы болады. C_1X_1 осінің жаңа ережесі C_1X болып белгіленген C_1X . $C_2A_1C_1$ беті ($A_1C_1A_2C_2$ призманың бүйірлік қыры 2.5 суретте $C_1X_1Y_1$ негізінің екі қырлы $\angle C$ бұрышын құрайды.



2.2 Сурет - Базалық пирамида және 6,7 және 3 буыны бойынша түрлендіру параметрлері

2.2 - суреттің пирамидасының геометриясы векторларды пайдалана отырып сипатталуы мүмкін:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_{C2}^0 &= \mathbf{A}_6^0 \mathbf{r}_6, \quad \mathbf{r}_{C2}^0 = (x_{C2} y_{C2} z_{C2} 1)^T, \quad \mathbf{r}_6 = (0 \ 0 \ l_6 \ 1)^T, \\ \mathbf{r}_3 &= (0 \ 0 \ l_3 \ 1)^T, \\ \mathbf{r}_{C2}^0 &= \mathbf{A}_{07}^0 \mathbf{A}_7^{07} \mathbf{r}_7, \quad \mathbf{r}_7 = (0 \ 0 \ l_7 \ 1). \end{aligned} \quad (2.1)$$

Манипуляция теңдеулері (2.1) C2 нүктесінің координаттарын және 3, 6, 7 бұрыштарын мына формада береді:

$$\begin{aligned} \alpha_7 &= \sin^{-1} \left(\frac{B \cdot a}{F \cdot B - G \cdot A} \right) \\ y_{C2} &= -G \cdot \frac{B \cdot a}{F \cdot B - G \cdot A}, \quad z_{C2} = l_7 \cdot \cos(\alpha_7). \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\alpha_6 = \sin^{-1} \left(\frac{x_{C2}}{A} \right), \quad \alpha_3 = \cos^{-1} \left(\frac{z_{C2}}{l_3} \right)$$

Мұнда қосымша айнымалылар енгізілді:

$$\begin{aligned} A &= l_6 \cdot \sin(\theta_6), \quad B = l_6 \cdot \cos(\theta_6) \\ F &= l_7 \cdot \sin(\theta_7), \quad G = l_7 \cdot \cos(\theta_7) \end{aligned}$$

В2 жағдайы тетраэдра геометриясынан 2,5 а суретінде анықталуы мүмкін, алайда В₂ C₂B₂ радиуысы бар сфера бетінде орналасқан. Осылайша, В2 позициясы матрицаның теңдеуімен анықталуы мүмкін, сегіз формадағы параметрлермен көрінетін матрицалардан:

$$\begin{aligned} & \mathbf{A}_5^0, \mathbf{A}_{08}^0, \mathbf{A}_8^{08} \\ & \mathbf{r}_{B2}^0 = \mathbf{A}_5^0 \mathbf{r}_5, \mathbf{r}_5 = (0 \ 0 \ l_5 \ 1)^T, \\ & \mathbf{r}_{B2}^0 = \mathbf{A}_{08}^0 \mathbf{A}_8^{08} \mathbf{r}_8, \mathbf{r}_8 = (0 \ 0 \ l_8 \ 1)^T. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Шарт былайша саналады:

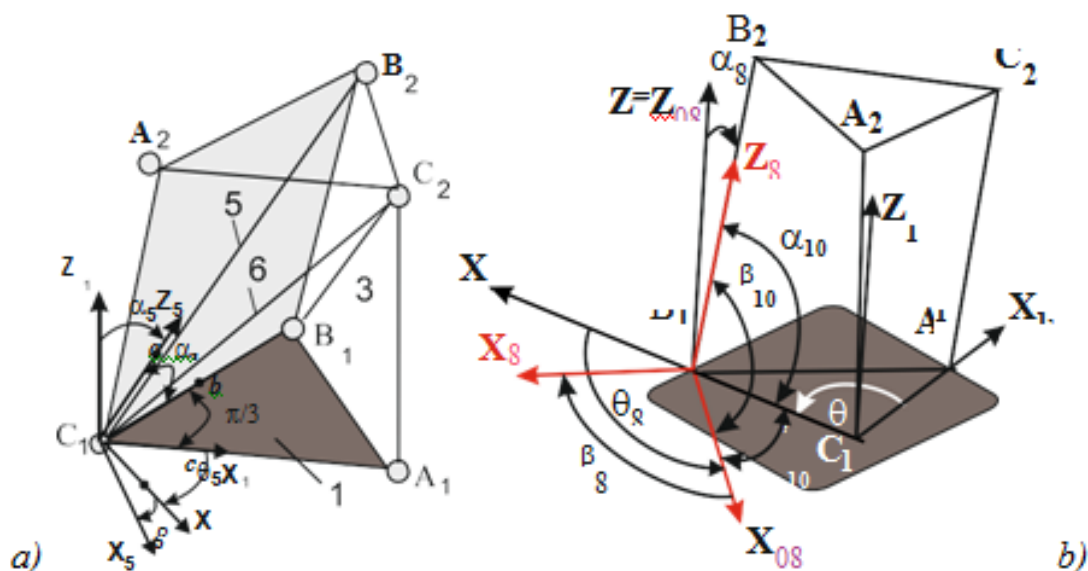
$$(x_{C2} - x_{B2})^2 + (y_{C2} - y_{B2})^2 + (z_{C2} - z_{B2})^2 - a^2 = 0 \quad (2.4)$$

(2.3) және (2.4) теңдеулерінің шешімдері береді:

$$\begin{aligned} \alpha_8 &= \sin^{-1} \left[\frac{a(A1\sqrt{3} - B1)}{A1 \cdot D1 + B1 \cdot C1} \right], \quad z_{B2} = (h_8 + l_8) \cos(\alpha_8) \\ (x_{B2})_{1,2} &= \frac{-P \pm \sqrt{P^2 - U1(1+k^2)}}{1+k^2} \\ y_{B2} &= \frac{B1 \cdot x_{B2}}{A1}, \quad \alpha_5 = \sin^{-1} \left(\frac{x_{B2}}{A1} \right) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Мұнда қосымша айнымалылар енгізілді: A₁, B₁, C₁, D₁, k, U, P.

$$\begin{aligned} A1 &= \sin(\theta_5) \cdot l_5, \quad B1 = -\cos(\theta_5) \cdot l_5, \quad C1 = [\sin(\theta_8 + \sqrt{3} \cos(\theta_8))] \cdot l_8, \\ D1 &= [\cos(\theta_8) - \sqrt{3} \sin(\theta_8)] \cdot l_8, \quad U = \{z_{C2} - l_8 \cdot \cos \left[\frac{a(A1\sqrt{3} - B1)}{A1 \cdot D1 + B1 \cdot C1} \right]\}^2 - a^2 \end{aligned}$$



2.3 Сурет - Кинематикалық мәні бар тэтраэдр геомертиясы: (а) тізбекті C_1-B_2 ; (b) $C_1-B_1-B_2$ тізбекті

Сондықтан A_2 координаттары келесі үш теңдеуді қанағаттандыруы керек:

$$\begin{aligned} (x_{A_2} - x_{B_2})^2 + (y_{A_2} - y_{B_2})^2 + (z_{A_2} - z_{B_2})^2 - a^2 &= 0, \\ x_{A_2}^2 + y_{A_2}^2 + z_{A_2}^2 - (l_4 + h_4)^2 &= 0, \\ (x_{C_2} - x_{A_2})^2 + (y_{C_2} - y_{A_2})^2 + (z_{C_2} - z_{A_2})^2 - a^2 &= 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

(2.6) теңдеуінің шешуі бұл:

$$\begin{aligned} (z_{A_2})_{1,2} &= \frac{-v \pm \sqrt{v^2 - 4 \cdot \mu \cdot \tau}}{2\mu} \\ x_{A_2} &= \frac{\frac{1}{2}(\varepsilon \cdot y_{C_2} - \eta \cdot y_{B_2}) + (z_{C_2} \cdot y_{B_2} - z_{B_2} \cdot y_{C_2}) \cdot z_{A_2}}{x_{B_2} y_{C_2} - x_{C_2} y_{B_2}} \\ y_{A_2} &= \frac{\frac{1}{2}(\eta \cdot x_{B_2} - \varepsilon \cdot x_{C_2}) + (z_{B_2} \cdot x_{C_2} - z_{C_2} \cdot x_{B_2}) \cdot z_{A_2}}{x_{B_2} y_{C_2} - x_{C_2} y_{B_2}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

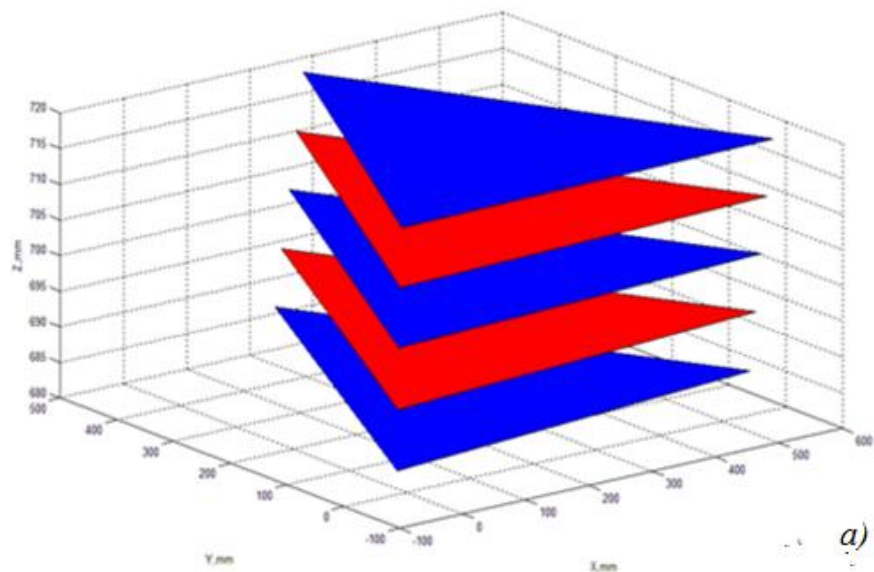
(2.7) формулада қолданылған мәндер береді:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= (l_5)^2 - a^2 + (l_4)^2, \quad \eta = (l_6)^2 - a^2 + (l_4)^2, \\ Q &= y_{C_2}^2 + x_{C_2}^2, \quad R = y_{B_2}^2 + x_{B_2}^2, \\ S &= y_{C_2} y_{B_2} + x_{C_2} x_{B_2}, \quad T = y_{C_2} x_{B_2} - x_{C_2} y_{B_2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu &= Qz_{B_2}^2 + Rz_{C_2}^2 - 2Sz_{B_2}z_{C_2} + T, \\ \nu &= -\varepsilon Qz_{B_2} - \eta Rz_{C_2} + \eta Sz_{B_2} + \varepsilon Sz_{B_2} \\ \tau &= Q\varepsilon^2/4 + R\eta^2/4 - S\varepsilon\eta/2 - (x_{B_2}y_{C_2} - x_{C_2}y_{B_2})^2(l_4)^2\end{aligned}$$

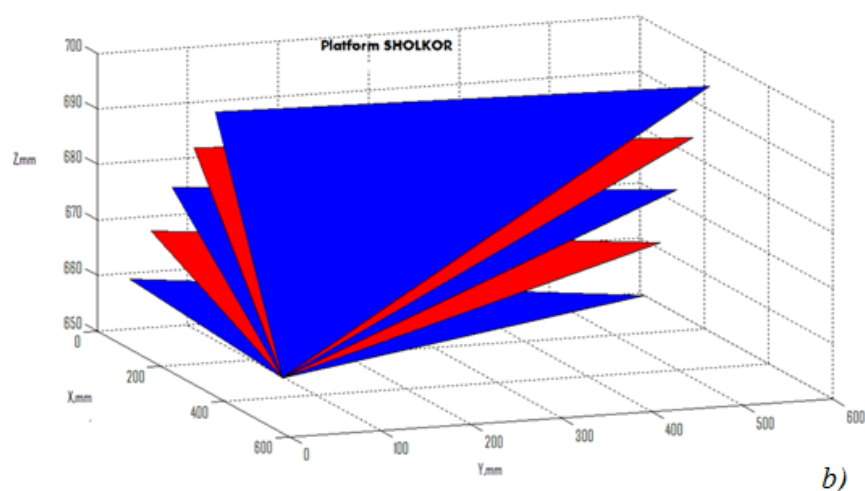
C_2 нүктесінің позициясы l_3, l_6, l_7 звенолардың 3,6,7 ұзындықтарымен анықталады; B_2 жағдайы l_5, l_8 звеноларымен анықталады, сондай-ақ C_2 жағдайына байланысты; ал A_2 жағдайы l_4 ұзындығымен анықталады және C_2 және B_2 жағдайына байланысты. Осылайша, (2.1) ден (2.7) дейінгі теңдеу арқылы платформа конфигурациясы есептелуі мүмкін. Мысал ретінде, Matlab арқылы алынған алгоритм негізінде есептер жасалып, диаграммалар жасалды (2.4,а сурет), сфералық қозғалыс (2.4 б сурет).

Есептеулерде қабылданды: $a=580\text{ mm.}; k=1.2$; үдемелі қозғалыс үшін: $h_4=h_7=h_8=8\text{ мм.}, h_3=h_5=h_6=6\text{ мм.}$; сфералық қозғалыс үшін $h_3=h_6=h_7=0., h_4=h_5=h_8=8\text{ мм.}$ Цикл саны $N=5$.



а) үдемелі қозғалыс; б) сфералық қозғалыс

2.4 Сурет - (2.1) (2.7), формулалар арқылы платформаның орны есептеу графигі

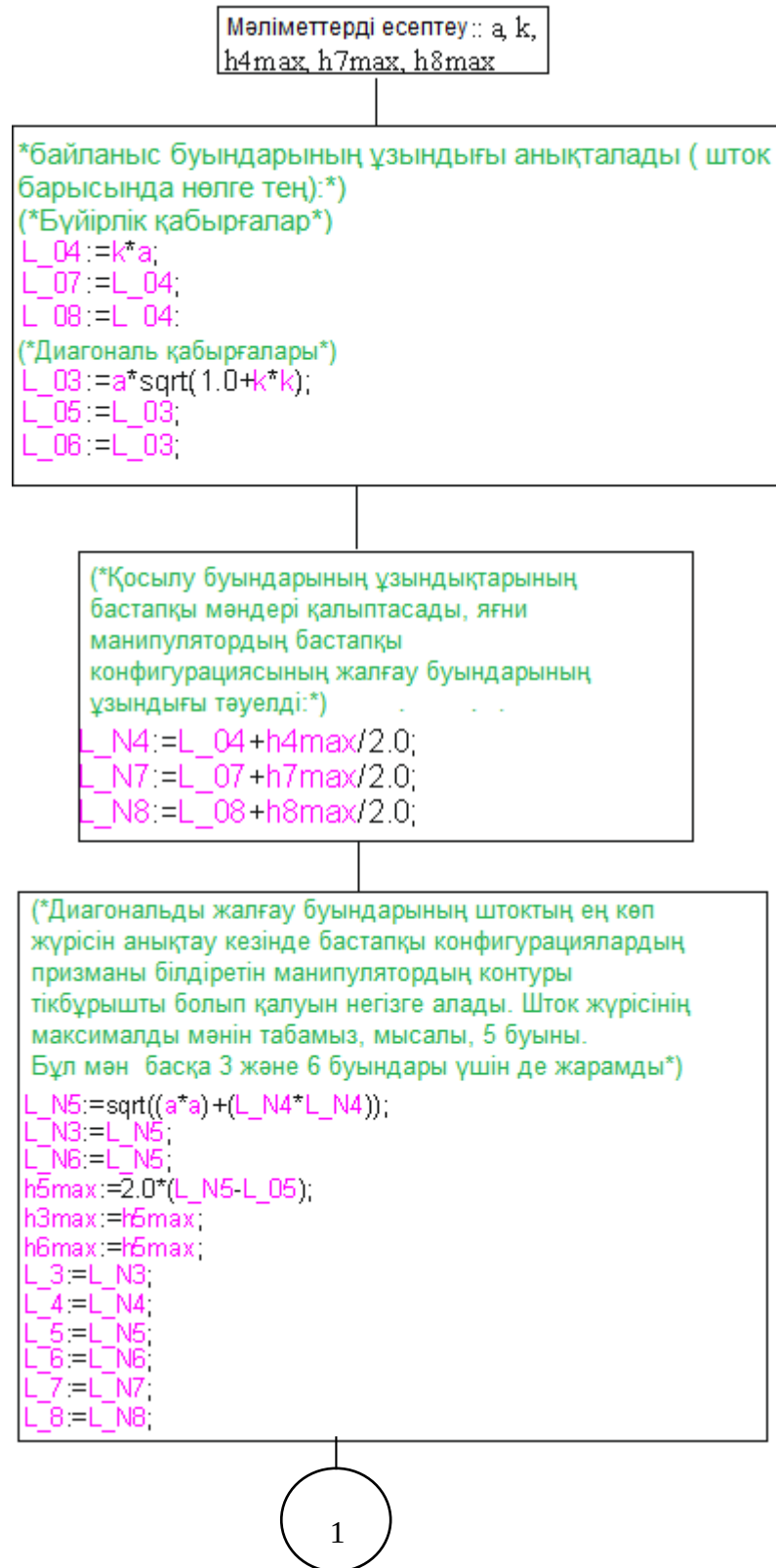


2.4 Сурет - Платформа есептеу графигі а)) үдемелі қозғалыс; б) сфералық қозғалыс

2.2 Обсерватория антеннасының бағдарын басқаруға арналған параллель манипуляторды математикалық, алгоритмдік және бағдарламалық қамтамасыз ету

Робот жоғарғы платформа қозғалысының қажетті көлемін қамтамасыз ете алатын қаншалықты зерттеу үшін MatLab бағдарламасын қолданумен компьютерлік модельдеу жасалды. Бағдарлама қозғалмалы буындармен байланысқан координат жүйелерін координаталардың қозғалмайтын жүйесіне түрлендіру жолымен алынған алгоритм негізінде және біртекті түрлендіру матрицаларының көмегімен осы түрлендірулерді сипаттау негізінде құрылған.

Робот үшін блок схема



1

Бастапқы орнында қозғалмайтын платформамен байланысқан қозғалмайтын жүйе координатасына қатысты қозғалмалы платформаның үш түйінінің координатасы анықталады:

$$x_{NM}=y_{NM}=0; z_{NM}=l_{NB}; x_{NB}=a/2; y_{NB}=a\sqrt{3}/2; z_{NB}=l_{NB}; x_{NC}=a; y_{NC}=0; z_{NC}=l_{NB}.$$

$$x_{A2}=y_{A2}=0, z_{A2}=l_{NB}; x_{B2}=a/2, y_{B2}=a\sqrt{3}/2, z_{B2}=l_{NB}; x_{C2}=y_{C2}=0, z_{C2}=l_{NB}.$$

Қозғалмайтын үш түйінмен нүктенің координатасы анықталады: D_1, F_1, E_1 :

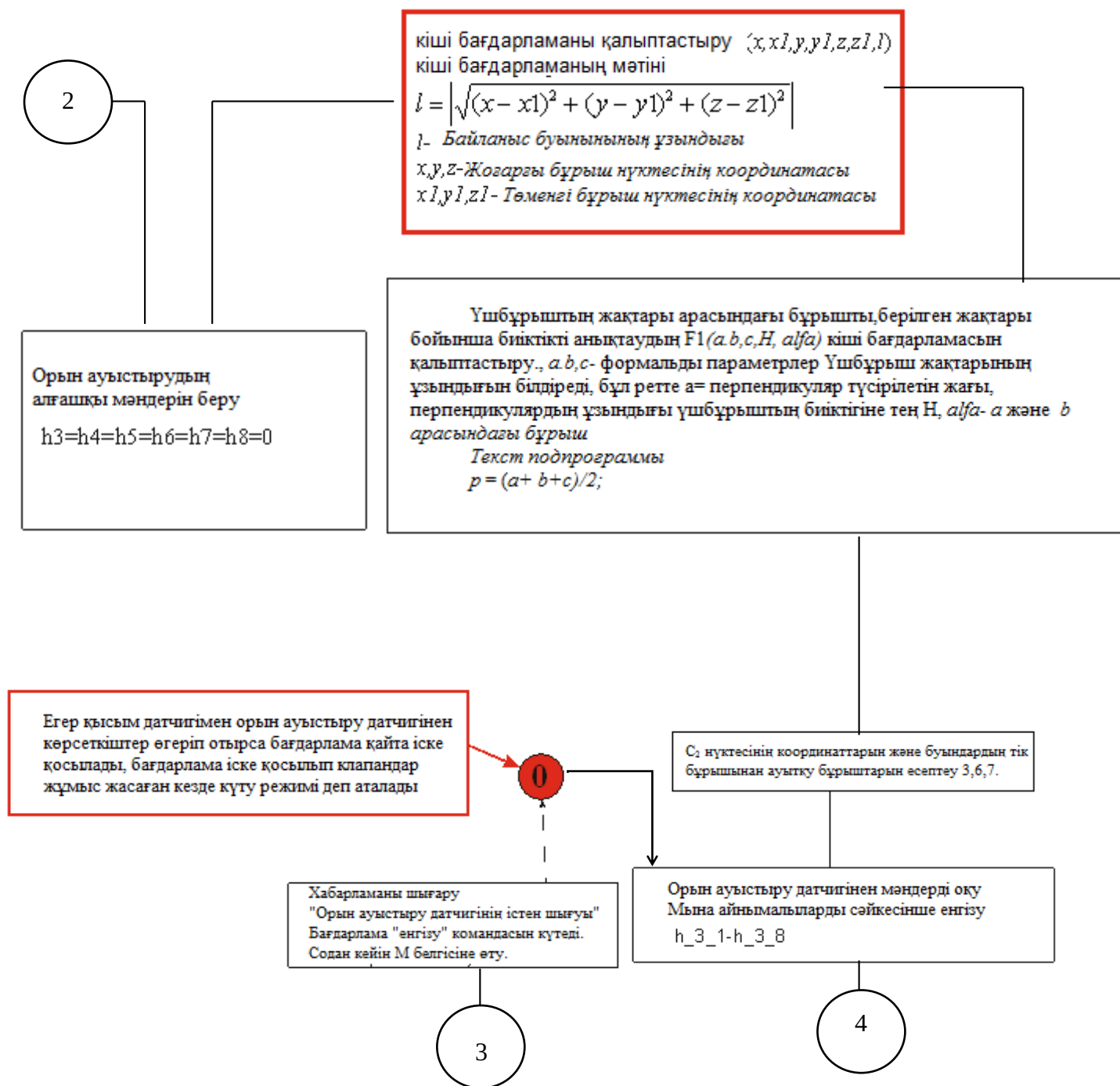
$$x_{C1}=y_{C1}=z_{C1}=0; x_{D1}=a/2, y_{D1}=a\sqrt{3}/2, z_{D1}=0; x_{A1}=a, y_{A1}=z_{A1}=0;$$

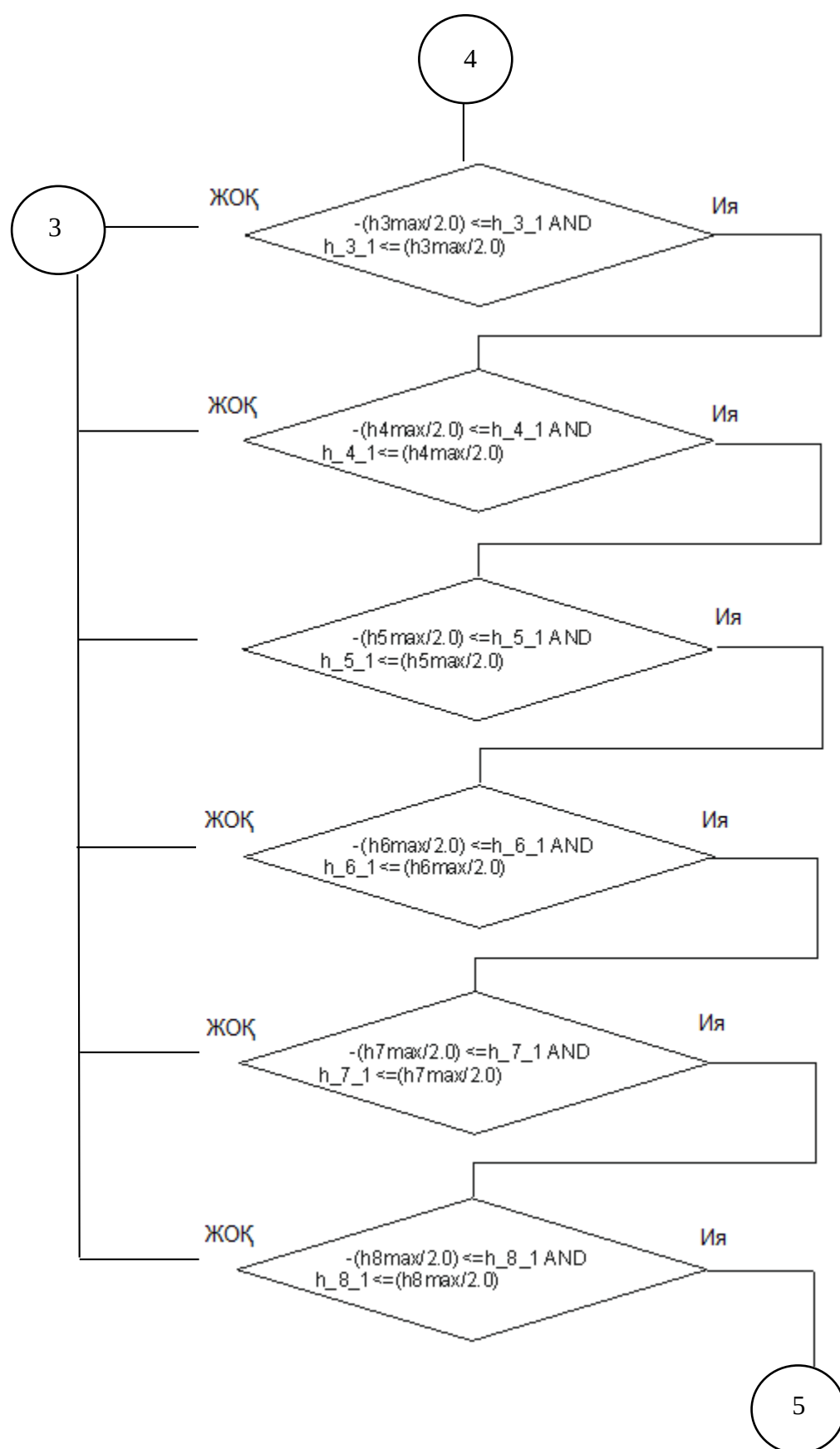
$$x_{D1}=a/2, y_{D1}=z_{D1}=0; x_{E1}=a/2, y_{E1}=a\sqrt{3}/2, z_{E1}=0; x_{F1}=a/4, y_{F1}=a\sqrt{3}/4, z_{F1}=0.$$

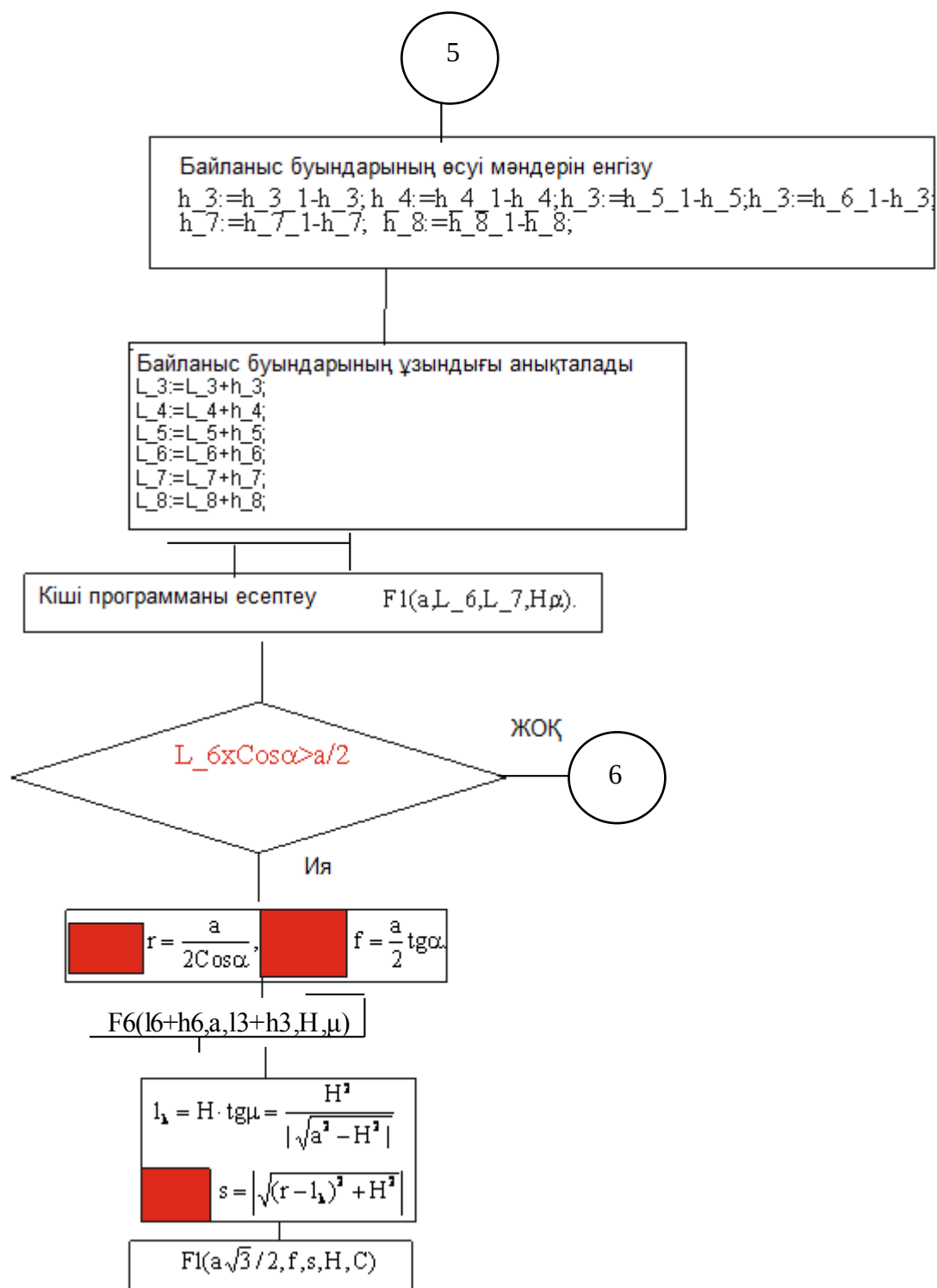
Түйіннің бастапқы мәндерін анықтау α_i .

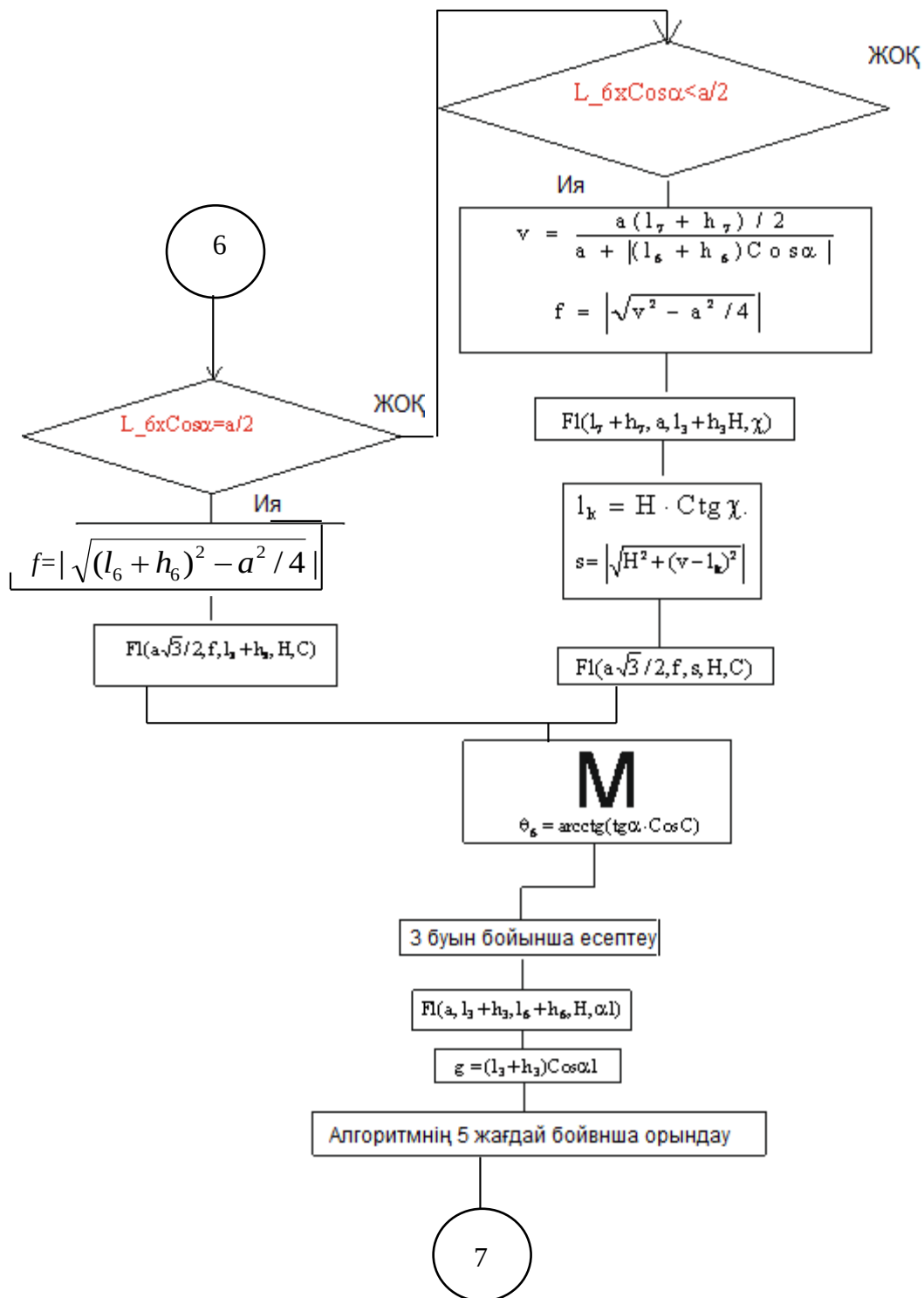
(* α бұрышының бастапқы мәндерін анықтау*)
 (* Байланыстырушы буындардың шектері үшін тікбұрышты призманың бастапқы конфигурациясындағы буындардың вертикалдан ауытқуы: $\alpha_4=\alpha_7=\alpha_8=0$. *)
 $\alpha_4:=0.0;$
 $\alpha_7:=0.0;$
 $\alpha_8:=0.0;$
 (* (3,5,6) диагональды байланыстырушы буындар үшін вертикалдан бастапқы конфигурациясында буындардың ауытқу бұрышы мынаған тең: *)
 $\alpha_3:=\text{atan}(a/L_{N3});$
 $\alpha_5:=\text{atan}(a/L_{N5});$
 $\alpha_6:=\text{atan}(a/L_{N6});$

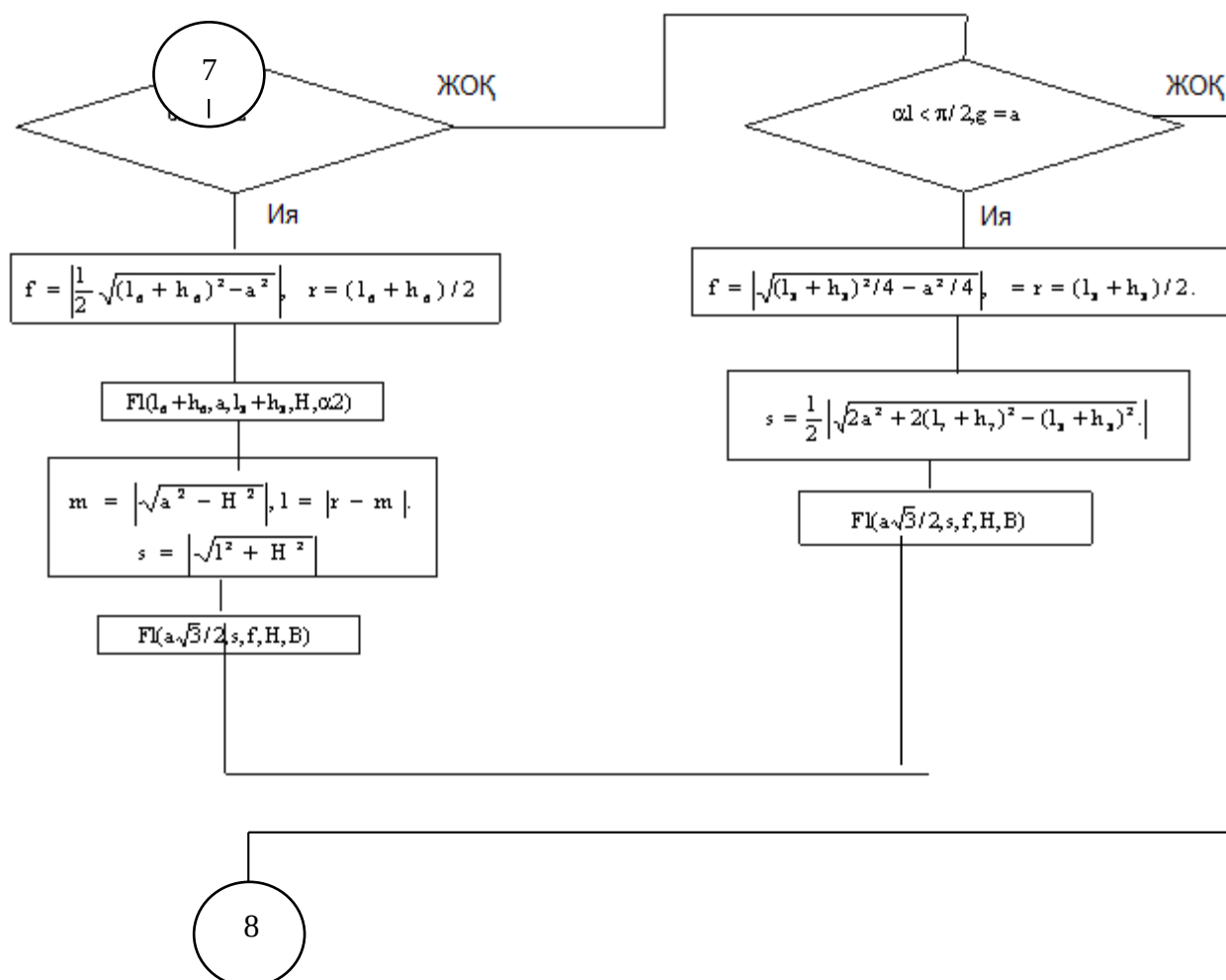
2

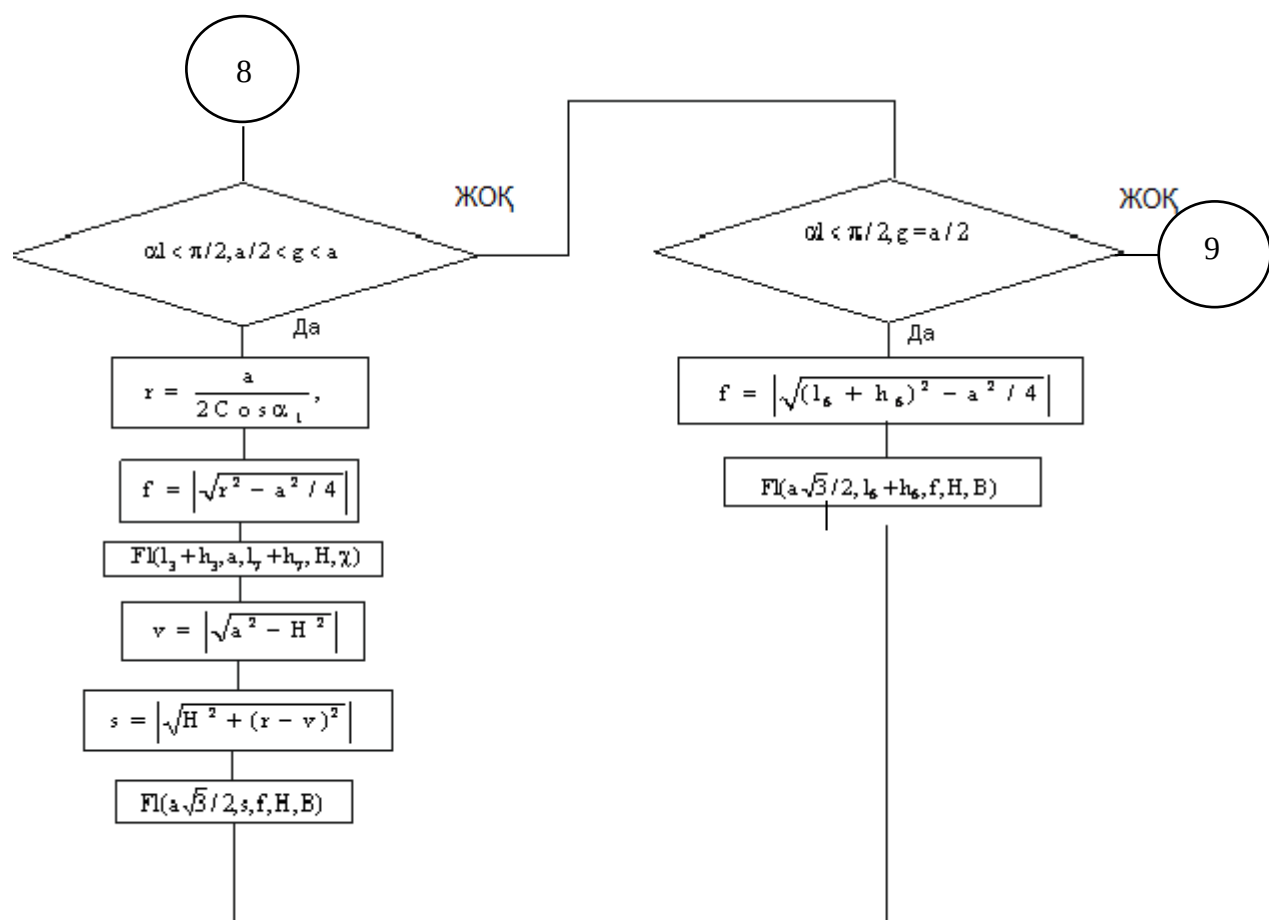


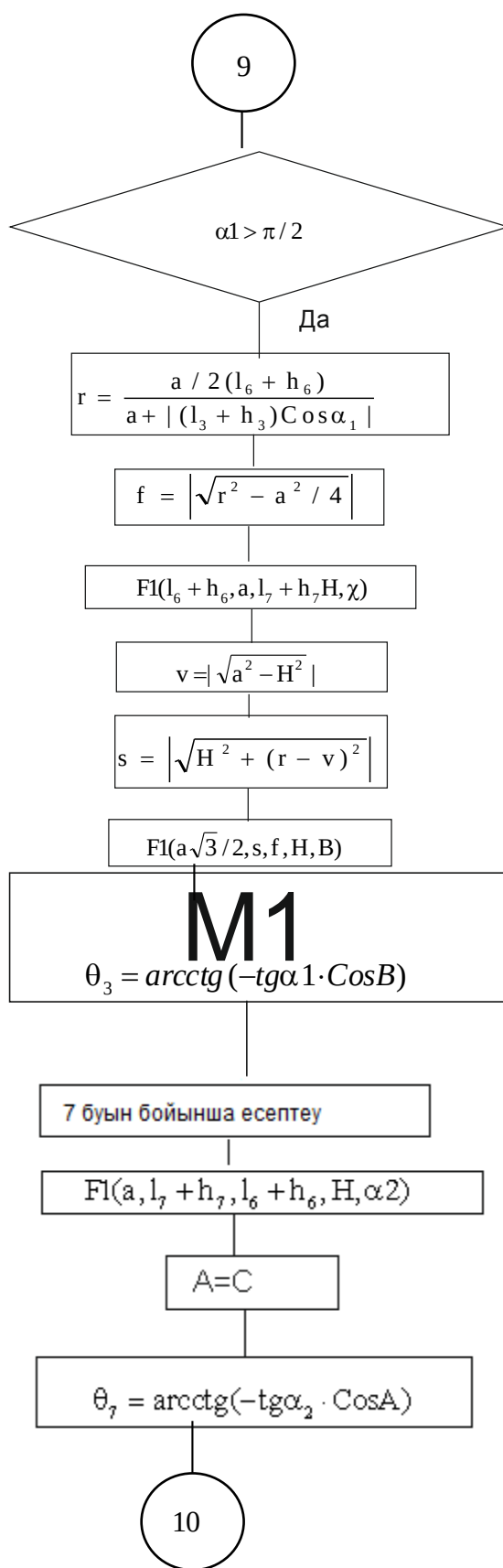












Аралық айнымалылар (29) формула бойынша анықталады

$$A = (h_6 + l_6) \cdot \sin(\theta_6), \quad B = (h_6 + l_6) \cdot \cos(\theta_6), \quad C = h_6 + l_6, \quad D = (\sin(\theta_3) + \sqrt{3} \cos(\theta_3))(h_3 + l_3),$$

$$E = (\cos(\theta_3 - \sqrt{3} \sin(\theta_3)))(h_3 + l_3), \quad F = (h_7 + l_7) \cdot \sin(\theta_7),$$

$$G = (h_7 + l_7) \cdot \cos(\theta_7).$$

$$\alpha_7 = \arcsin\left(\frac{B \cdot a}{F \cdot B - G \cdot A}\right), \quad x_c = a - F \cdot \frac{B \cdot a}{F \cdot B - G \cdot A},$$

$$y_c = -G \cdot \frac{B \cdot a}{F \cdot B - G \cdot A}, \quad z_c = (h_7 + l_7) \cdot \cos(\alpha_7), \quad \alpha_1 = \arcsin\left(\frac{x_c}{A}\right),$$

$$\alpha_1 = \arccos\left(\frac{z_c}{h_1 + l_1}\right).$$

В₂ түйіні үшін 5 буын арқылы есептеу

$$Fl(a, l_3 + h_3, l_4 + h_4, H, \alpha_9)$$

$$Fl(l_3 + h_3, l_4 + h_4, a, H, \varphi)$$

:(38),(39)(40) бойынша есептеу

$$C_2 = \arccos\left(\frac{-\cos \alpha_9 \cdot \cos \mu + \cos \varphi}{\sin \alpha_9 \cdot \sin \mu}\right),$$

$$C_1 = C + C_2$$

$$\theta_3 = \arccotg(-\operatorname{tg} \alpha_9 \cos C_1) - \pi / 3$$

8 буын арқылы түлендіру

$$Fl(a, l_8 + h_8, l_5 + h_5, H, \alpha_{10})$$

$$B_1 = C_1$$

$$\theta_8 = \arccotg(-1/(\operatorname{tg} \alpha_{10} \cos B_1))$$

11

В бойынша координатаны және параметрлерін анықтау

$$A1 = \sin(\theta_5) \cdot (h_5 + l_5), \quad B1 = -\cos(\theta_5) \cdot (h_5 + l_5),$$

$$C1 = [\sin(\theta_8 + \sqrt{3}\cos(\theta_8))](h_8 + l_8), \quad D1 = [\cos(\theta_8) - \sqrt{3}\sin(\theta_8)](h_8 + l_8).$$

$$\alpha_8 = \arcsin\left[\frac{a(A1\sqrt{3} - B1)}{A1 \cdot D1 + B1 \cdot C1}\right], \quad x_{B2} = a/2 + \frac{C1}{2} \left[\frac{a(A1\sqrt{3} - B1)}{A1 \cdot D1 + B1 \cdot C1}\right],$$

$$y_{B2} = \frac{a\sqrt{3}}{2} - \frac{D1}{2} \left[\frac{a(A1\sqrt{3} - B1)}{A1 \cdot D1 + B1 \cdot C1}\right], \quad z_{B2} = (h_8 + l_8) \sqrt{1 - \left[\frac{a(A1\sqrt{3} - B1)}{A1 \cdot D1 + B1 \cdot C1}\right]^2},$$

$$\alpha_5 = \arcsin\left(\frac{x_{B2}}{A1}\right).$$

(47) теңдеу бойынша тексеру

$$(x_{c2} - x_{B2})^2 + (y_{c2} - y_{B2})^2 + (z_{c2} - z_{B2})^2 - a^2 = 0$$

4 Буыны бойынша түрлендіру

$$F1(l_5 + h_5, l_4 + h_4, a, H, \alpha_2)$$

(57), (58) формулалары б/ша есептеу

$$\alpha_{11} = \alpha_9 + \alpha_{12}$$

$$\theta_4 = \arccotg\left(-\operatorname{tg}\alpha_{11}\cos C_1\right) - \pi/3.$$

12

Ф-а б\ша есептеу (65),(66),(68),(69),(64))

$$E2 = \frac{D2 \cdot \sin \theta_4}{C2}, \quad G2 = \left(A2 + \frac{B2}{\operatorname{tg} \theta_4} \right) \frac{\sin \theta_4}{C2}.$$

$$F2 = (G2)^2 + 1, \quad H2 = 2 \cdot E2 \cdot G2, \quad V = (L4 \cdot \sin \theta_4)^2 - (E2)^2$$

$$(x_{A2})_{1,2} = \frac{-H2 \pm \sqrt{(H2)^2 - 4 \cdot F2 \cdot V}}{2 \cdot F2}$$

$$\sin \alpha_4 = \frac{x_{A2}}{L4 \cdot \sin \theta_4}, \quad \alpha_4 = \arcsin\left(\frac{x_{A2}}{L4 \cdot \sin \theta_4}\right),$$

$$y_{A2} = x_{A2} \cdot \operatorname{Ctg} \theta_4, \quad z_{A2} = L4 \cdot \sqrt{1 - (\sin \alpha_4)^2}.$$

$$A2 = x_{C1} - x_{B1}, \quad B2 = y_{C1} - y_{B1}, \quad C4 = z_{C1} - z_{B1}, \quad D2 = \frac{(l_1)^2 - (l_2)^2}{2}.$$

Байланыс буындарының ұзындығын есептеу

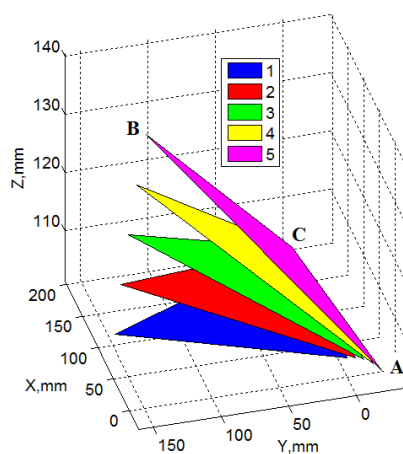
$$\begin{aligned} &L(x_{C1}x_{B1}, y_{C1}, y_{B1}, z_{C1}, z_{B1}, l_3), \\ &L(x_{A2}x_{C1}, y_{A2}, y_{C1}, z_{A2}, z_{C1}, l_4), \\ &L(x_{B2}x_{C1}, y_{B2}, y_{C1}, z_{B2}, z_{C1}, l_5), \\ &L(x_{C1}x_{C1}, y_{C1}, y_{C1}, z_{C1}, z_{C1}, l_6), \\ &L(x_{C1}x_{A2}, y_{C1}, y_{A2}, z_{C1}, z_{A2}, l_7), \\ &L(x_{B2}x_{B1}, y_{B2}, y_{B1}, z_{B2}, z_{B1}, l_8). \end{aligned}$$

Клапандарға басқарылатын командаларды ретту және қысымды есептеу.
Сонымен қатар клапан іске қосылғанда қысым датчигінен керекті қысымды ұстап тұруын бақылау керек. Егер қысымды ұстай алмаса бағдарламаның басына оралу керек. Егер ұстап тұрса күту режиміне өту керек. Күту режимінде ағым клапаны (Орташа жабық) жабық болу керек, ал айдау клапаны (Орташа ашық) ашық болу керек.

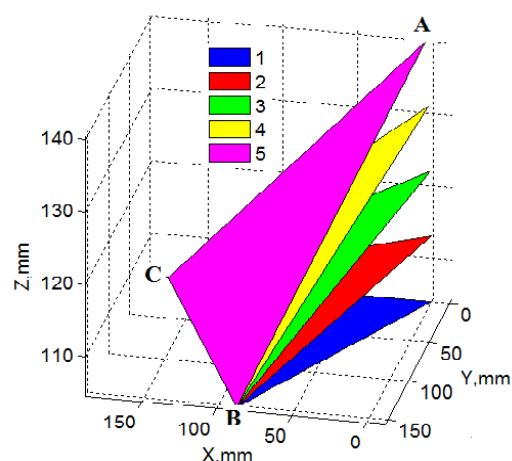
2.3 Платформа қозғалысын визуализациялау кестесі

Алынған тәуелділіктер негізінде Matlab бағдарламасы жасалды, ол сыртқы платформаның кеңістіктік орналасуын көрнекі түрде көрсетеді.

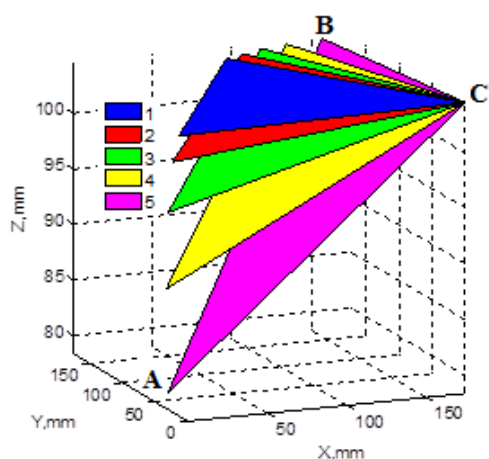
Есептеу үшін бастапқы деректер роботтың геометриялық өлшемдері болып табылады, атап айтқанда: дұрыс үшбұрыштың қабырғасының ұзындығы $A_2B_2C_2$ $a=175$ мм.; қысқаралықтары $C_1A_2=B_1B_2=A_1C_2=60$ мм.; орын саны $N=5$.



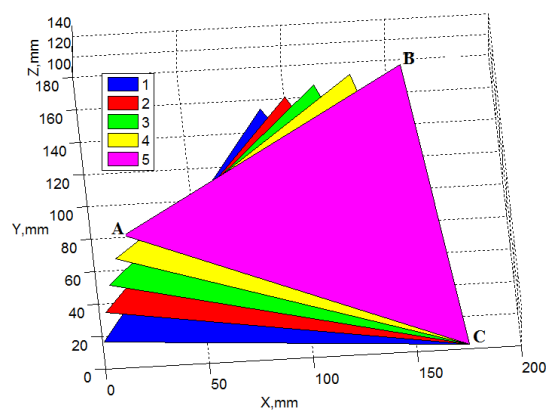
a)



b)



c)



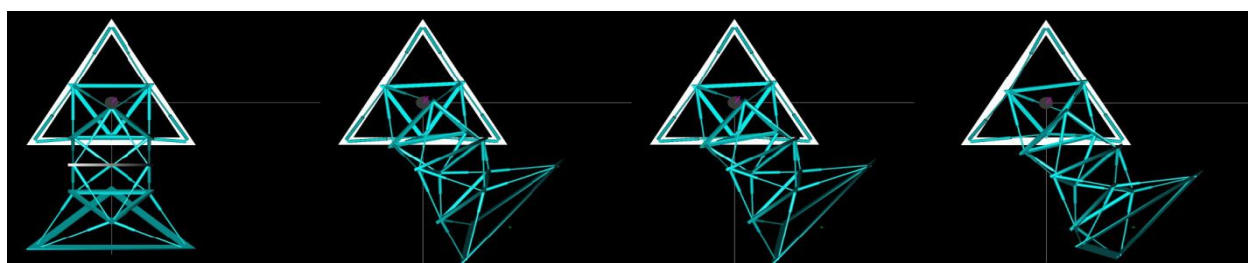
d)

2.5 Сурет - Платформа қозғалысын визуализациялау графиктері

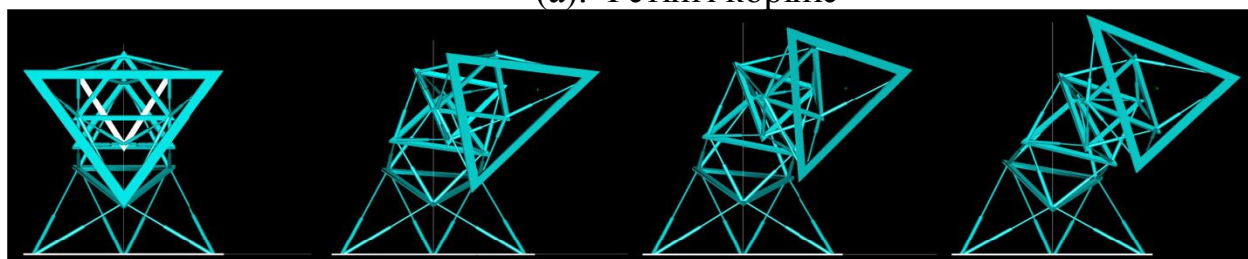
2.4 Ғарыштық телескоптың бағдарын басқару үшін параллельді құрылым манипуляторының геометриясын жобалау нәтижелері

Ғарыштық обсерватория жобасы шеңберінде диссертацияда әзірленген математикалық, алгоритмдік және бағдарламалық қамтамасыз ету көмегімен обсерватория антеннасының бағдарын басқаруға арналған Параллель манипулятордың синтезі жүзеге асырылды. Манипулятордың синтезі зымыран-тасығыштың көмегімен орбитаға шығару үшін оны көлік жағдайына жинау мүмкіндігін ескере отырып жүзеге асырылды. Көрсетілген құралдардың көмегімен манипуляторды екі режимде берілген мақсатты жағдайға ауыстыру траекториясының синтезі жасалды: 1) манипулятордың ерікті ағымдағы жағдайынан; 2) манипуляторды антеннаның симметрия осі манипулятор симметриясының бойлық осіне сәйкес келетін жағдайға алдын ала шығару жолымен.

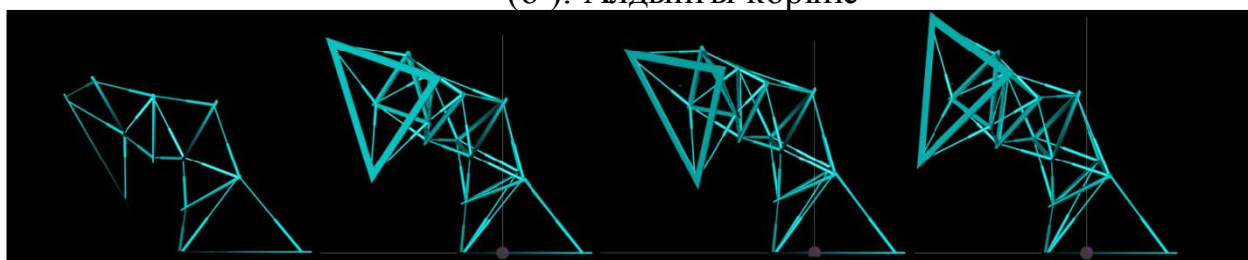
Екі жағдайда да манипуляторды талап етілетін жағдайға ауыстыру траекториясы антеннаны қайта бағдарлау процесінде обсерватория симметриясының осінде антеннаның массалар орталығының тұрақты орналасуын қамтамасыз ететіндей етіп құрылады.



(а). Үстінгі көрініс



(б). Алдыңғы көрініс

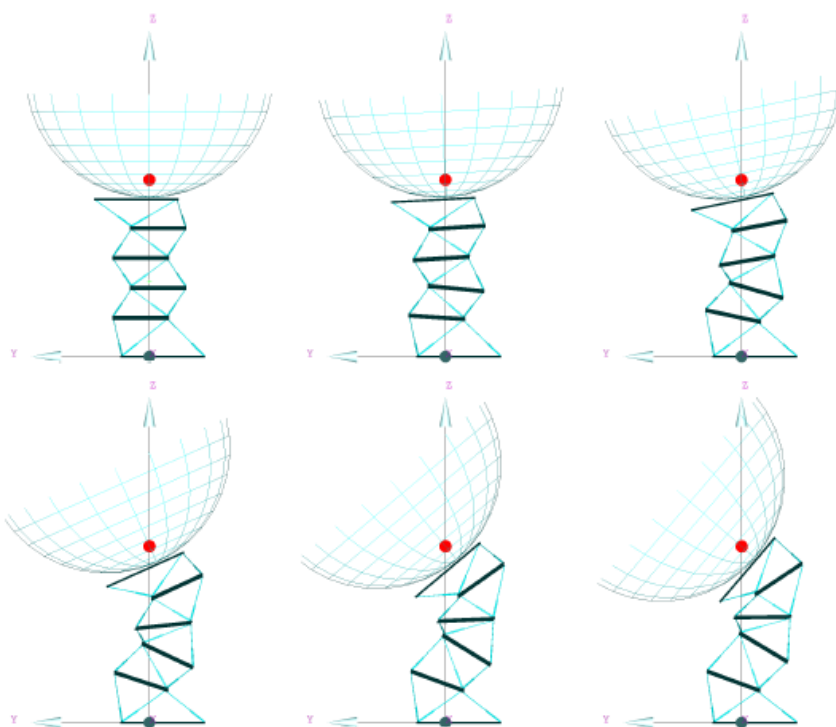


(в). Жанындағы көрініс

2.6 Сурет - Манипулятордың қозғалысын еркін бастапқы қалыптан берілген соңғы қалыпта орналасуы

2.5 Манипулятордың орналасуы

Манипулятордың орналасу тапсырмасын шешу кезінде екі режимді пайдалануға болады. Бірінші режимде талап етілетін жағдайға көшу тікелей ағымдағы жағдайдан басталады, ал екіншісінде манипулятордың симметрия осі манипулятор симметриясының бойлық осіне сәйкес келетін жағдайға алдын ала шығарылуы жүзеге асырылады. Манипулятордың екінші позициялау режимі 2.7Сурет.



2.7 Сурет - Манипулятор позициялау режимі

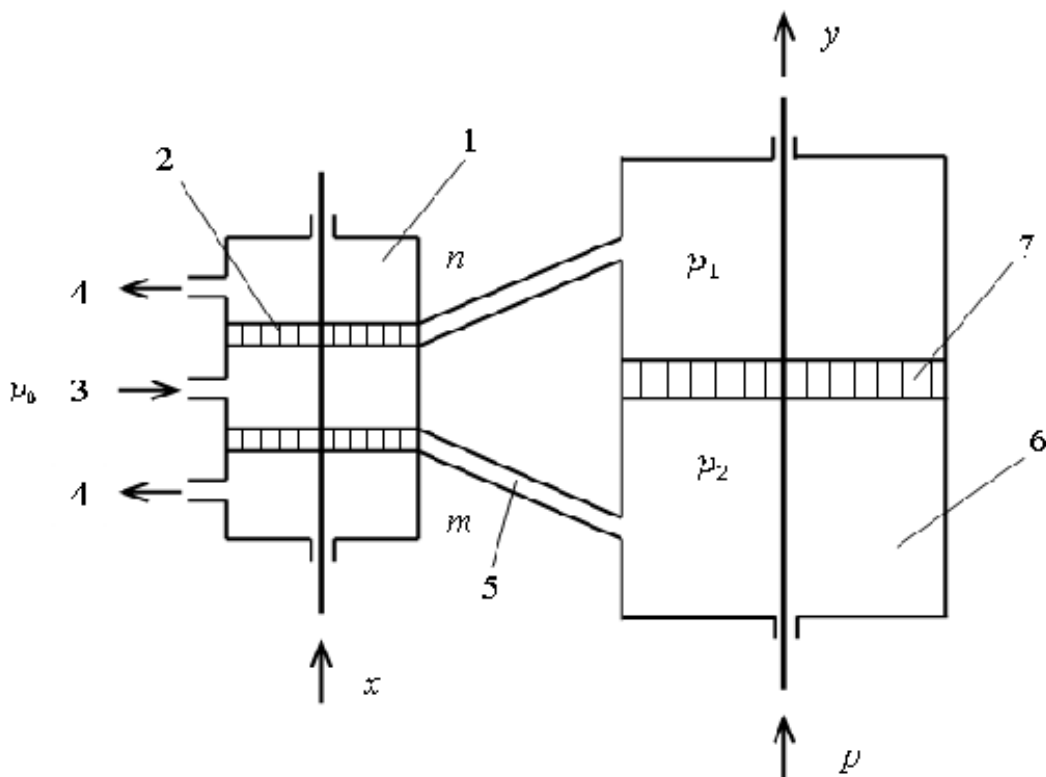
Әзірленген қосымша манипулятордың орналасу міндетін шешуді, сондай-ақ манипулятордың қармауы (схват) қозғалыссыз, ал бағыт манипулятордың симметриясының бойлық осіне қатысты талап етілетін түрде бағдарланған жағдайда қамтамасыз етеді. Қосымшаның бұл мүмкіндігі телескоптың антеннасының симметриясының бойлық осін қозғалмайтын аяқас кезінде берілген бұрышқа бұрылу мәселесін шешуге мүмкіндік береді (егер мұндай бұрылыс манипулятор конструкциясына жол берсе). Ғарыш аппаратын басқару тұрғысынан бұл операция артықшылық болып табылады, өйткені ол ғарыш аппаратының қозғалтқыш – маховиктерін түсіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қосымшалардың көрсетілген мүмкіндігі 2.7-суретті бейнелейді.

2.6 Параллель роботтың қозғалыс дәрежесінің гидрожетегін басқару модельдері мен алгоритмдері

Роботтың қозғалу дәрежесін жетек-өте үлкен шығу қуаты бар жүйенің күш беретін элементі. Ондағы бейсызық мұндай жүйенің динамикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Осы ерекшеліктерді ескермей синтезделген жетек жүйесі жиі тұрақсыз болады. Мұндай жүйенің динамикалық қасиеттерін түзету қиын шешілетін міндет болады [58,59].

. Гидравликалық құрылғылар мен дроссельді басқарылатын жетектердің атқарушы элементтері ретінде штоктың үдемелі жылжуы бар күштік гидроцилиндрлер қолданылады.

Дроссельді басқарылатын құрылғыларда көбінесе цилиндрлік алтынның тік сызықты қозғалысымен алтын жұптары бар. Ең көп таралған төрт қалқымалы (четырёхщелевым) алтыны бар сервоқозғалтқыштың схемасы (2.8-сурет). Бұл схема тұрақты қысымды қуат көзінен $p_0 = \text{const}$ немесе тұрақты шығынмен қуат көзінен жұмыс істейді [60,61].



2.8 Сурет - Төрт сілтілі алтынмен гидравликалық жетек схемасы

Цилиндрлік төрт сілтілі алтынға 1 құбырынмен 3 p_0 қысымымен май жеткізіледі. Алтынның жылжымалы бөлігі қос поршөні 2 болып табылады, ол орташа бейтарап күйде m және n 5 арналарының екі терезелерін бір уақытта жабады. Егер золотниктің жылжымалы бөлігі жоғары немесе төмен ығыстырылса, алтынның қуыстарын серводвигатордың 6 гидроцилиндрмен

қосатын бірдей өлшемді саңылаулар пайда болады. 2 золотник поршенінің бейтарап жағдайдан жоғары жылжуы кезінде 6 сервомотордың гидроцилиндрінің жоғарғы қуысы 3 арынды құбырмен, ал төменгі – 4 ағызу құбырымен золотник арқылы қосылады. 7 поршенінің екі жағында пайда болған қысымның әртүрлілігі арқасында соңғысы төмен қозғалады. Поршеньді бейтарап жағдайдан төменге ауыстырған кезде 7 поршень кері қозғалысты алады.

x шамасына байланысты басқару золотникінде энергияны тарату жүреді, гидроцилиндрге 6 түсетін сұйықтық ағыны мына арақатынасымен анықталады

$$Q = \vartheta F = FG(\Delta p, \varepsilon)\varepsilon,$$

мұндағы F – белсенді поршень ауданы,

ϑ – поршеннің сызықтық жылдамдығы,

$\Delta p = p_1 - p_2$ – гидроцилиндр мен гидромотордағы қысым құлдырауы ,

$G(\Delta p, \varepsilon)$ – золотниктің сипаттамалық функциясы, айтарлықтай сызықты емес функция гидравликалық схемамен және золотник жұптарының конструкциясымен анықталады.

Бұл гидравликалық құрылғы қуат көзінің түріне байланысты $Q_0 = const$ режимінде жұмыс істей алады. Бұл жағдайда алтынның кірісіндегі қысым тұрақты болмайды және $G(\Delta p, \varepsilon)$ функциясы өзгереді. x басқару әсері мен гидроцилиндр поршенінің жылжуы арасындағы кері байланысты пайдалану кезінде y жағдайы бойынша басқару жүйесін алады. Бұл үшін, әдетте, осы екі бөліктің қайсысы ығысуына байланысты, шток немесе гидроцилиндр корпусына алтын корпусын орнатумен теріс кері байланыс қолданылады. Бұл жағдайда ε шамасы келісу деп аталады.

Параллель робот орналасуын басқару кезінде жоғары дәлдікті және қаттылықты алу үшін теріс жабумен төрт сілтілі алтынды (золотник) қолдануға болады $x_0 = 10 \div 20 \times 10^{-6} \text{ м}$. $x \leq x_0$ кезінде золотник ағын болады, ал $x > x_0$ кезінде - нөлдік жабыны бар золотник ретінде жұмыс істейді.

2.7 Параллель робот қозғалысының дәрежесі гидрожетектің статикалық сипаттамалары

Шығыс теңдеулері үш айнымалы арасындағы өзара байланысты орнатады: Шығыс (атқарушы құрылғының жылдамдығы), атқарушы құрылғыдағы қысымның төмендеуі және золотниктің ығысуы. Гидроцилиндрдің белсенді ауданы тұрақты болғандықтан, қысымның өзгеруі атқарушы органның күшеюіне пропорционалды болады [62,63].

Гидрожетектің негізгі статикалық сипаттамалары: жылдамдық сипаттамасы, Күштік және сыртқы болып табылады. Жылдамдық сипаттамасы- Шығыс, атқарушы органның жылдамдығы, қысымның ауытқуының белгіленген

мәні кезінде золотниктің ығысуынан тәуелділігі. Күш сипаттамасы-бұл орташа жағдайға қатысты алтынның жылжуы кезіндегі қысымның ауытқуының тәуелділігі, әдетте тежелген атқарушы құрылғыда қаралады. Сыртқы сипаттама-шығынның өзгеруінен тәуелділігі, яғни алтынның бекітілген қалпы кезінде ұйтқыш әсердің өзгеруінен. Тұрақтандыру жүйелерін бағалау кезінде соңғы сипаттама маңызды. Кері әсер айтарлықтай өзгереді.

Жұмыс сұйықтығының саңылауы арқылы коректену желісінен гидроцилиндрге ағу гидроцилиндрден төгуге шыққан кездегі ағынға тең. Бұл ағындардың шамасы келесі өрнектермен анықталады:

$$Q = \vartheta F = \mu b x \sqrt{2\rho \frac{p_0 - \Delta p}{2}}, \quad (2.8)$$

мұндағы F – белсенді поршень ауданы,

ϑ – поршеннің сызықтық жылдамдығы,

b және x – саңылаулар өлшемдері, x – золотника ығысуы,

μ – шығын коэффициенті,

ρ – жұмыс сұйықтығының тығыздығы.

Екі ашылатын саңылаулардың симметриясы айқын теңдікті қамтамасыз етеді:

$$p_0 - p_1 = p_2 - p_c = \frac{p_2 - \Delta p}{2},$$

егер $p_c \rightarrow 0$ және $\Delta p = p_1 - p_2$ кезінде $\Delta p = 0$.

(1) теңдігін келесі түрге келтіруге болады:

$$\vartheta = k_x \sqrt{1 - \frac{\Delta p}{p_0}} x,$$

бос жүрістің жылдамдық сипаттамасының крутизна коэффициенті, $\Delta p = 0$ кезінде

$$k_x = \frac{\mu b}{F} \sqrt{\rho p_0}, \quad (2.9)$$

ал жазбаның өлшемсіз нысанында, мына түрін қабылдайды:

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{1 - \bar{\Delta p} \bar{\varepsilon}}, \quad (2.10)$$

Мұнда өлшемсіз жылдамдық былай анықталады:

$$\bar{\vartheta} = \frac{\vartheta}{k_x x_{max}} = \frac{\vartheta}{\vartheta_{max}},$$

бұл ретте басқару сигналы келесі түрде жазылады:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{x}{x_{max}}.$$

$\Delta p > 0$ шектеуі жылдамдық сипаттамаларын алғанда алынады, егер мына теңдікті қолданса:

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{1 - \overline{\Delta p} \text{sign} \bar{\varepsilon}}, \quad (2.11)$$

өйткені $-1 < \bar{\varepsilon} < +1$, $\bar{\varepsilon} < 0$ кезінде, міндетті түрде $\Delta p < 0$.

$\overline{\vartheta(\Delta p)}$ $\bar{\varepsilon} = \text{const}$ кезіндегі формасы төрт сілтілі алтынның жылдамдық сипаттамасының графикалық бейнесі 2 суретте көрсетілген. Бұл график $-1 < \Delta p < +1$ өзгеру диапазоны аралығында құрылған. Өлшеусіз сигнал белгісі өзгерген кезде басқару ε теңдеуі төмендейді. Бұл ретте жүйенің сипаттамасы айтарлықтай сызықты емес.

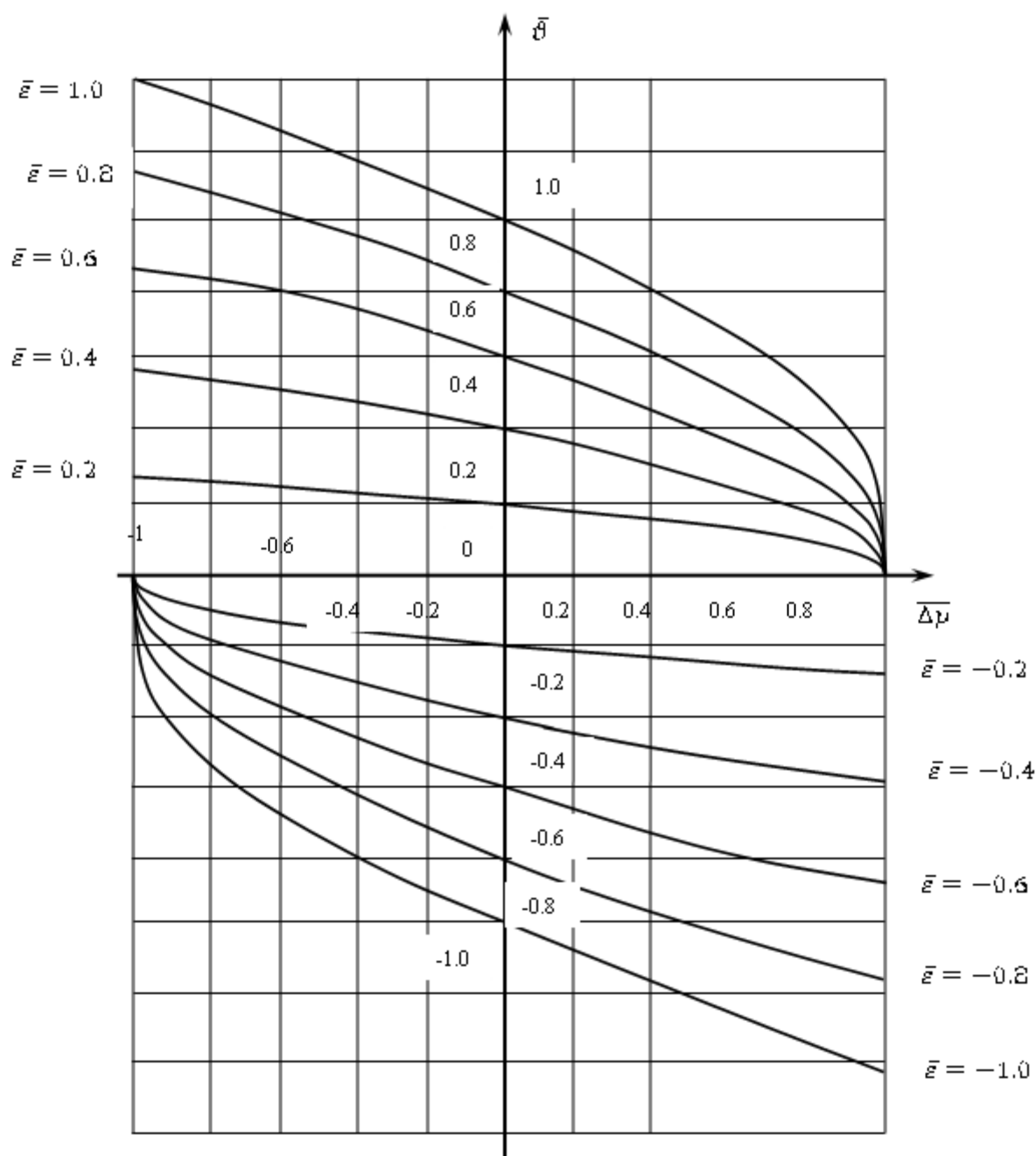
$\bar{\vartheta}$, $\bar{\varepsilon}$, $\overline{\Delta p}$ белгілер үшін ауытқулар арасындағы байланысты қарау кезінде линеаризацияға жол беріледі, бұл шағын сигналдар кезінде әділ болады.

2.9- суреттегі графикалық кескіннің тік кесектерін қолдана отырып, $\overline{\Delta p}$ тіркелген мәндерде $\bar{\vartheta}(\bar{\varepsilon})$ жылдамдық сипаттамаларын алуға болады, олар $\overline{\Delta p}$ өзгеріс диапазонында тік.

Сол құрылғының сыртқы сипаттамасы $\bar{\vartheta}(\overline{\Delta p})$ $\varepsilon = \text{const}$ кезінде 3-суретте қисықтармен бейнеленген. Күш сипаттамалары $\overline{\Delta p}(\bar{\varepsilon})$ жұмыс сұйықтығының ағып кету жолдары белгілі болса, негізінен есептелуі мүмкін. Тесіктердің өлшемдері пайдалану процесінде өзгеретін жеткілікті кең шектерде өзгеретін болғандықтан, тежелген Гидромотор кезінде тәуелділік $\overline{\Delta p}(\bar{\varepsilon})$ әдетте эксперименталды түрде бағаланады. Бұл сипаттамалар орнынан қозғалу процесін бағалау кезінде маңызды.

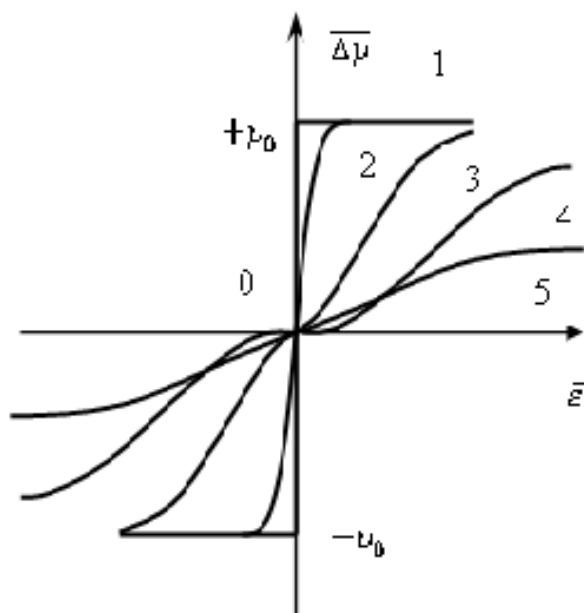
Мінсіз золотник үшін, орта жағдайдағы герметикалық, яғни $\bar{\varepsilon} = 0$ және нөлдік жабудағы, күштік сипаттамасы қисықпен 1 көрсетіледі, ордината мәнін $\overline{\Delta p} = -p_0$ нен $\overline{\Delta p} = +p_0$ дейін өзгертеді, ε мәндерін нөл арқылы өткен кезде.

Гидроцилиндрдің (қисық 2) күштік сипаттамасының тіктілігі, гидроцилиндрдің өзінде ағып кетудің алтын жұбы болған кезде шамалы. Егер атқарушы қозғалтқыш гидромотор болса, онда қуат сипаттамасының крутизоны айтарлықтай азаяды (қисық 3).



2.9 Сурет - Шығын мен кему болмаған кезде нөлдік жабыны бар төрт сілтілі алтыны бар гидрожетектің жылдамдық сипаттамасы

Оң жабу кезінде сезімтал емес аймақ (қисық 4) пайда болады, ал теріс жабу кезінде сезімтал емес аймақ жоғалады, бірақ күш сипаттамасының крутизна айтарлықтай төмендейді (қисық 5), қабылдағыштықты азайту, инерциялық жүктемені барынша жеделдету.



2.10 Сурет - Нөлдік жабыны бар төрт сілтілі алтыны бар гидрожетектің күштік сипаттамасы

Идеал золотниктің күш сипаттамасына жақындауға нөлдік жабыны бар алтынды жұптың герметикалығының ұлғаюымен және гидродвигатель ретінде Гидроцилиндрді пайдаланумен қол жеткізіледі.

2.8 Параллель робот қозғалыс дәрежелі гидрожетектің динамикалық сипаттамалары

Дроссельді басқарылатын гидравликалық атқарушы құрылғының динамикалық сипаттамасы энергияның кез келген басқа күштік түрлендіргіші сияқты екі теңдеумен сипатталады, себебі жүйенің жай-күйі екі фазалық координатпен сипатталады: гидроцилиндр үшін y (немесе $\dot{y}$) және Δp және Гидромотор үшін θ (немесе Ω). Кіріс айнымалылары: ε және ашыту әсері P_B (гидромотор үшін – наразылық моменті)

Күш теңдеуі, келесі түрге ие:

$$F\Delta p = m\ddot{y} + h_D\dot{y} + cy + P_B + |P_{mp}|sign\dot{y}, \quad (2.12)$$

мұндағы m – толық инерциялық жүктеме (поршень массасы және поршеньге келтірілген жүктеме массасы және барлық қозғалатын бөліктері)

h_D – белсенді кедергі коэффициенті;

c – позициялық жүктеме қаттылығы;

P_B – ашыту күші;

P_{mp} – байланыс үйкеліс күші.

Гидромоторға қатысты сол теңдеу мынадай нысанда жазылады

$$w\Delta p = J\ddot{\theta} + h_d\dot{\theta} + c\theta + M_B + |M_{mp}|\text{sign}\dot{\theta}, \quad (2.13)$$

мұндағы w – характерлік гидромотор көлемі.

Кері байланысы немесе позициялық жүктеме болмаған кезде атқарушы құрылғы біріктіруші буынға айналады, ал сипаттамалық теңдеу қысқартылған болады.

Тәуелділікті пайдаланып v , ε және Δp $v = G(\Delta p, \varepsilon)\varepsilon$ түрінде немесе

$$\Phi(\varepsilon, v, \Delta p) \equiv v - G(\Delta p, \varepsilon)\varepsilon = 0, \quad (2.14)$$

Жоғалтуларды (ағып кетуді) және сұйықтықтың қысу әсерін ескере отырып, шығын теңдеуіне өтуге болады. (7) қатынасы, сондай-ақ, егер сипаттамалық функция айқын түрде білдірілмесе қолданылады. Шығыс теңдеуі күштер теңдеуімен бірге гидромоторды пайдалану жағдайы үшін зерттелетін жүйенің динамикалық сипаттамасын сипаттайды. v , ε және Δp арасындағы тәуелділік атқарушы құрылғының сыртқы сипаттамасымен бұзылады.

Гидроцилиндрге қатысты есептеудің мұндай тәсілін, егер деформация процесінде поршеньдің екі жағынан сұйықтықтың бірдей көлемі қатысқан жағдайда ғана пайдалануға болады. Олай болмаған жағдайда гидрожетек симметриялы түрде тоқтайды және онда есептеу үш теңдеу бойынша жүргізіледі: күш, бір магистраль шығыны p_1 қысыммен және екінші магистраль үшін p_2 қысыммен, содан кейін гидрожетек асимметриялық болады. Мұндай гидрожетектің жағдайы үш фазалық координатпен анықталады: y , p_1 , p_2 . Гидроцилиндрді пайдалану кезінде сұйықтықтың қысылу әсері динамикалық сипаттамаға әсер етпеген жағдайда жетекті симметриялы деп санауға болады.

Шағын таңбалы тұрақты (жүйенің маңызды сызықты емес болуына ие) сигналдарды зерттеу кезінде ауытқулардағы Шығыс теңдеуі мынадай түрге ие болады

$$\delta v = \frac{\partial v}{\partial \varepsilon} \delta \varepsilon + \frac{\partial v}{\partial \Delta p} \delta \Delta p, \quad (2.15)$$

δ символы шамаларды ауытқуларға жатқызады, және қайта келісу бойынша күшейту коэффициенті тең:

$$k_v = \frac{\partial v}{\partial \varepsilon},$$

$\Delta p=0$ кезінде ε ден v дейін келісу тәуелділігін сипаттайды, онда k_v^* арқылы белгіленеді, ал жүктеме бойынша күшейту коэффициенті келесі өрнектен анықталады:

$$k_{\Delta p} = \frac{\partial v}{\partial \Delta p},$$

электр жетектің жылдамдығын жүктемеден өзгертуді және оның әсерінің әсерін ағып кетулерге ұқсас етеді.

Жүйенің қаттылығы жүктемеге байланысты бағаланады:

$$k_p = \frac{\partial P}{\partial \varepsilon},$$

статикалық жұмыс режимдері үшін формада қолданылатын өрнек

$$k_p^* = |k_p|_{v=0}, \quad k_p^{**} = |k_p|_{\varepsilon=0}.$$

Егер шығын функциясын $\Phi(\varepsilon, v, \Delta p)$ өлшемсіз координаттарда қайта жазсақ, мынаны аламыз:

$$\bar{v} = \frac{v}{v_{max}} = \frac{iv}{k_v^* x_0}, \quad \bar{\varepsilon} = \frac{i\varepsilon}{x_0}, \quad \bar{P} = \frac{P}{p_0 F} = \bar{\Delta p}, \quad (P = \Delta p F),$$

x_0 – теріс жабудың мәні.

Шығын функциясын қолданып $\Phi(\bar{\varepsilon}, \bar{v}, \bar{P})$, жеке туындыларды алуға болады $\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{\varepsilon}}$ и $\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{P}}$, демек, теңдеудің коэффициенттері (8):

$$k_v = \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{\varepsilon}} = k_v^* \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{\varepsilon}}, \quad k_{\Delta p} = \frac{\partial v}{\partial \Delta p} = k_v^* \frac{x_0}{ip_0} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{P}}. \quad (2.16)$$

Сұйықтықтың қысылу әсері және жүйедегі толық ағулар (асимметриялық гидрожетекті қарау кезінде ағулар мен ағуларды бөлек есепке алу қажет) екі қосымша мүшелермен ескеріледі:

$$k_v \delta \varepsilon = \delta v - k_{\Delta p} \delta \Delta p + L_{ym} \delta \Delta p + \frac{V}{4F\kappa} \delta \Delta p$$

мұндағы V – магистральдардағы сұйықтықтың толық көлемі,

L_{ym} - толық ағып кету -,

κ – сұйықтықтың көлемдік серпімділігінің изотермиялық Модулінің келтірілген (шексіз қатты қабырғаға) мәні.

$L_{ym} - k_{\Delta p} = \tau_D$ и $\frac{V}{4F\kappa} = v_D$ белгілей отырып (τ_D - дроссельді гидрожетектің статикалық икемділігі, v_D - динамикалық икемділік), сызықты теңдеуді көлемді басқару гидрожетегі және тұрақты энергия түрлендіргіштері үшін қабылданған нысанда қайта жазуға болады:

$$k_v \delta \varepsilon = \delta v - \Pi_D(D) \delta \Delta p, \quad (2.17)$$

шығын операторы онда

$$\Pi_D(D) = \tau_D(1 + T_n D), D \equiv \frac{d}{dt}, \quad (2.18)$$

және тұрақты уақыт $T_n = \frac{\tau_D}{v_D}$, жалпы айтқанда, айнымалы ретінде τ_D және k_v .

Динамикалық процестерді дәл есептеу компьютердің көмегімен жүзеге асырылады, теңдеуді (10), (11) бірлесіп шешу, және ε ассиметрирлік сигналдар кезінде шағын тербелістерді есептеу, егер $\Delta p \gg \Delta p_{mp}$ теңдеулердің бірлескен шешімімен (10) және келесі теңдеудің көмегімен жүзеге асырылады.

$$F \Delta p = H(D) \dot{y} + P_\varepsilon, \quad (2.19)$$

мұнда $H(D) = h_\partial(1 + T_n D)$ – жүктеме операторы (h_∂ – пропорционалды коэффициенті),

$T_n = \frac{m}{h_\partial}$ – тұрақты жүктеме уақыты.

Егер қоздырғыш әсер $P_\varepsilon = \text{const}$ болса, жүйенің беріліс функциясы келесі өрнек арқылы жазылады

$$W(s) = \frac{\delta y(s)}{\delta \varepsilon(s)} = \frac{k_v}{(1 + \tau_\partial h_\partial)(1 + 2\xi T_\partial s + T_\partial^2 s^2)} s, \quad (2.20)$$

Онда $T_\partial^2 = \frac{m v_\partial}{1 + \tau_\partial h_\partial}$, $\xi = \frac{1}{2} T_\partial (T_n^{-1} + T_\varepsilon^{-1})$.

$\tau_\partial h_\partial \ll 1$ болғанша, тұрақты уақыт $T_\partial = \text{const}$, ал ξ және күшейту коэффициенті k_v барлық дроссель басқару жүйелері үшін кең шектерде өзгереді.

2.9 Төрт сілтілі золотникті параллель роботтың қозғалысының дәрежесі гидрожетектің динамикасы.

Атқарушы құрылғының жұмысы гидродвигательде және магистральдарда ағып кетудің болмауының болжамында қаралады, сұйықтық қысылмайды деп саналады [7, 8].

(5.5) теңдеуінен, $\text{sign} \dot{y} = \text{sign} x$ ескере отырып, мына теңдікті аламыз

$$\dot{y} = K_x \sqrt{1 - \frac{|P_{mp}|}{p_0 F} - \frac{1}{p_0 F} (m \ddot{y} + h_\partial \dot{y} + c y + P_\varepsilon) \text{sign} x} \quad (2.21)$$

Теріс кері байланысты пайдалану кезінде динамикалық сипаттама шартпен бірге теңдеумен сипатталады

$$x = x_y - k_0 x \quad (2.22)$$

мұндағы x_y – басқарушы сигнал,

k_0 - кері байланыс коэффициенті.
Бұл жағдайда

$$\dot{y} + k_x k_0 \bar{G} x = k_x \bar{G} x_y. \quad (2.23)$$

Зерттеу жұмыстары аналитикалық түрде жүргізіледі, бұл кезде әрекет етуші күштердің бірі айтарлықтай басым болады (яғни қалған күштердің әсері аз ескерілмейді). Сонда

$$m\ddot{y} + h_0 \dot{y} + cy + P_e \ll P_{mp},$$

Қабылдауға болады

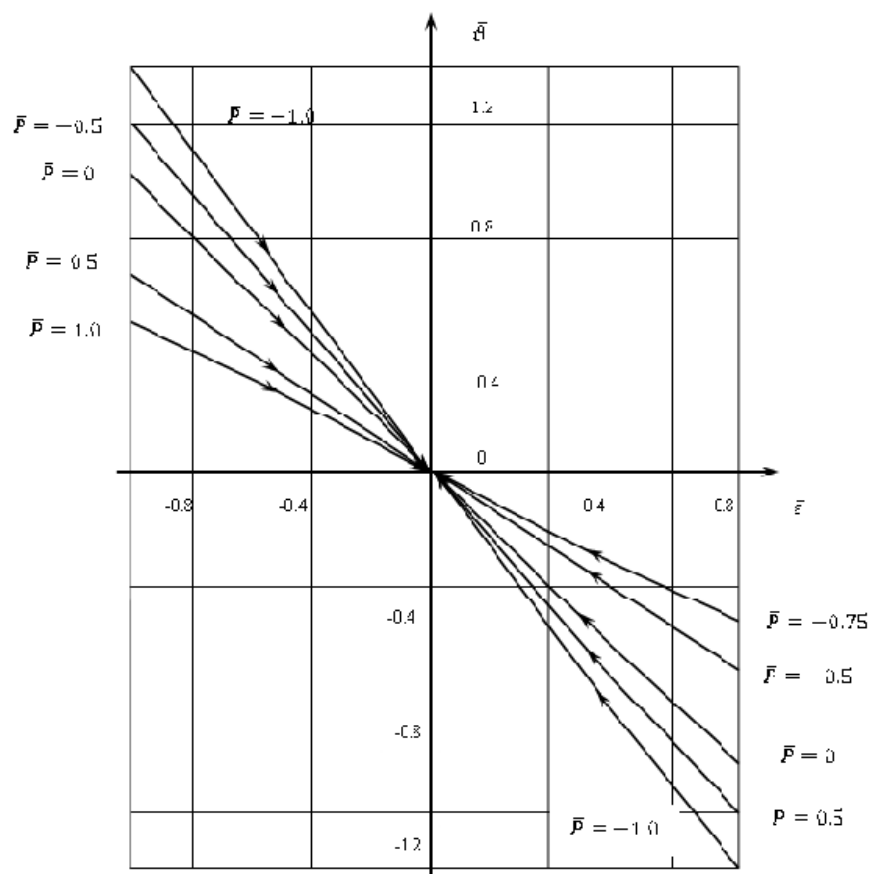
$$G \approx \sqrt{1 - \frac{P_{mp}}{P_0 F}} \operatorname{sign} \dot{y},$$

сонда өлшеусіз координаттардағы өз қозғалыстары теңдеумен сипатталады

$$\bar{v} + \sqrt{1 - P_{mp} \operatorname{sign} \bar{v} \bar{\varepsilon}} = 0, \quad (2.24)$$

$$\text{Мұнда } \bar{\varepsilon} = \frac{x}{x_{max}}, \bar{P}_{mp} = \frac{P_{mp}}{P_0 F}, \bar{v} = \frac{v}{k_x k_0 x_{max}}.$$

Жүйенің фазалық портреті 4-суретте көрсетілген, оның ішінде жүйе асимптотикалық тұрақты. Әрбір фазалық траектория координаттардың басында болатын тікелей сызық болып табылады, яғни тұрақты түйін орын алады.



2.11 Сурет - $P_{тр}$ Күштің басым әсері кезіндегі жүйенің фазалық портреті

Қозғалыс P_{mp} күшейту коэффициентінің өзгеруінде көрінеді (күшті еңсеру кезінде P_{mp} күшейту коэффициенті азаяды және жүктеме әрекеті мен қозғалу бағыттары сәйкес келген кезде артады). Сонымен, $P_{mp} = 0.5$ кезінде күшейту коэффициенті 1.73 есе өзгереді.

Шарты орындалған кезде

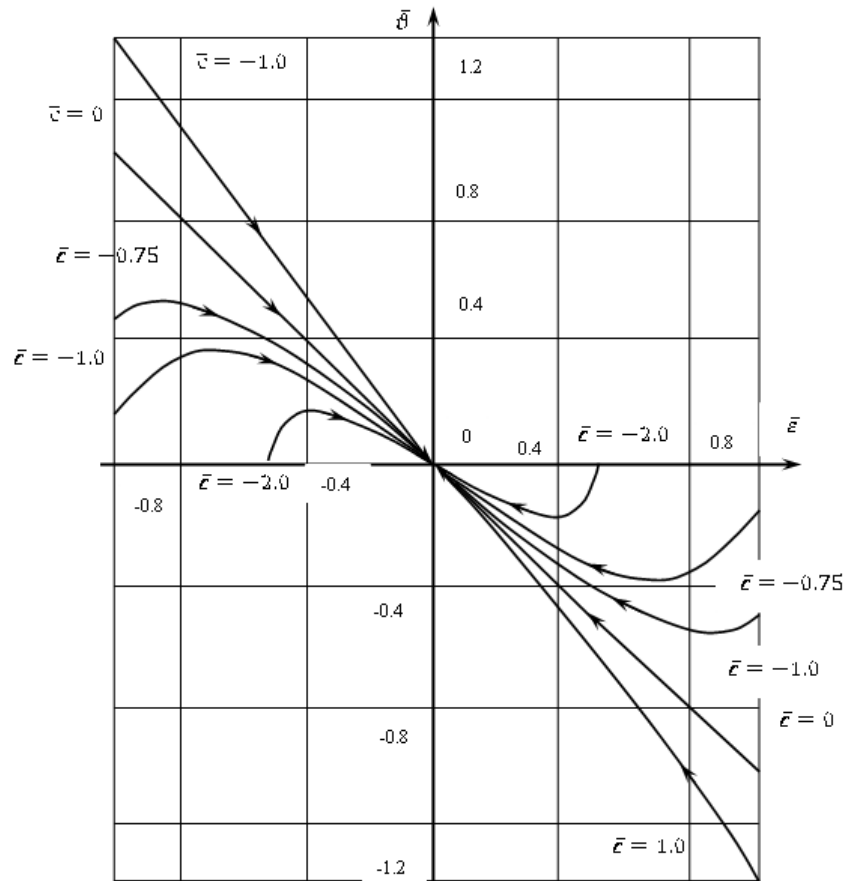
$$cy \gg m\ddot{y} + h_d\dot{y} + cy + P_B + |P_{mp}|, \quad G \approx \sqrt{1 - \frac{cy}{P_0} \text{sign}x},$$

сонда өлшеусіз координаттардағы өз қозғалыстарының тендеуі келесі түрде жазылады

$$\bar{v} + \sqrt{1 - \bar{c}\bar{\epsilon}\text{sign}\bar{v}\bar{\epsilon}} = 0,$$

онда $\bar{c} = \frac{cx_{max}}{P_0 F}$.

c қозғалысының әрекеті $\bar{c}$ және $\bar{\epsilon}$ байланысқан, күшейту коэффициентінің өзгеруінде байқалады, сонымен қатар, қарастырылатын жүйе кез келген c мәнінде тұрақты (2.12-сурет).



2.12 Сурет - Позициялық жүктеменің басым әсері кезіндегі жүйенің фазалық портреті

Шарт орындалғанда

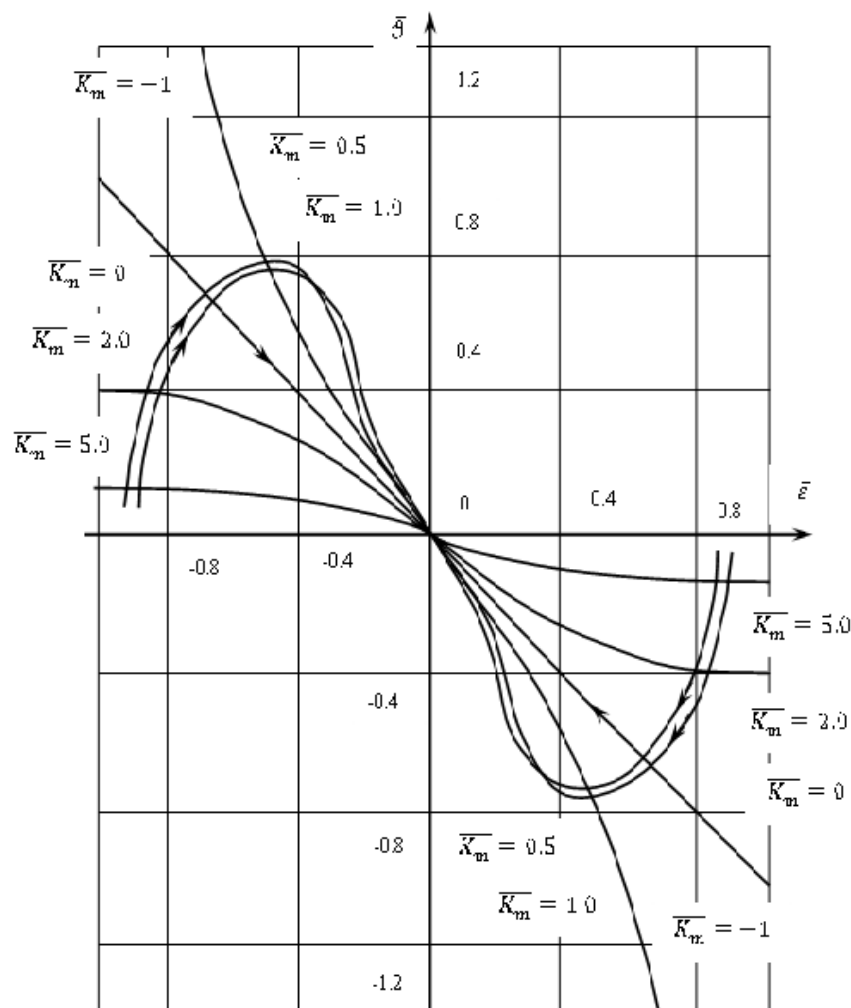
$$m\ddot{y} \gg h_D\dot{y} + cy + P_B + |P_{mp}|, \quad G \approx \sqrt{1 - \frac{m}{P_0 F} \ddot{y} \operatorname{sign} x},$$

сонда өлшеусіз координаттардағы өз қимылдарының теңдеуі келесі түрде жазылады

$$\bar{v} + \sqrt{1 - \overline{K_m} \frac{d\bar{v}}{d\bar{\varepsilon}} \bar{v} \operatorname{sign} \bar{v} \bar{\varepsilon}} = 0,$$

Мұнда $\overline{K_m} = \frac{m}{P_0 F} k_x k_0 v_{max}$.

Жүйенің фазалық портреті (2.13- сурет) тіркелген мәндерде алынған $\overline{K_m} \frac{d\bar{v}}{d\bar{\varepsilon}} = \text{const}$ (мысалы, 0.5 и 1.0).



2.13 Сурет - Инерциялық жүктеменің басым әсері кезіндегі жүйенің фазалық портреті

Фазалық портрет кез келген $\overline{K_m}$ және $\frac{d\bar{v}}{d\varepsilon}$, кезіндегі қозғалыстың орнықтылығын дәлелдейтініне қарамастан, үлкен инерциялық жүктемемен жүйенің орнықтылығын жоғалту жағдайлары белгілі, бұл қарастырылып отырған математикалық модельдің нақты жүйеге [С] сәйкессіздігін көрсетеді.

2.10 MatLab бағдарламалық ортасында параллель роботтың қозғалу дәрежесі дроссельді гидрожетекті модельдеу

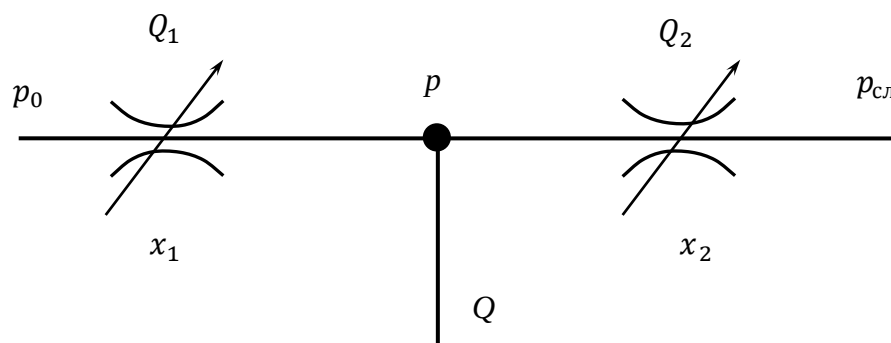
Қазіргі заманғы дроссельді гидрожетек жалпы қуат көзі арқылы тура және кері байланыстардың үлкен санымен күрделі көп каскадты динамикалық жүйе болып табылады. Каскадтар аналитикалық және каталитикалық емес сызықты емес дифференциалдық теңдеулермен сипатталады. x дроссельді гидрожетектің негізгі кіріс сигналы мен v гидродвигательдің жылдамдығы

арасындағы неголонсыз байланыстың болуы динамикалық процестерді зерттеу кезінде қысымның ауытқуын Δp бақылауды бір мезгілде жүзеге асыру қажеттілігіне әкеледі, жүктеменің ұйыту күш-жігерін ескере отырып, гидродвигатель қуысында P_6 . Соңғысы дроссельді гидрожетекті екі арналы жүйе ретінде қарауға мәжбүр етеді [64,65].

Модельдеу процесі дроссельді гидрожетектің дифференциалдық теңдеулер жүйесімен математикалық сипаттауынан және оның құрылымдық сұлбасын құрудан басталады. Зерттелетін гидрожетектің құрамында жеке туындыларда дифференциалдық теңдеулермен сипатталған үлестірілген параметрлері бар элементтер болған кезде, шамамен алынған модельдеудің әдістерін дәл шешуде Лапласы интегралды түрлендіру аппаратын, шоғырланған параметрлері бар тізбек көмегімен пайдаланады.

Дроссельді гидрожетектің жұмысының математикалық сипаттамасы үш типті теңдеулерден тұрады: Даламбер принципіне сәйкес күштер теңдеулері, гидрожүйенің кез келген нүктесінде жұмыс сұйықтығы ағынының ажырамау шартына сәйкес Шығыс теңдеулері, гидравликалық жергілікті кедергілерде, дроссельдерде және Алтынды бударда жұмыс сұйықтығы ағысының теңдеулері. Ең ерекше теңдеулердің соңғы түрі және осы теңдеулерге сәйкес келетін құрылымдық схемалар болып табылады.

Дроссельді гидрожетектің сызықты емес және линеаризацияланған құрылымдық сұлбаларын жасауды типтік элементар буындардан аралық математикалық қалауларды барынша азайтып, оның принциптік схемасы бойынша тікелей жүргізген жөн. Бақылау жүйелерінде кеңінен қолданылатын төрт сілтілі Алтынды гидроұстағыштардың кез келгенінде екі гидравликалық дроссельден тұратын қарапайым магистраль болады (2.14-сурет).

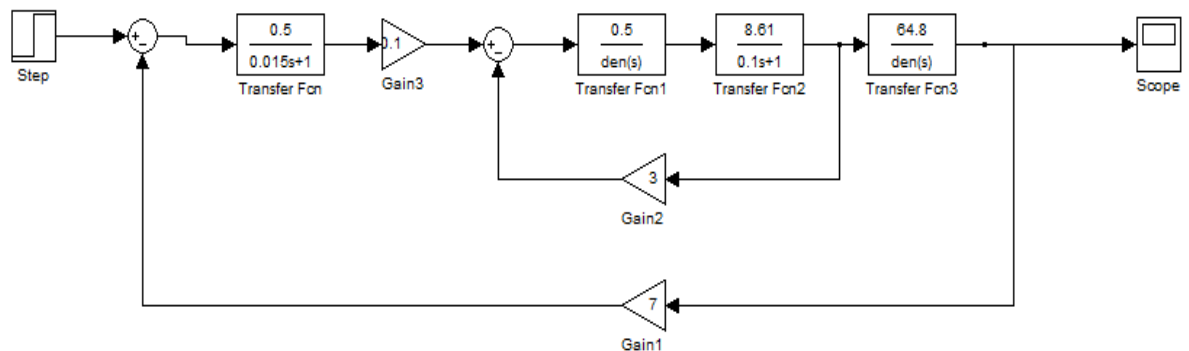


2.14 Сурет - Қарапайым гидравликалық тізбек

2.14 – суретте мынадай элементтерден тұратын қарапайым гидравликалық тізбек көрсетілген: x_1 , x_2 – гидравликалық дроссельдердің жылжымалы элементтерінің кіріс механикалық қозғалыстары, p – дроссельаралық камерадағы қысым, Q - жүктеме магистраліндегі Шығыс, p_0 , $p_{сл}$ - айдау және ағызу қысымы, Q_1 , Q_2 -бірінші және екінші дроссельдегі шығыстар тиісінше.

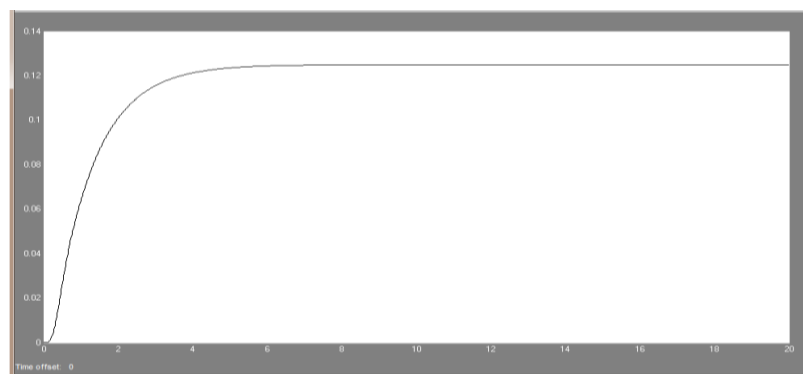
MATLAB, Simulink 12.0 бағдарламалы өнімде параллель Робот

қозғалмалылық дәрежесін қадағалайтын электрогидравликалық жетек жиынтығының қарапайым схемасы 2.15-суретте көрсетілген. Бұл схема электрогидравликалық бақылау жетегінің функционалдық және құрылымдық схемалары негізінде құрастырылды, оның математикалық сипаттамасы линеаризацияланған және оңайлатылған.



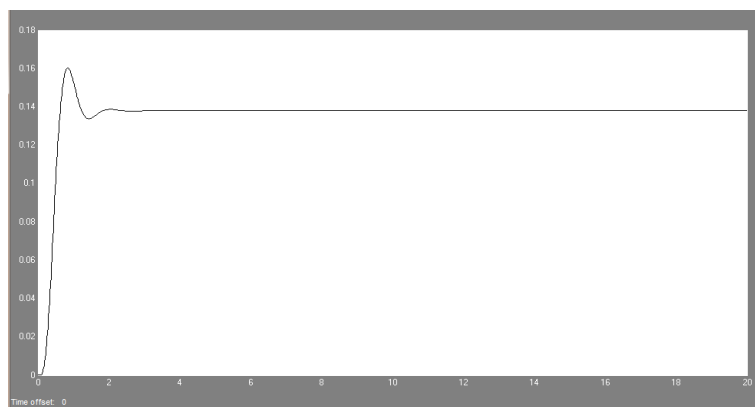
2.15 Сурет - Линеаризацияланған гидрожетек жиынтығының схемасы

Параллель роботтың қозғалыс дәрежесі гидрожетектің параметрлерінің номиналды мәндері кезіндегі модельдеу нәтижелері 2.16-суретте келтірілген. Суретте көрсетілгендей, өтпелі процесс тез үдеуі және баяу тежелуі бар тұрақты экспоненциалды сипатқа ие.



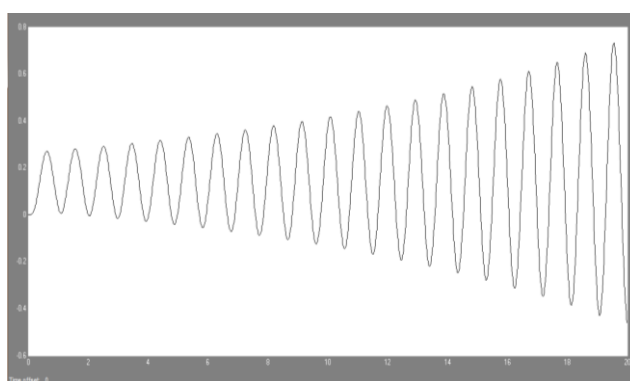
2.16 Сурет - $K_y = 0.5$, $K_{oc} = 7$, $K_{moc} = 3$.- кезіндегі модельдеу нәтижелері

Күшейту коэффициентінің 4 есе ұлғаюы тербелістің пайда болуына әкеледі, жүйе тұрақты болып қалады (2.17-сурет).



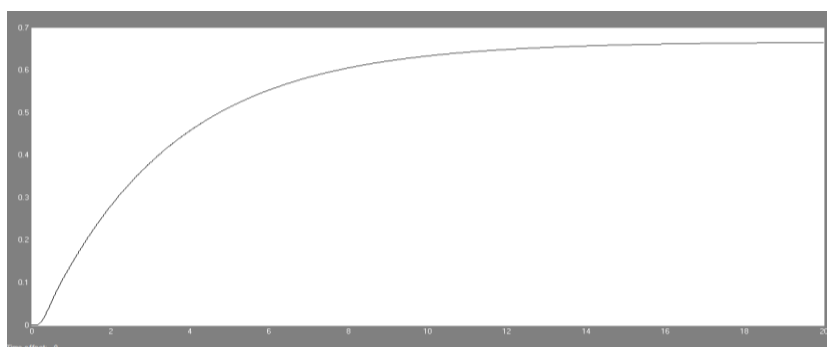
2.17 Сурет - $K_y = 2$, $K_{oc} = 7$, $K_{moc} = 3$. кезіндегі модельдеу нәтижелері

Күшейту коэффициентін одан әрі арттыру, жүйені тұрақсыз күйге әкеледі. Өтпелі процесс тербелмелі тұрақты емес болады (2.18-сурет).



2.18 Сурет - $K_y = 5$, $K_{oc} = 7$, $K_{moc} = 3$.кезіндегі модельдеу нәтижелері

Динамикалық қасиеттерге, гидрожетекке манипуляциялық роботтың қозғалу дәрежесіне, негізгі кері байланыстың тереңдігіне әсерін қарастырайық. Кері байланыс коэффициентінің аз мәндері кезінде өтпелі процесс баяу өшеді (2.19-сурет). Кері байланыс тереңдігін арттыру 2.16-суретте көрсетілген. Суреттен жүйенің жылдамдығы өседі.



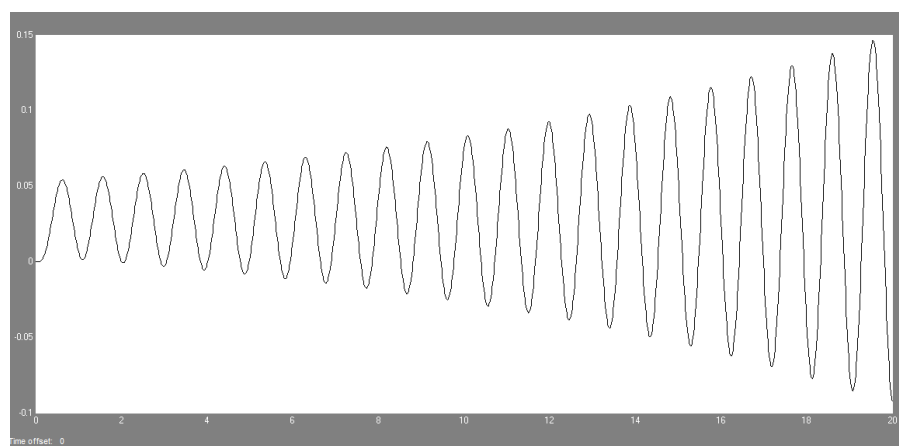
2.19 Сурет - $K_y = 1$, $K_{oc} = 1$, $K_{moc} = 3$. кезіндегі модельдеу нәтижелері

Кері байланыс тереңдігінің ұлғаюы өтпелі процесте тербелістердің пайда болуына әкеледі (2.20-сурет).



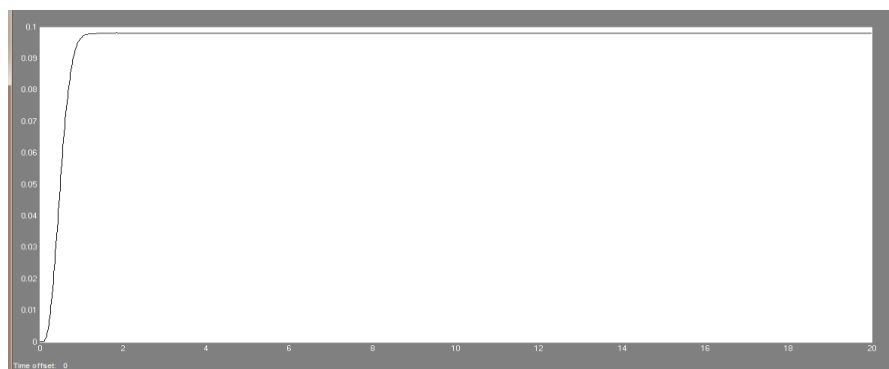
2.20 Сурет - $K_y = 1$, $K_{oc} = 20$, $K_{moc} = 3$ кезіндегі модельдеу нәтижелері

Кері байланыс тереңдігін одан әрі арттыру жүйені тұрақсыз күйге әкеледі. Өтпелі процесс кеңейетін амплитудасы бар тарайтын тербелістер болып табылады (2.21-сурет).



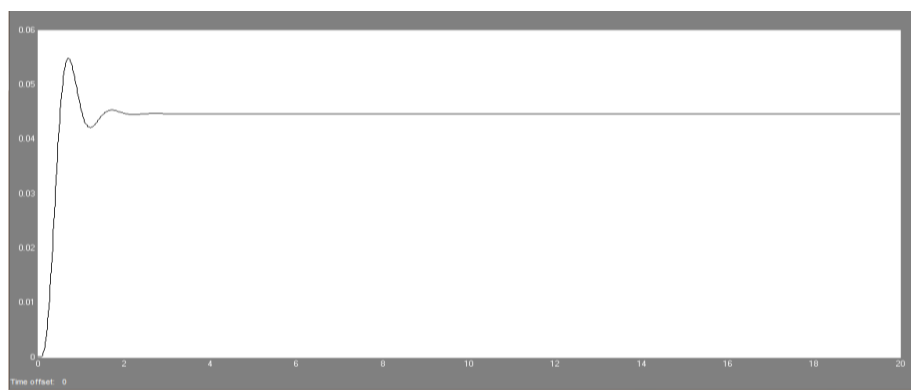
2.21 Сурет - $K_y = 1$, $K_{oc} = 35$, $K_{moc} = 3$ кезіндегі модельдеу нәтижелері

Параллель Робот қозғалу дәрежесі гидрожетектің динамикалық қасиеттеріне жергілікті кері байланыс тереңдігінің әсерін қарастырайық. Өтпелі процесте жергілікті кері байланыс коэффициентінің кіші мәндері кезінде реттеу уақыты азаяды (2.22-сурет). Жергілікті кері байланыстың тереңдік коэффициентінің номиналды мәні кезінде өтпелі процестің 2.16-суретте көрсетілген түрі болады.



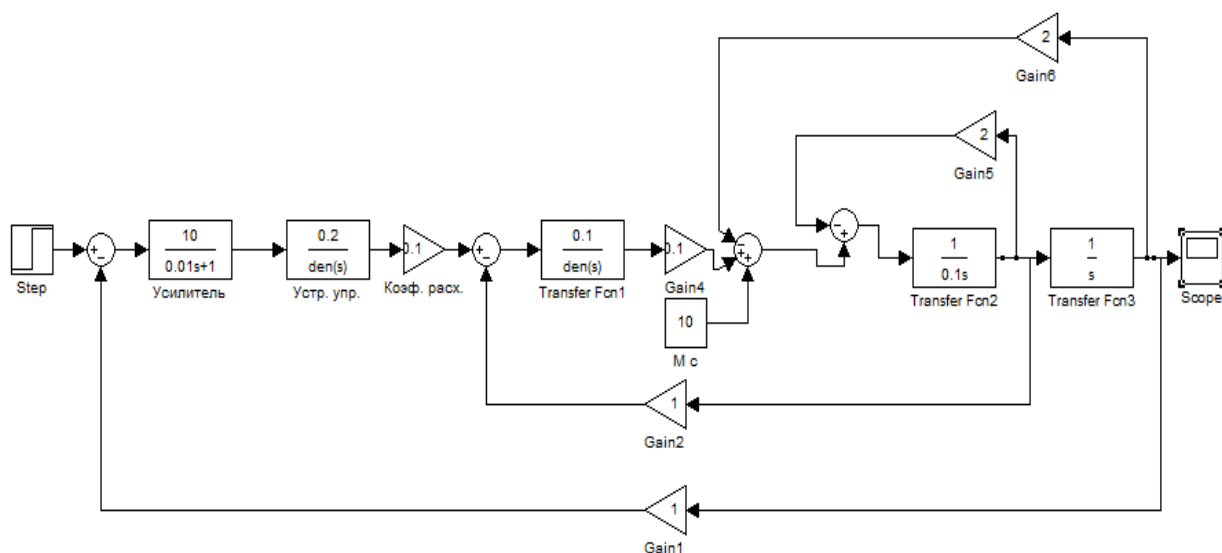
2.22 Сурет - $K_y = 1, K_{oc} = 10, K_{moc} = 1. = 1$ кезіндегі модельдеу нәтижелері

Жергілікті кері байланыс тереңдігінің ұлғаюы өтпелі процесс графигінде тербелістердің пайда болуына әкеледі (2.23-сурет). Алайда, жүйе жергілікті кері байланыстың тереңдігін айтарлықтай арттырған кезде де тұрақтылық қасиетін сақтайды.



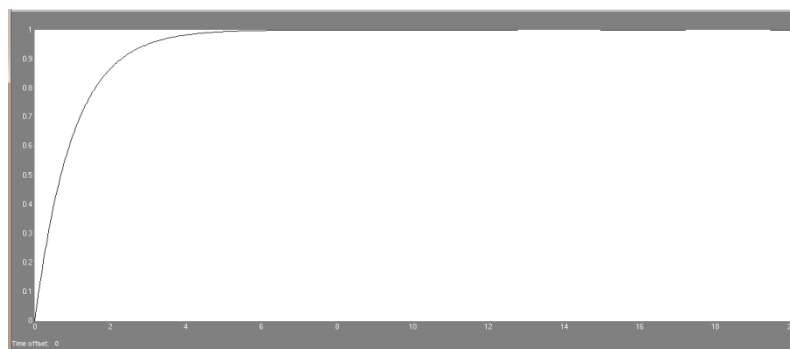
2.23 Сурет - $K_y = 1, K_{oc} = 10, K_{moc} = 80$. кезіндегі модельдеу нәтижелері

Гидроцилиндр қуысында пайда болатын сәттер бойынша кері байланыстардың қосымша контурларын қосып, параллельді Робот қозғалу дәрежесінің гидрожетегін жинаудың сызбасын күрделендіреміз. Негізгі жинақтың схемасына құрылымдық сұлбасы гидрожетек ескерілген кері байланыс бойынша позициялық, жылдамдық жүктеме, сондай-ақ моменттердің әрекет кедергі алынған. MatLab, Simulink 12.0 бағдарламалық өнімде жинақ схемасы 2.24- суретте көрсетілген. Сонымен қатар, жүйенің негізгі және жергілікті кері байланыстарын схемадан көруге болады. Бұдан басқа, бұрышта теріс кері байланыс және жылдамдық бойынша теріс кері байланыс салдарынан қозғалыс моментін азайтатын кері байланыс қосылды. . Сондай-ақ, жүйенің параметрлеріне байланысты қарсылық кезінде кері байланыс қосылды.



2.24 Сурет - Кедергі моменті бойынша кері байланыстарды ескере отырып, гидрожетектің жиынтық схемасы

Осы гидрожетектің параметрлерінің номиналды мәндері кезіндегі өтпелі процесс графигі 2.25- суретте көрсетілген. Өтпелі процесс тұрақты экспоненциалды сипатқа ие.



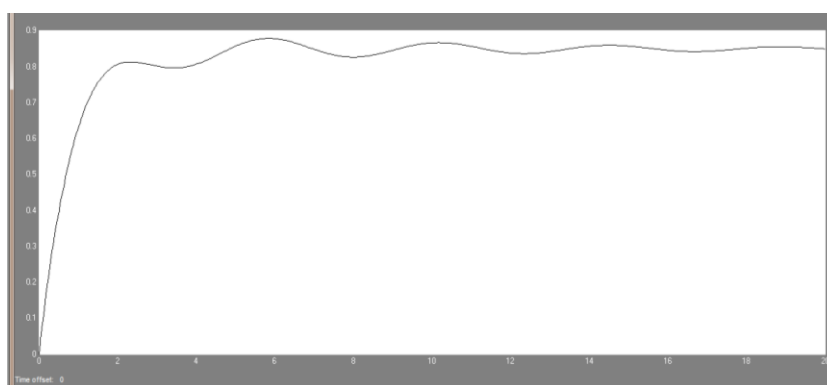
2.25 Сурет - $K_y = 10$, $M_c = 10$ кезіндегі модельдеу нәтижелері

Жылжымалы параллель Робот дәрежесі гидрожетектің тұрақтылығына жүйені күшейту коэффициентінің әсерін зерттейміз. Күшейту коэффициентінің ұлғаюы жүйенің тұрақтылығын сақтайды (2.26-сурет). Бұл қарастырылып отырған жүйеде орын алатын динамикалық процестердің дәл сипаттамасын білдіреді.



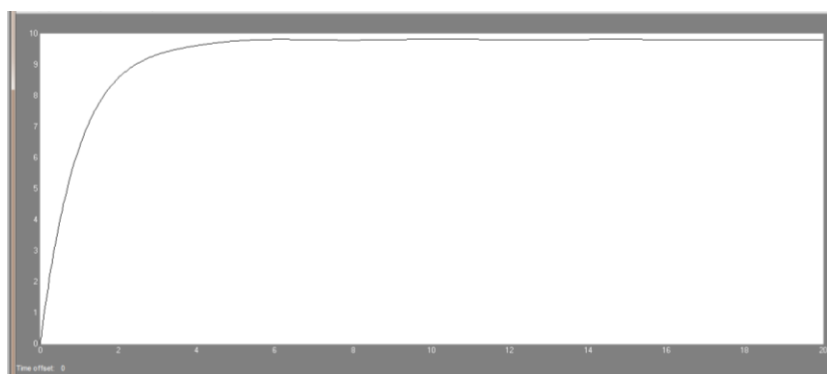
2.26 Сурет - $K_y = 100, M_c = 10$ кезіндегі модельдеу нәтижелері

Тек жүйенің күшейту коэффициентінің мәні едәуір ұлғайған кезде өтпелі процесс құрамында аз амплитудасы бар тербелісті құраушылардың пайда болуына әкеледі (2.27-сурет). Жүйе тұрақтылықты сақтайды.



2.27 Сурет - $K_y = 1000, M_c = 10$ кезіндегі модельдеу нәтижелері

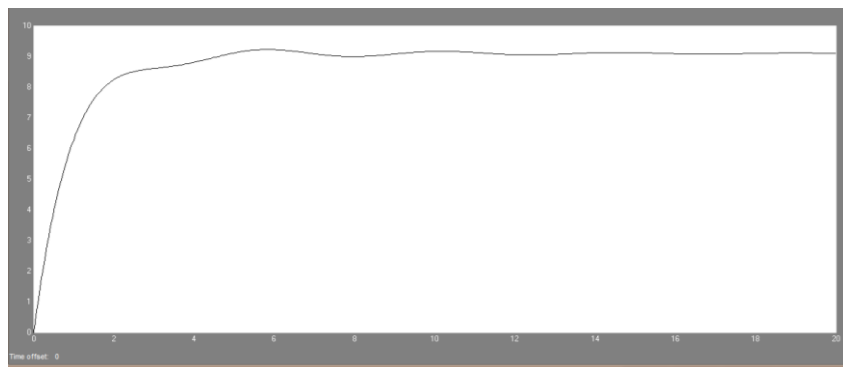
Кедергі моментінің әсері айтарлықтай емес. Моменттің мәнінің ұлғаюы өтпелі процесс түрінің үлкен өзгеруіне әкелмейді (2.28-сурет).



2.28 Сурет - $K_y = 100, M_c = 100$ кезіндегі модельдеу нәтижелері

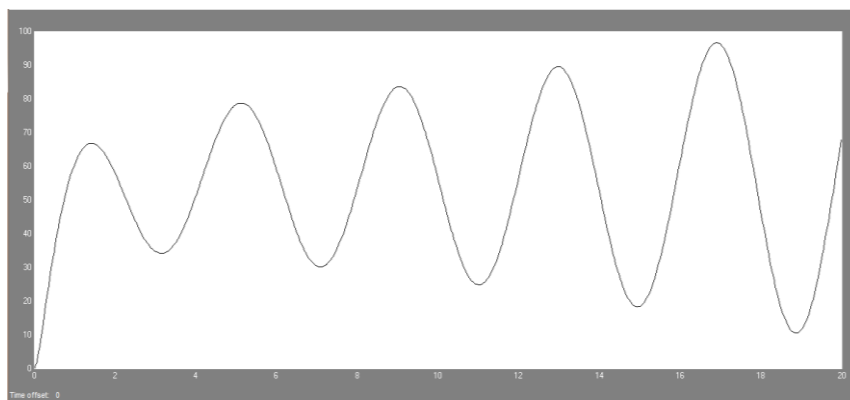
Жүйенің динамикасына басты кері байланыс тереңдігінің өзгеруі

айтарлықтай әсер етеді. Бұл коэффициенттің ұлғаюы тербелістердің пайда болуына әкеледі (2.29 сурет).



2.29 Сурет - $K_y = 100$, $M_c = 100$ кезіндегі модельдеу нәтижелері және негізгі кері байланыс коэффициентінің ұлғаюы $K_{oc} = 10$.

Басты кері байланыстың тереңдігін одан әрі арттыру жүйені тербелмелі тұрақсыздыққа әкеледі (2.30-сурет).

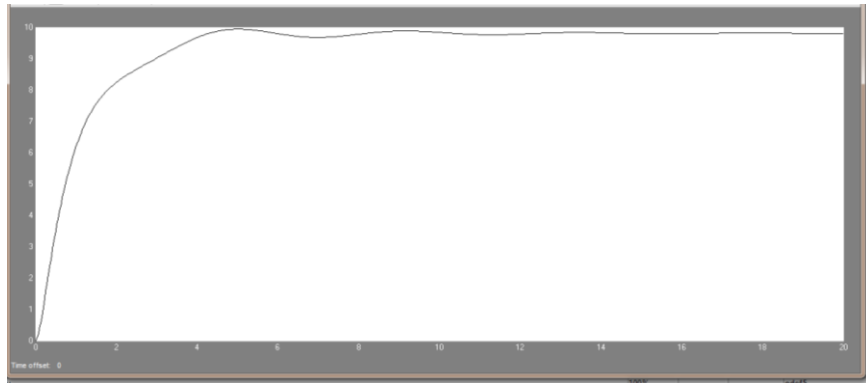


2.30 Сурет - $K_y = 100$, $M_c = 100$ кезіндегі модельдеу нәтижелері және негізгі кері байланыс коэффициентінің ұлғаюы $K_{oc} = 40$.

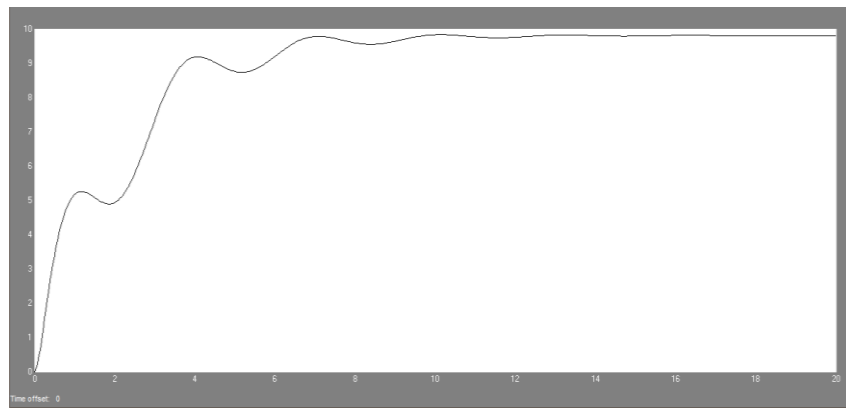
Жергілікті кері байланыстың жүйенің тұрақтылығына әсері де айтарлықтай емес. Бұл кері байланыстың тереңдігін арттыру өтпелі процесс құрамында тербелістердің пайда болуына әкеледі (2.31-сурет).

Жергілікті кері байланыс тереңдігінің одан әрі ұлғаюы өтпелі процестің басында тербелістердің пайда болуына әкеледі (2.32-сурет). Дегенмен, жүйе жалпы тұрақтылықты сақтайды.

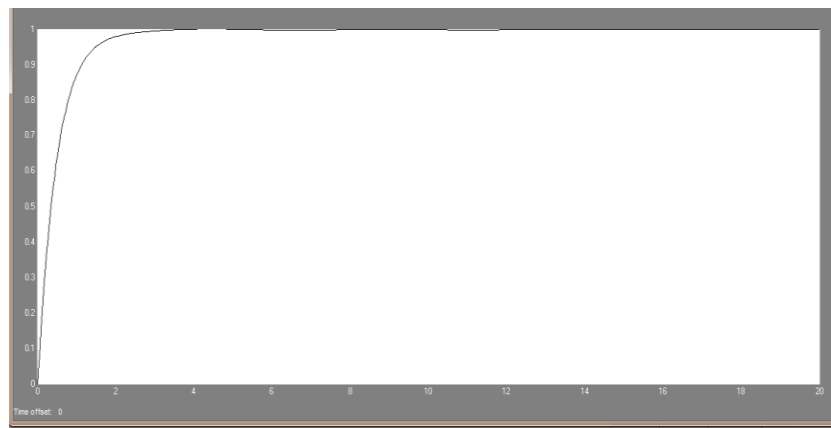
Қосымша кері байланыс жүйесінің динамикасына әсер етуді қарастырайық. Кері байланыс коэффициенттерінің мәндерін өзгерту жүйенің реттеу процестерінің сапасын арттырады (2.33-сурет). Өтпелі үрдістен көрініп тұрғандай, жүйенің жылдамдығы артады, реттеу уақыты азаяды.



2.31 Сурет - $K_y = 10, M_c = 10$ кезіндегі модельдеу нәтижелері және жергілікті кері байланыс коэффициентінің ұлғаюы $K_{\text{мос}} = 10$.



2.32 Сурет - $K_y = 100, M_c = 100$ кезіндегі модельдеу нәтижелері және жергілікті кері байланыс коэффициентінің ұлғаюы $K_{\text{мос}} = 100$.



2.33 Сурет - $K_y = 100, M_c = 100$ кезіндегі модельдеу нәтижелері және жергілікті негізгі кері байланыс коэффициентінің өсуі

Параллель роботтың қозғалу дәрежесі гидрожетектің математикалық сипаттамасы, MATLAB, Simulink 12.0 бағдарламалық ортасында модельдеу, реттеу процестерінің статикасы мен динамикасын қарастыру нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасауға болады:

1. Параллель роботтың қозғалыс дәрежесін гидрожетекті басқару әдісі ретінде төрт сілтілі золотникті қолдана отырып, дроссельді басқару схемасы ең қарапайым;

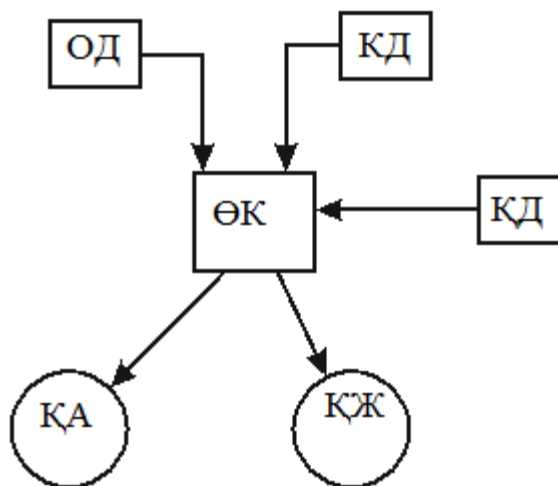
2. Төрт сілтілі золотникті қолдана отырып дроссельді басқару схемасының статикасы мен динамикасы реттеу процестерінің жоғары орнықтылығымен сипатталады;

3. Қарапайым жағдайда төрт сілтілі золотникті қолданумен дроссельді басқарылатын гидрожетекті модельдеу нәтижелері тұрақты жұмыс режимдерімен сипатталады, дегенмен, модельдеу жүйесінің параметрлерінің өзгеруі модельдеу нәтижелеріне айтарлықтай әсер етеді;

4. Қосымша кері байланыстарды қосу есебінен модельдеу сұлбасының күрделенуі модельдеуші жүйенің динамикасына параметрлердің өзгеруінің әсерін азайтады.

3 РОБОТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН АППАРАТТЫҚ ЖӘНЕ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

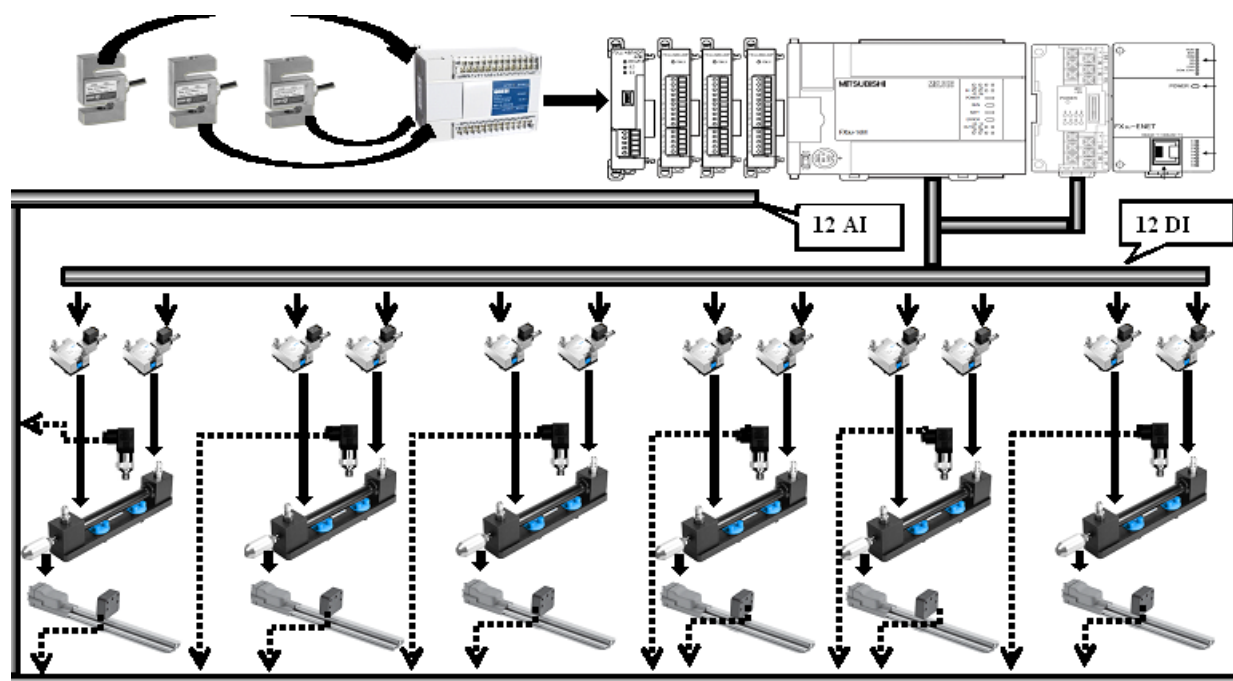
Сонымен қатар, басқару жүйесі, роботтың басқару жүйесі жобаланған, оның функционалдық схемасы 3.1- суретте көрсетілген.



3.1 Сурет - Басқару жүйесінің функционалды сұлбасы

3.1- суретте келесі белгілер бар: ӨК-өнеркәсіптік контроллер; КД – күш датчигі; ОД-орын ауыстыру датчигі; ҚД-қысым датчигі; ҚА-айдау клапаны (қалыпты ашық), ҚЖ-қалыпты жабық құю клапаны.

Басқару жүйесі келесідей жұмыс істейді: тұрақты және тұрақты токтан келетін сигнал дербес компьютерге беріледі. ДК, қолданыстағы алгоритмге сәйкес, RN цилиндрлерінің қуыстарындағы қажетті қысымды анықтайды, ол ОД-де нақты қысыммен салыстырылады, КД сенсорынан алынған мәліметтерге сәйкес, клапандардың біріне екілік сигнал жіберіледі, егер $R_P > R_N$ болса, онда су төгетін клапан ҚЖ ашылады, ал толтыру клапаны жабылады; егер керісінше болса, ҚА толтыру клапаны ашылып, су төгетін клапан жабылады. Қысым тең болған жағдайда клапандардың күйі өзгермейді. Егер бағананың тым жоғарғы жағдайы немесе тым төменгі жағдайы болса, клапандардың күйі белгілі бір жолмен ғана өзгеруі немесе өзгермеуі мүмкін.



3.2 Сурет - БЖ жеңілдетілген сұлбасы

Мысалы, $P_d > P_n$ болған кезде бағананың жоғарғы шегі пайда болды, су төгетін клапанды қосу мағынасыз - сондықтан бұл клапанның күйі өзгермеуі керек. Керісінше, $P_d < P_n$ болған кезде, шығару клапанын қосу керек, бірақ P_d қысымы сорғы станциясының мүмкіндігімен белгіленген максималды мәннен аспауы керек. Осыған байланысты басқа алгоритм бойынша шешімдер қабылдау үшін P -ға экстремалды позицияларға сәйкес келетін орын ауыстырулар туралы сигналдар қосымша жіберілуі керек.

3.2 - суретте FX3U-16MR / ES контроллері, слоттар, автобустар, гидравликалық жетектер, сенсорлар және жетектер роботтың басқару жүйесінің аппаратурасының жеңілдетілген диаграммасы көрсетілген.

3.1 Басқару жүйесінің аппараттық бөлігі, SCADA жүйесін пайдалану

Бұл жұмыста басқару жүйесінің принципіалды сұлбасы жасалды және 3.3- суретте көрсетілген басқару шкафы құрастырылды.



3.3 Сурет - Басқару блогы

FX3U - 16MR / ES (A1.6) контроллері қысым датчиктерінен, ығысу датчиктерінен және күш сенсорларынан сигналдарды тексереді. Сауалнама нәтижелері бойынша гидравликалық цилиндрлік клапандарда бақылау әрекеттері жасалады.

Қысым сенсорының сигналдары, цилиндрлер саны - 6 дана. және орын ауыстыру датчиктерінің сигналдары, сонымен қатар 6 дана. 4 ... 20 мА аналогтық сигнал ретінде ұсынылған.

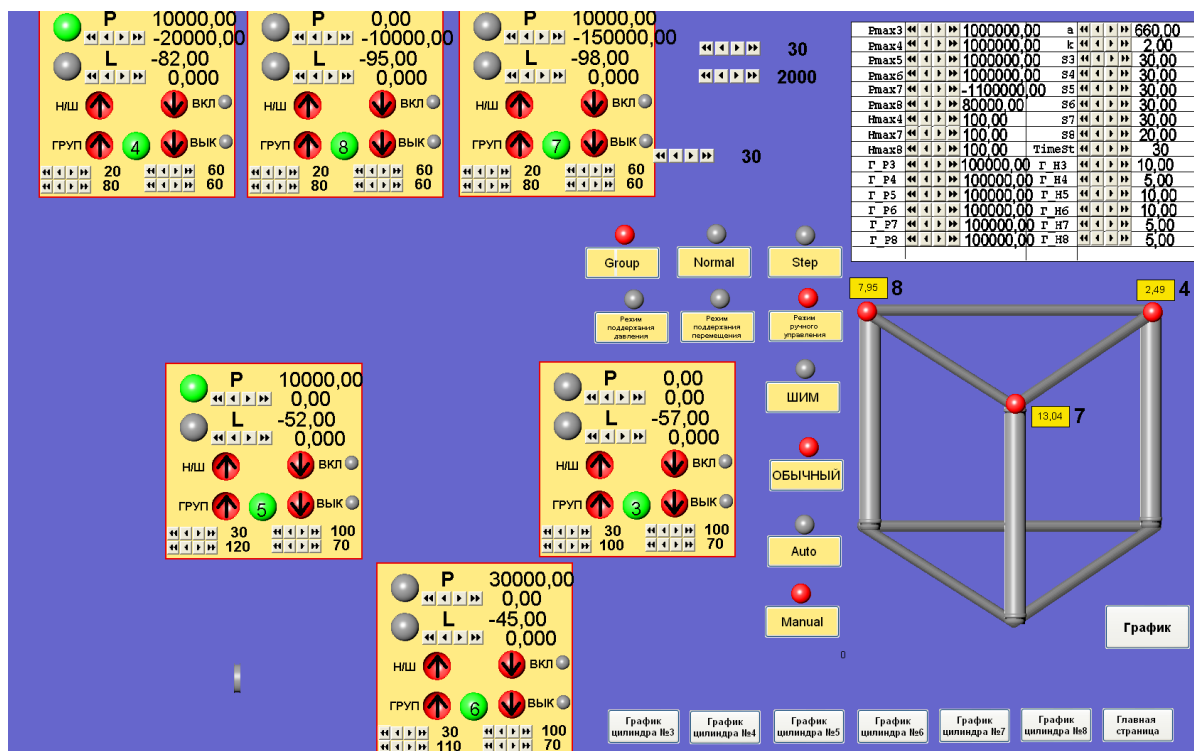
Контроллер FX3U - 4AD - ADP (A1.2 - A1.4) 3 аналогты кіріс модулін қолданып аналогты сигналдарды оқиды. Олардың әрқайсысы 4-ке дейін аналогтық сигналды қамтамасыз етеді.

Zemіс H3 штаммдары күш датчиктері ретінде қолданылады. Стендтің жанында орналасқан MV110-4TD сәйкестендіру блогы Modbus RTU протоколын қолдана отырып, екі сымды RS485 байланыс желісі арқылы үш кернеу өлшегіштерден сигналдарды контроллерге жібереді. Контроллердің RS485 интерфейсі FX3U-485-ADP модулі (A1.1) арқылы жүзеге асырылады.

Дискретті сигналдарды оқу тікелей FX3U - 16MR / ES контроллерімен, X0 және X1 кірістері арқылы жүзеге асырылады. Дискретті сигналдар, бұл жағдайда қолмен немесе автоматты түрде жұмыс режимін таңдайтын «Қолмен»

және «Автоматты» командалары болып табылады. Бұл командалар корпусының алдыңғы панелінде орналасқан SA1 қосқышы арқылы енгізіледі. Тандалған жұмыс режимі корпусының алдыңғы панелінде орналасқан HL2 және HL3 (сары) шамдармен көрсетіледі.

Бақылау әрекеттерінің клапандарға шығарылуы контроллердің дискретті шығысымен жүзеге асырылады, шығулар: Y0 ...



3.4 Сурет - SCAD жүйесіндегі бағдарлама экраны

Y7 және FX3U кеңейту модулі - 8EYR-ES / UL (A1.7), шығуы: Y0 ... Y3. Модульдің Y4 шығысы (A1.7) HL1 шамын (жасыл), төтенше жағдайлардың болмауын және контроллердің басқаруға дайын екендігін растайтын «ДАЙЫН» сигналын қосады.

Ағымдағы жүйенің параметрлері мен клапанның жұмыс режимдерінің дисплейі компьютер экранында визуализация жүйесімен көрсетіледі.

Контроллер FX3U - ENET модулінің (A1.8) көмегімен Ethernet арқылы компьютерлермен және SCADA - жүйемен байланысады. 3.4- суретте SCADA жүйесімен жөндеу және эксперимент жүргізу кезінде пайдаланылған экран көрсетілген.

Гидравликалық цилиндрлерді басқару тізбегі 24 В кернеуі бар 3 FESTO клапанын және кернеуі 1,2А және 9 EMDV-10 клапандарын 12V және 2,8А ток кернеуімен қолданады. Клапан катушкаларын қуаттандыру үшін 24 В (A3 ... A5) кернеуі бар POWER 42W және 12V (A6 ... A8) кернеуі бар 240 Вт қуат көзі қолданылады.

FX3U - 16MR / ES контроллерінің және FX3U - 8EYR-ES / UL кеңейту модулінің шығыс релесінің коммутациялық тогы 2А болғандықтан, коммутация

тогы 12А болатын RSZE 1S35M 24V аралық реле арқылы жүзеге асырылады. Релелік катушкаларды қуаттандыру үшін 24 В кернеуі бар қосымша 42 Вт қуат көзі қондырғысы қолданылады.

3.2 Екі сенсордың деректері негізінде платформалық роботтың гидравликалық жетегін басқару үшін анық емес контроллерді жобалау

Мұнда міндет SHOLKOR платформалық роботының гидравликалық жетегінің қозғалысын басқаратын анық емес реттегішті (АЕР) жобалау болып табылады (4.1-сурет). Бастапқы деректер максималды соққы $h = 140$ мм. және гидравликалық сорғы қамтамасыз ететін максималды қысым - 60 бар. Гидравликалық жетек диаграммасы 3.17 суретте көрсетілген. Жоғарыда айтылғандай, гидравликалық жетекте қайтымды серіппелері бар бір ретті гидравликалық цилиндрлер бар.

3.5-суретте қысым датчигі 3, магнитостриктивті орын ауыстыру датчигі 2, штамм өлшеуіштерімен жабдықталған SHOLKOR роботының жұмыс үлгісі көрсетілген. Гидравликалық жүйе гидравликалық сорғымен 6 жұмыс істейді.

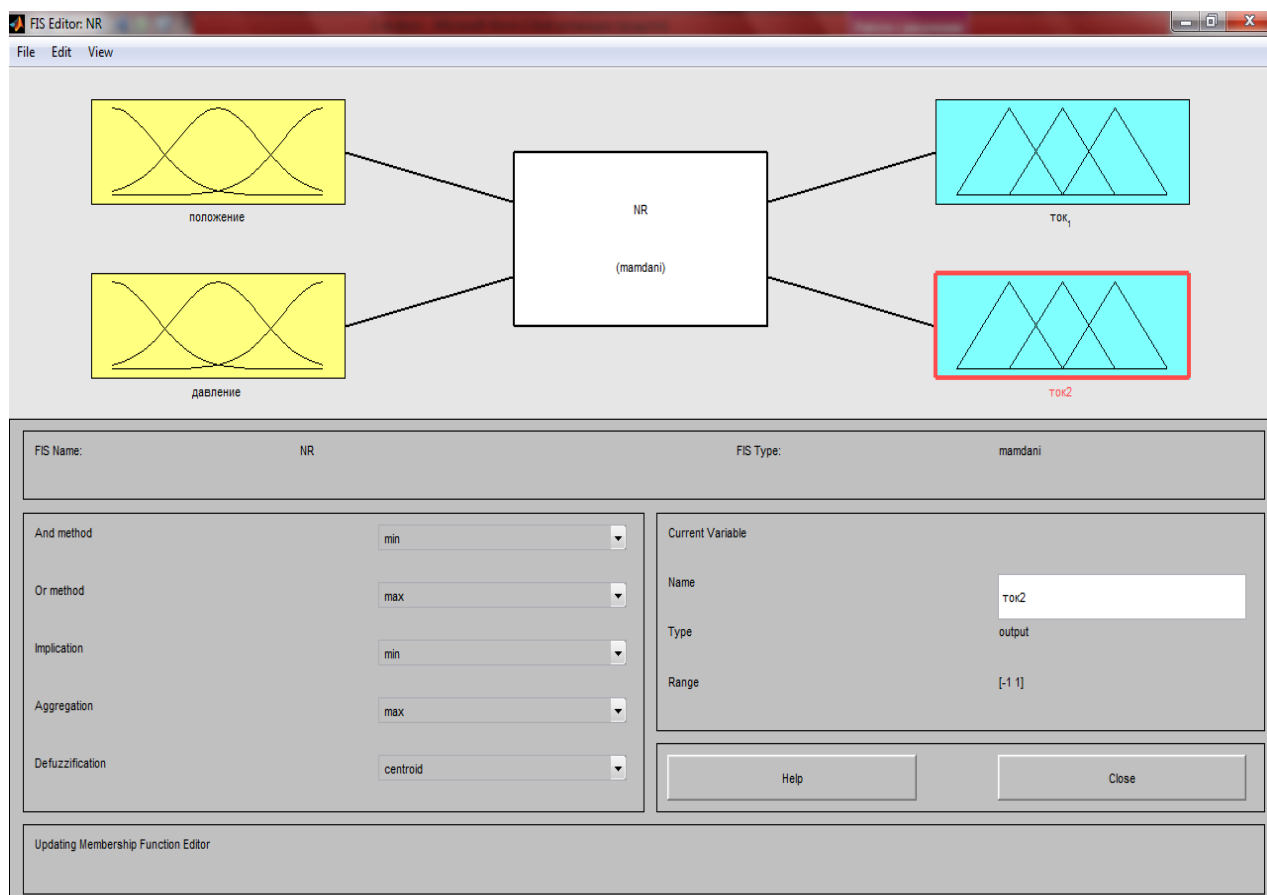
Бұрыштық өлшеуіш датчигі 8 және сыртқы платформа жағдайында анықталған, алгоритмге сәйкес жылжу датчигі 9 анықтаған жоғарғы жүктемеге байланысты, әуе көлігіндегі қажетті сұйықтық қысымы анықталады. Нақты қысымды сенсор 15 анықтайды, осылайша жүйені іске қосатын кіріс сигналдары орын ауыстыру датчигінің сигналы және қысым сәйкессіздігі болып табылады. Инъекциялық 11 және төгетін 12 клапанның көмегімен қуыста қажетті қысым бұрын көрсетілген алгоритмге сәйкес орнатылады.

Жобаланған НР бұрын құрылған басқарылатын жүйенің беріктігін қамтамасыз етуі керек. Бұлыңғыр контроллер үшін біз жылжу және қысым датчиктерінен алынған кіріс ақпаратын анықтаймыз, яғни. екі шама: бағананың ығысуы s және бағананың жоғарыда көрсетілген аймағында қысым айырымы p . Екі мән де шығарылады: разрядты клапанның соленоидінің ағымы - In және су төгетін клапанның соленоидінің тогы - Ic . Екі өлшемді модель түріндегі осы айнымалылардың графикалық интерфейсі FIS редакторында 4.7 суретте көрсетілген.

Біз Mamdani анық емес анықтама жүйесін қолданамыз. Сонымен қатар, анық емес логикалық ЖӘНЕ үшін **min**, **max** - анық емес логикалық НЕМЕСЕ үшін, импликация әдістері (**min**), агрегация (**max**) және дефазификация әдісі таңдалған. Айнымалылардың әрқайсысы үшін біз терминдер жиынтығын анықтаймыз. Енгізілетін айнымалы «позиция» - s жиынтығын $T1 = \{ \text{«тым төмен»}, \text{«төменге жақын»}, \text{«төмен қарай бағытталған»}, \text{«бастапқы орташа»}, \text{«жоғары бағытталған»}, \text{«жоғарыға жақын»}, \text{«түрінде ұсынуға болады. өте жоғары»} \}$. Кіріс айнымалы шарттардың жиынтығы гидравликалық цилиндрдің қуысындағы қысымның айырмашылығы болып табылады (штанганың үстінде) статикалық күштің әсерінен туындаған есептелгеннен - «қысым» - p $T2 =$

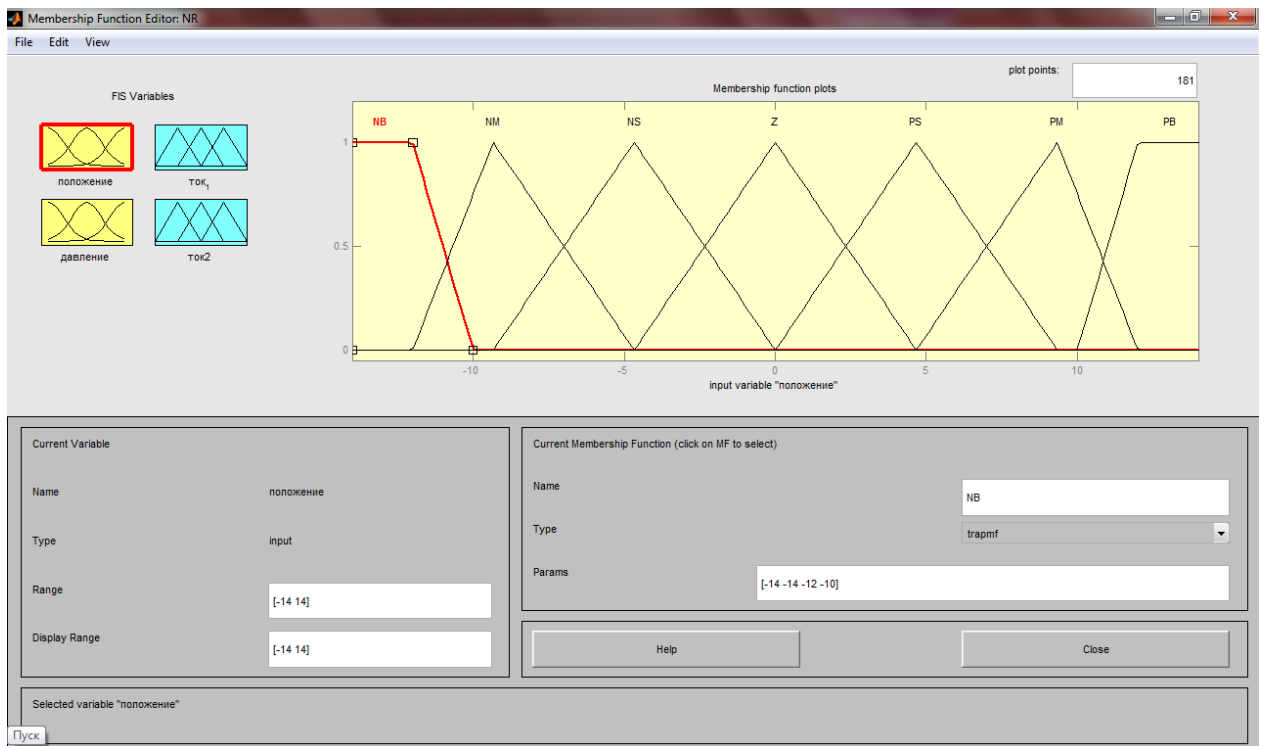
{«теріс», «нөлге тең», «позитивті»} формасы болып табылады. Шығарылатын айнымалы шарттардың жиынтығы бір-біріне ұқсас, яғни. ағызу клапанының ағымы $T4 = \{\text{«қосулы», «қысқаша», «өшірулі»}\}$, $T4 = \{\text{«қосулы», «қысқаша», «өшірулі»}\}$ сияқты. Қысқартылған терминдер ережелерді қалыптастыруға ыңғайлы түрде ұсынылады, атап айтқанда:

$T_1 = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$; $T_2 = \{NS, Z, PS\}$; $T_3 = \{N, NP, P\}$; $T_4 = \{N, NP, P\}$; (centroid).



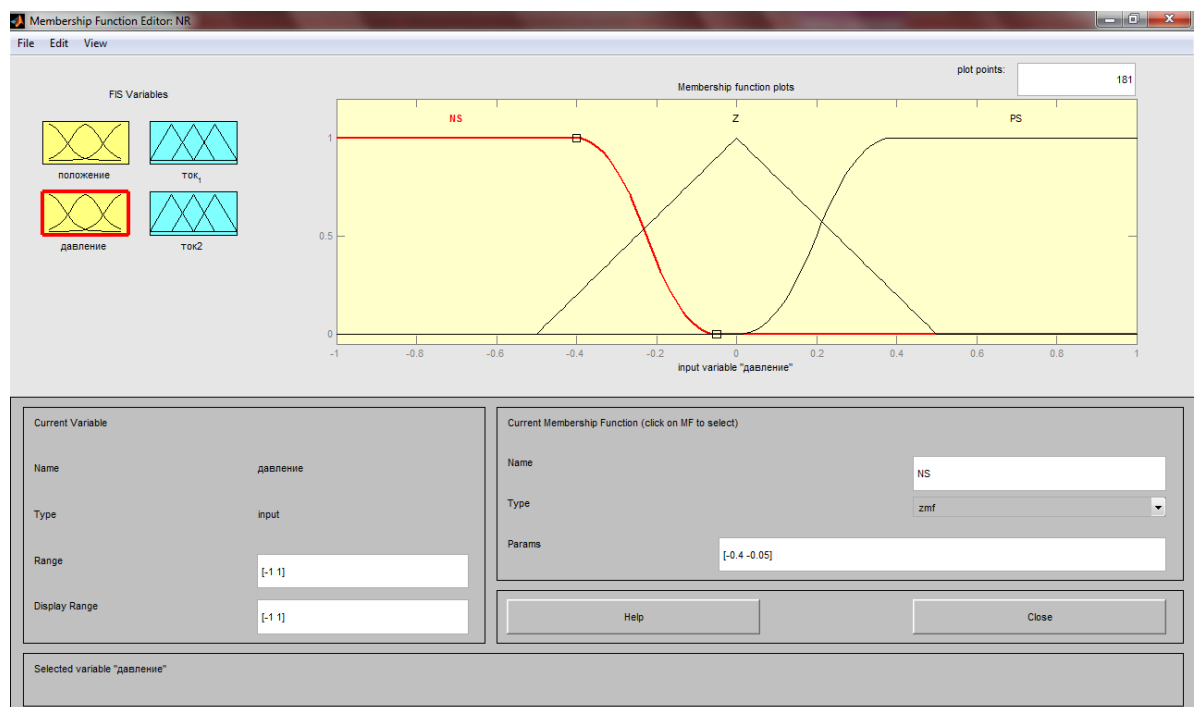
3.5 Сурет - FIS редакторындағы айқын емес реттегіш моделі

3.6 - суретте көрсетілген s айнымалының әр кезеңі үшін мүшелік функциясының графигін құрайық. Позиция -14-тен 14 см-ге дейін өзгереді деп болжанады.



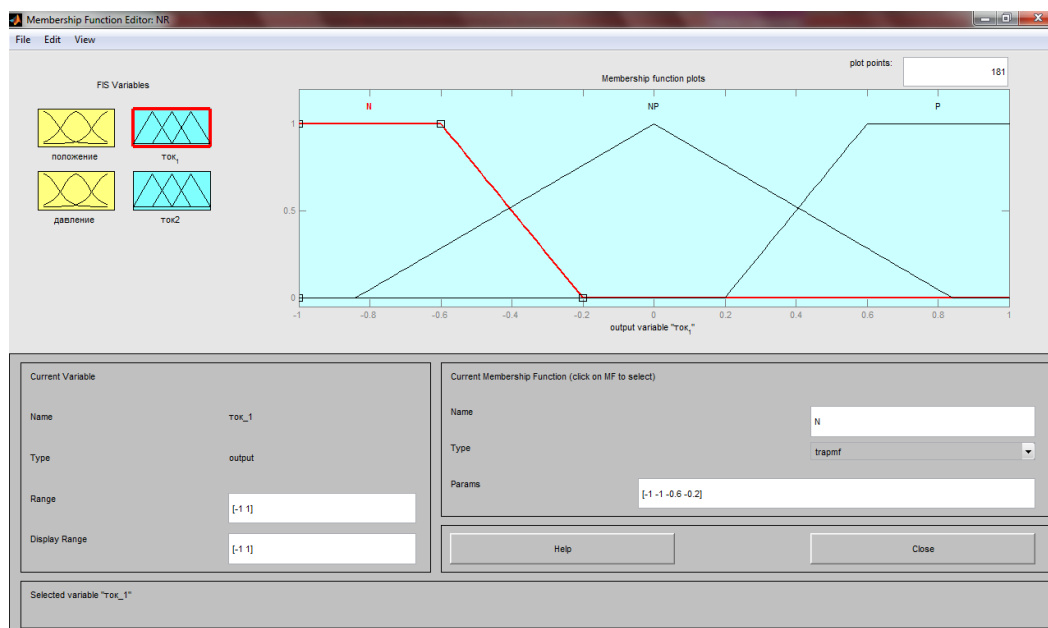
3.6 Сурет - s айнымалы айнымалы шарттарының мүшелік функциясының терезесі

3.7-суреттегі кестеде «қысым» кіріс айнымалысының мүшелік функциялары көрсетілген.

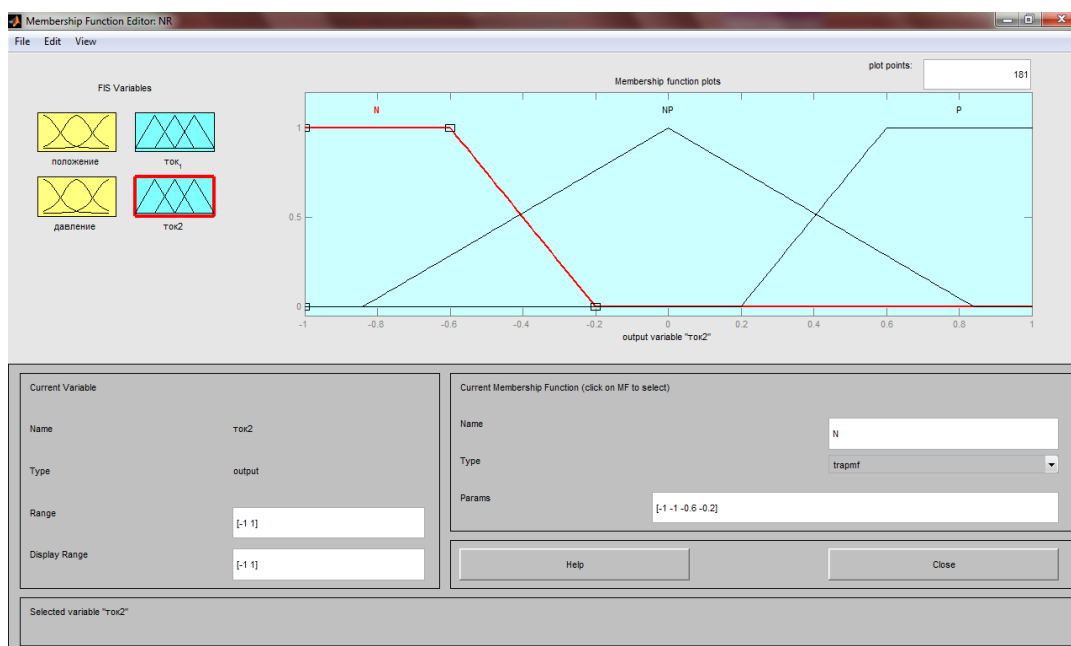


3.7 Сурет - p айнымалы айнымалы шарттардың қосалқы функцияларының графигі

Айнымалы «қысым» гидравликалық жүйенің техникалық сипаттамаларына және әрекет ететін динамикалық жүктемелерге байланысты. График (3.8, 3.9-сурет) Т3, Т4 жиындарының шығу айнымалы шарттарының мүшелік функциялары өзгергенін көрсетеді.



3.8 Сурет - Қысым клапанының шығыс тогының тиістілік функциясының графигі



3.9 Сурет - Айнымалы ток қондырғыларының шығатын клапандарының функционалды графигі

1. Жобалаудың келесі кезеңі - гидравликалық жетекті басқару ережелерін жасау. Гидравликалық жетектерді пайдалану тәжірибесі мен платформаның роботын сыртқы әсер ететін бұзылуларға бейімдеу мақсатына сүйене отырып, келесі эвристикалық ережелер құрылуы мүмкін: (Осы ережелерді оңтайландыру үшін OBZ қолданылады).

2. Бастапқы қалыпта баған ортаңғы қалыпта ($s = Z$), жылдамдық нөлге тең ($v = Z$), содан кейін разрядтау клапаны қосылуы ($In = P$), ағызу өшірулі ($Ic = N$). Бұл жағдайда айта кету керек, жабық гидравликалық жүйе тепе-теңдікте болады, бұл өзектің қажетті күйін қамтамасыз етеді, ол өздігінен әр түрлі жағдайда қоздырғыш әсер етеді.

3. Егер баған аз мөлшерде ($s = PS$) жоғары бағытта болса және жылдамдық жоғарыға бағытталған болса ($v = PS$), онда өзекшені бастапқы күйіне қайтару үшін босату клапанын қысқа қосу керек ($In = PN$).

4. Егер өзек көп мөлшерде қозғалса ($s = PM$) және жылдамдық жоғарыласа ($v = PS$), онда өзекшені бастапқы күйіне қайтару үшін босату клапаны толығымен қосылуы керек ($In = P$).

5. Егер баған қауіпті үлкен мөлшермен ($s = PM$) жоғары қарай қозғалса және жылдамдық жоғарыға бағытталған болса ($v = PS$), содан кейін су төгетін клапанды толығымен қосыңыз ($In = P$) және сабақты тежеу үшін су төгетін клапанды аз уақытқа қосыңыз ($Ic = N$) және ең жоғарғы позицияға әсер етуді болдырмаңыз.

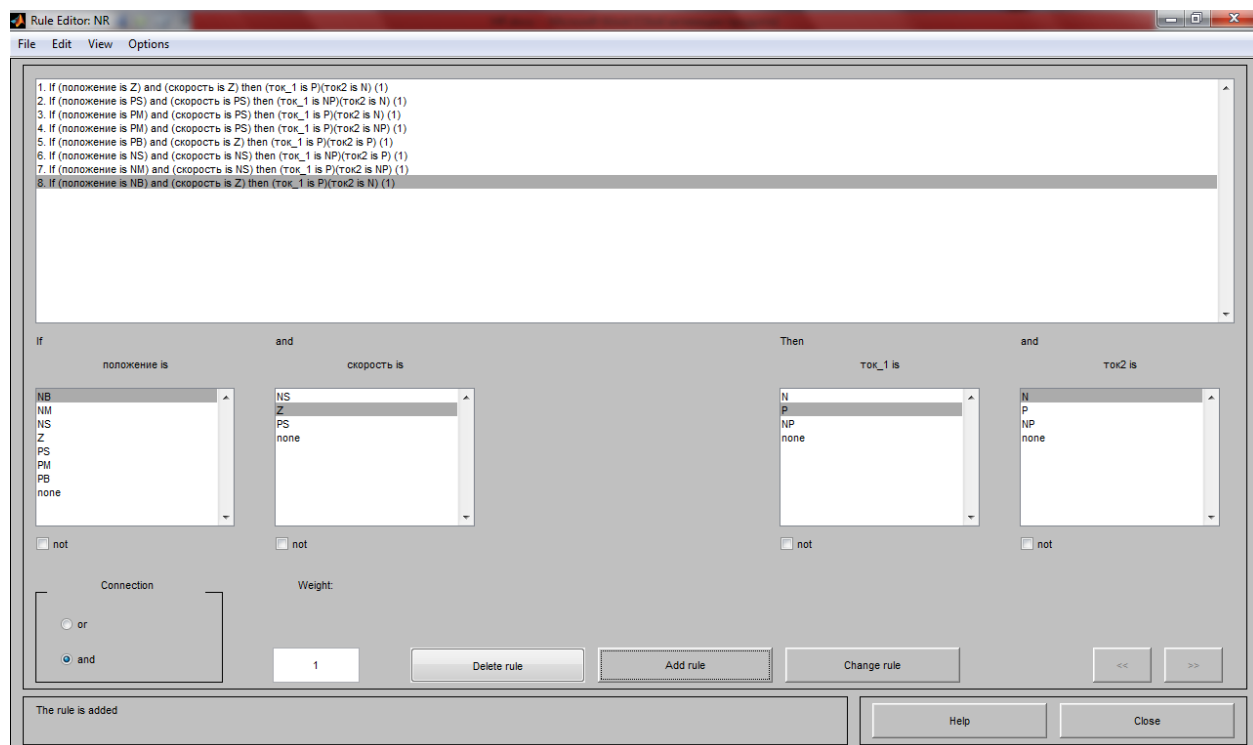
6. Егер баған жоғары көтеріліп тұрса ($s = PB$), ал жылдамдық нөлге тең болса ($v = Z$), содан кейін су төгетін клапанды ($Ic = P$) қосыңыз және төгу клапанын қосыңыз ($In = P$).

7. Егер баған аз мөлшерде төмен түссе ($s = NS$) және жылдамдығы төмен қарай бағытталған болса $v = NS$, онда шығару клапаны қысқа уақытқа қосылуы керек ($In = PN$).

8. Егер өзек көп мөлшерде төмен түссе ($s = NM$) және жылдамдығы төмен болса ($v = NS$), онда өзекшені бастапқы күйіне қайтару үшін босату клапаны толығымен қосылуы керек ($In = P$).

9. Егер баған қауіпті үлкен мөлшермен ($s = NB$) төмен қарай қозғалса және жылдамдық төменге бағытталған болса ($v = Z$), содан кейін су төгетін клапанды толығымен ($In = P$) қосыңыз және сабанды тежеу үшін су төгетін клапанды ($Ic = N$) өшіріңіз. тұтқаның ең төменгі күйінде соққыны болдырмаңыз.

Көрсетілген ережелер OBZ бағдарламалық қамтамасыз етуді қолдану арқылы оңтайландырылды, содан кейін ережелер RuleEditor көмегімен бағдарламаға енгізілді (3.10- сурет).



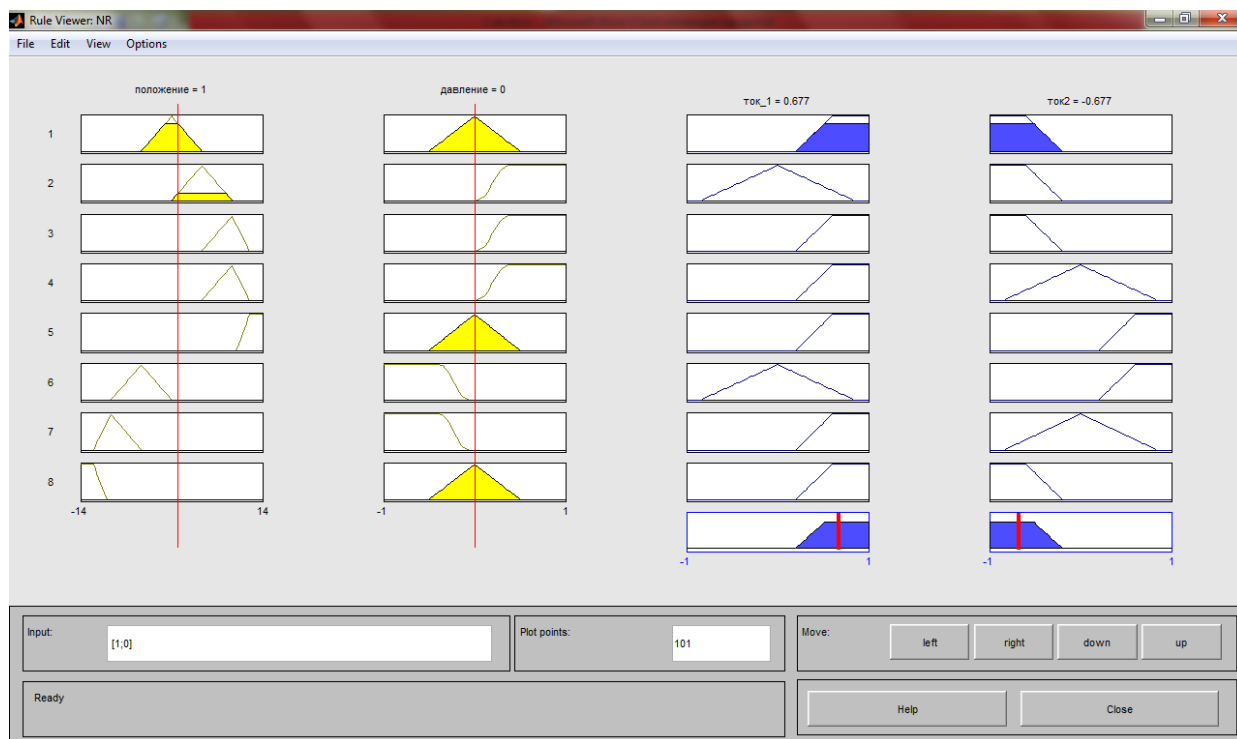
3.10 Сурет - RuleEditor реакторының көмегімен ережелерді қалыптастыру

Шындық дәрежесін анықтай отырып, бұлыңғыр өндірістердің шартты бөлігіндегі мәлімдемелерді есептеу агрегаттау деп аталады.

Әр ереже үшін нәтиже алған кезде оның шындық дәрежесін бағалау қажет. Бұл бағалау ереженің шартты бөлігінің тұжырымдарының шындық дәрежесіне, ереже негізделетін бастапқы тұжырымдар мен қорытынды арасындағы байланыстың шындық дәрежесіне байланысты, яғни. ережеде келтірілген ықтимал нәтижелер терминінен алынған мағынаның шындық дәрежесі және тұжырымның шындық дәрежесі.

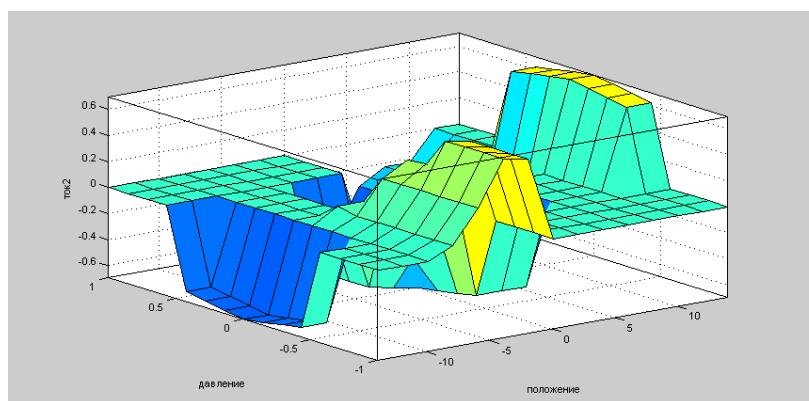
Ережеге сәйкес алынған тұжырымның шындық дәрежесін бағалау активация деп аталады.

Алынған ережелер 3.11- суретте көрсетілгендей графикалық түрде ұсынылуы мүмкін.



3.11 Сурет - Ереженің графикалық бейнесі

Бұл графикте қысым мен орын ауыстыру датчиктеріндегі мәліметтерге байланысты өзгерістерді байқауға болады. Нәтижесінде АЕР моделі алынды. 3.12-суретте кіріс және шығыс параметрлерінің тәуелділігі түріндегі АЕР жұмысының бағыттары көрсетілген.



3.12 Сурет - АЕР жұмысының бағыттары

Графикалық интерфейсті қолдану жобаланған АЕР-дің негізгі қасиеттерін сипаттауға мүмкіндік берді: типі мен құрылымы, агрегаттау, активтендіру және деффузация операцияларын орындау әдістері, сонымен қатар нақты әлем моделін сипаттау үшін қолданылатын лингвистикалық айнымалылардың сипаттамасы.

Осылайша, ауытқу және қысым датчиктерінің мәліметтері бойынша, ағызу және төгу клапанындағы бақылау әрекеттерін қалыптастыратын және

осылайша гидравликалық жетектің тірегінің орнының тұрақтылықты қамтамасыз ететін, сыртқы әсер ететін бұзылуларға қарамастан, бір АЕР алынды. Бұл сенімді басқаруды қамтамасыз етеді.

3.3 Параллель құрылымды роботының қозғалыс реакциясын эксперименттік зерттеу

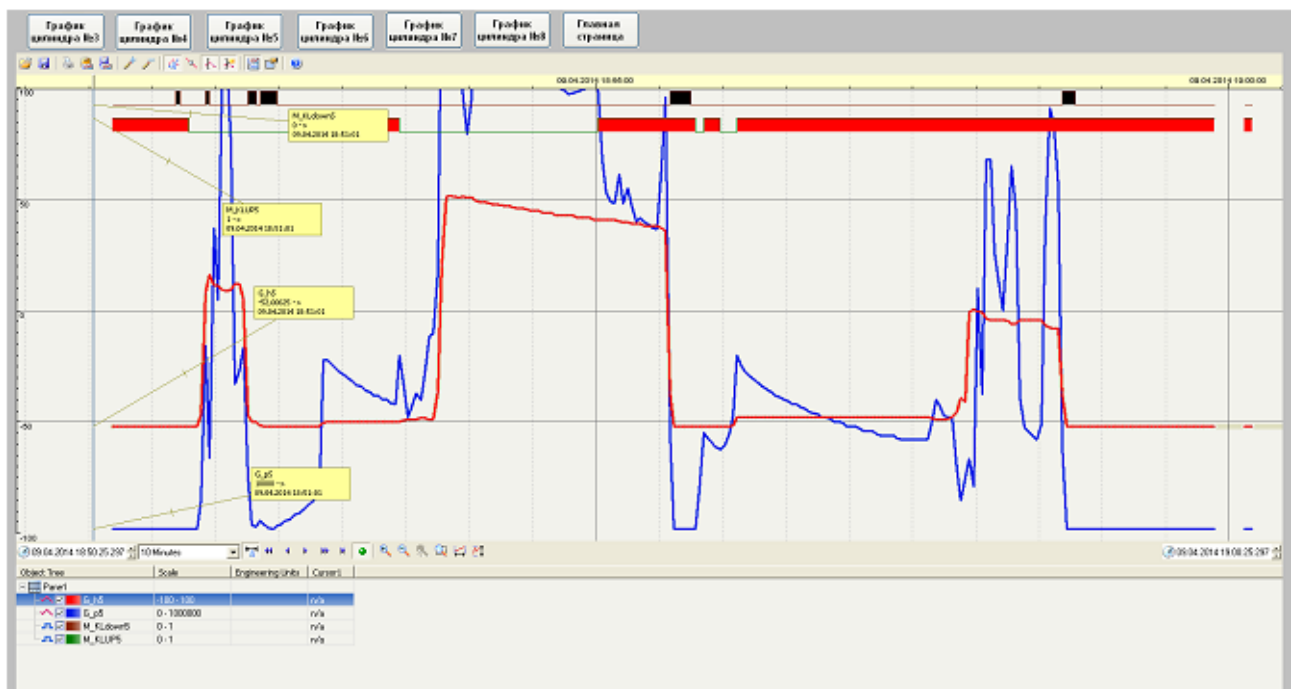
Эксперименттер жүргізу нәтижесінде гидродвигательдердің штоктарының жылжуы мен арынды магистральдағы ЖС қысымының тәуелділігін зерттеу жоспарланған болатын. Бұл тәуелділік тиісті гидрожетектердің қозғалыс реакцияларын көрсетеді.

Тәжірибелік орнату үшін параллель роботының қолданыстағы моделі пайдаланылды. Эксперименттердің бұл бөлігі платформа роботында тікелей жүргізілді. Эксперимент жүргізу үшін роботтың жоғарғы платформасына берілген салмағы 15 кг. жүк орналастырылған. Тензометриялық датчиктер мен Қысым датчиктерінің көмегімен гидроцилиндрлердің жұмыс қуыстарындағы шток пен қысымның әрекет ететін күш мәндері анықталды. Бұл мәндер контроллерде өңделеді және роботты басқару бағдарламасы пайдаланылды.

Содан кейін, берілген дәйектілікке сәйкес, Басқару блогы Робот платформасының қозғалысын басқаруды жүзеге асырды. Ақпараттық-өлшеу жүйесінен алынған деректер берілген бағдарлама бойынша контроллермен өңделеді және монитро экранында шток жылжуының (шток қозғалу датчиктері бойынша анықталатын) және гидроцилиндрдегі қысымның тәуелділік графиктері шығарылды. Алынған эксперименталды деректердің кейбірі 3.13 (а-с) суретте келтірілген.



a)



b)



c)

3.13 Сурет - Тәжірибелік зерттеу графиктері

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды роботты синтездеуге, талдауға, модельдеуге және басқаруға арналған ғылыми негізделген әдістер мен құралдарды әзірлеуден тұратын жүйелік талдау саласындағы маңызды ғылыми мәселе шешілді.
2. Параллель роботтардың синтезіндегі бұрандалардың жабық топтары құрылымдық ерекшелігін болдырмауға мүмкіндік беретіні анықталды.
3. Алты еркіндік деңгейіндегі жазықтықтық механизм ғарыштық телескоп үшін ең қолайлы робот схемасы екендігі дәлелденді.
4. Параллель құрылымды роботтардың сызықтық емес қасиеттері оны дірілдеткіш ретінде пайдалану мүмкіндігін анықтайтындығы анықталды.
5. Экспериментальды түрде ғарыштық телескопқа арналған параллель құрылымды роботты басқару оның дәлдігін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіндігі анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1) Gough V.E. Contribution to discussion of papers on research in Automobile Stability, Control and Tire performance //Proc. Auto Div. Inst. Mech. Eng. – 1956-1957. – P. 392-394.
- 2) Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom //Proc. Inst. Mech. Eng.- 1965. – Vol. 1, № 15.
- 3) Hunt K.H. Kinematic Geometry of Mechanisms. – Oxford: Clarendon, 1978.
- 4) Хант К.Х. Кинематические структуры манипуляторов с параллельным приводом //ASME, Конструирование. - 1983. - Т. 105, № 4. - С. 201-210.
- 5) Mohammed M., Duffy J. A Direct Determination of the Instantaneous Kinematics of Fully Parallel Robot Manipulators //ASME J. Mech., Trans., Autom. Des. - 1985. - Vol. 107 (2).
- 6) Merlet J.P. Singular configurations of parallel manipulators and Grassmann geometry //Int. J. Robotics Research. – 1989. - Vol. 8, № 5. – P. 45-56.
- 7) Merlet J.P. Parallel Robots (Solid Mechanics and Its Applications). – Springer, 2006. - ISBN-10: 1402041322.
- 8) Merlet J.P. Jacobian, manipulability, condition number, and accuracy of parallel robots //ASME J. Mech. Des. – 2006. - № 128(1). - P. 199–206.
- 9) Gosselin C.M., Angeles J. Singularity Analysis of Closed Loop Kinematic Chains //IEEE Trans. on Robotics and Automation. – 1990. - № 6(3). - P. 281-290.
- 10) Глазунов В.А., Колисков А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. - М.: Наука, 1991. – 96 с.
- 11) Collins C., Long G. On the duality of twist/wrench in serial and parallel chain robot manipulators //Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Autom. - Nagoya, 1995. - P. 526-531.
- 12) Collins C., Singularity analysis and design of parallel manipulators //Ph.D. Thesis /Dept. Mech. Eng., Univ. of Calif. - Irvine, 1997.
- 13) Tsai L.W. The Jacobian analysis of a parallel manipulator using reciprocal screws //Proceedings of the 6th International Symposium on Recent Advances in Robot Kinematics. - Salzburg, Austria, 1998.
- 14) . Tsai L.W. Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. – Springer, 1999. - ISBN-10: 0471325937.
- 15) Davidson J.K., Hunt K.H. Robots and Screw Theory: Applications of Kinematics and Statics to Robotics. – Oxford: Oxford Univ Press, 2004.
- 16) Sommese A.J. The Numerical Solution of Systems of Polynomials: Arising in Engineering And Science. – Springer, 2005. - ISBN-10: 9812561846.
- 17) DelSignore M.J. A Screw-Theoretic Framework for Musculoskeletal System Modeling and Analysis: M.S. Thesis. – Buffalo: State University of New York at Buffalo, 2005.

- 18) Glazunov V. Twists of Movements of Parallel Mechanisms Inside Their Singularities //Mechanism and Machine Theory. - 2006. - Vol. 41, № 10. - P. 1185-1195.
- 19) Kong X., Gosselin Cl. Type Synthesis of Parallel Mechanisms //Springer Tracts in Advance-d Robotics. – Springer, 2008. - ISBN-10: 0849397022.
- 20) Gogu G. Structural Synthesis of Parallel Robots //Solid Mechanics and Its Applications. – Springer, 2008. - ISBN-10: 0313311900.
- 21) Глазунов В.А., Костерева С.Д., Данилин П.О., Ласточкин А.Б. Применение винтового исчисления в современной теории механизмов //Вестник научно-технического развития. – 2010. - №6 (84).
- 22) Tahmasebi F., Tsai L.W. Jacobian and stiffness analysis of a novel class of six-DOF parallel minimanipulators //ASME Des. Eng. Division. – 1992. - № 47. - P. 95-102.
- 23) Blanchet P., Lipkin H. New geometric properties for modeled planar vibration //Proceedings of DETC'97 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences. - Sacramento, California, 1997, September 14-17.
- 24) Kong X., Gosselin C. Type Synthesis of 3-DOF Translational Parallel Manipulators Based on Screw Theory //Journal of Mechanical Design. – 2004. - Vol. 126. - P. 82-126.
- 25) Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. - Kluwer, Dordrecht, 2004.
- 26) Ceccarelli M. Problems and Procedures for Kinematic Design of Manipulators //Keynote Lecture, Proceedings of Eight National Conference on the Design of Mechanisms and Machines. - Taiwan, 2005.
- 27) Ceccarelli M. A New 3 D.O.F. Parallel Spatial Mechanism //IFTOMM Journal Mechanism and Machine Theory. - 1997. - Vol.32, № 8. - P. 895-902.
- 28) Ottaviano E., Ceccarelli M. An Application of a 3-DOF Parallel Manipulator for Earthquake Simulations //IEEE Transactions on Mechatronics. – 2006. - Vol. 11, № 2. - P. 140-146.
- 29) Dasgupta B., Mruthyunjaya T.S. The Stewart platform manipulator: a review, Mechanism and Machine Theory. - 2000. – P. 15-40.
- 30) Merlet J.P. Parallel Robots. - Springer, Dordrecht, 2006.
- 31) Angeles J. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods and Algorithms (Second Ed.). - Springer, 2002. – P. 520 .
- 32) Шоланов К.С. Кибернетические машины. – Алматы, 2008. – Кн.1.
- 33) Шоланов К.С. Многоподвижные механизмы с замкнутыми кинематическими цепями. - Алматы: Гылым, 1999. – 149 с.
- 34) Шоланов К.С., Абжапаров К.А. Берілген платформалық типті манипулятордың тура және кері есебін шешу //Вестник КазНТУ. -2011. - № 3.
- 35) Шоланов К.С., Абжапаров К.А. Решение прямой задачи кинематики для манипулятора Sholkor путем декомпозиции //Вестник КазНТУ. - 2013. - № 2.

- 36) Шоланов К.С. Синтез схемы строения и решение задачи позиционирования параллельного манипулятора платформенного типа //Мехатроника, автоматизация и управление. - 2014. - № 11. – С. 44-50.
- 37) Пат. 3882. Манипулятор SHOLKORS платформенного робота /Шоланов К.С.; положительное решение от 7.02.2014.
- 38) Шоланов К.С., Абжапаров К.А. Исследование положения платформенного робота и определение конфигураций при разном размещении рабочих органов зависимости от геометрических размеров платформы. //Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана : международные сатпаевские чтения. – Т.4. – С. 474.
- 39) Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.-400 с.
- 40) Sholanov K.S. Manipulator of a Platform Type Robot Sholkor //Advanced Materials Research. - 2014. - Vol. 930. - P. 321-326.
- 41) Шоланов К.С., Абжапаров К.А., Исследование положения платформенного робота зависимости от геометрических размеров платформы //Международный форум «Инженерное образование и наука в XXI веке: проблемы и перспективы». - Алматы, 2014, октябрь-22-23. - 419 с.
- 42) Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов. – 2 – е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982.
- 43) Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод: учеб для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991.
- 44) Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник /под ред. А.А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – Ч.2. - 352 с.
- 45) Схиртладзе А.Г., Иванов В.И., Кареев В.Н. Гидравлические и пневматические системы. – издание 2–е, дополненное. - М.: ИЦ МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2003. – 544 с.
- 46) Денисов В.А. Особенности дроссельного регулирования гидроприводов //Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 49-52.
- 47) Моргунов Г.М., Хачатуров М.М., Заверский М.М. Сборник задач по курсу «Теория автоматического регулирования» /под ред. Г.В. Викторова. – М.: МЭИ, 1982. – 68 с.
- 48) Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 3. Исполнительные устройства и сервомеханизмы. /под ред. В.В. Солодовникова. - М.: Машиностроение, 1976. – 735 с.
- 49) Мелкозеров П.С. Приводы в системах автоматического управления (энергетический расчет и выбор параметров). - М.-Л.: Энергия, 1966. – 384 с.
- 50) Кишкевич П.Н., Жилевич М.И., Бартош П.Р. Статический и динамический расчет гидро- и пневмораспределителей: учебно-методическое пособие. - Минск: БНТУ, 2012. – 80 с.

51) Навроцкий, К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмо-приводов: учебник для студентов вузов по спец. «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.

52) Гамынин Н.С. Основы следящего гидравлического привода. – М.: Государственное научно – техническое издательство Оборонгиз, 1962. – 148 с.

53) Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро-пневмосистем: учеб. для машиностроительных вузов. - М.: Машиностроение, 1976.

54) Калекин А.А. Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие для вузов. – М.: Мир, 2005. – 512 с.

ҚОСЫМША А

Платформаның қозғалысын визуализациялау бағдарламасы

```
function Робот
% Вычисление положения платформы
% Построение зоны обслуживания

% Исходны данны
% dlina storoni ravnostoronnego treugolnika platformi (mm)
a=input('Vvedite dlina storon a=');
n = input('konstr. koefizient n=');
N=input('Vvedite chislo ciklov N=');
% max hod shtoka gidrocilindra
h4max = 340; h7max = 340; h8max = 340;
%
% bokovie rebra
l04 = n*a; l07 = n*a; l08=n*a;
% diagonalnie rebra
l03 = a*sqrt(1+n^2);
l05 = a*sqrt(1+n^2);
l06 = a*sqrt(1+n^2);
% formirovanie ishodnih znacheniy
ln4 = l04 + h4max/2;
ln7 = l07 + h7max/2;
ln8 = l08 + h8max/2;
ln5 = sqrt(a^2+ln4^2);
ln3 = sqrt(a^2+ln4^2);
ln6 = sqrt(a^2+ln4^2);
h5max = 2*(ln5-l05);
h3max = h5max;
h6max = h5max;

% koordinati podvijnoi platformi
%
xa2 = 0; ya2 = 0; za2 = ln5;
xb2 = a/2; yb2 = a*sqrt(3)/2; zb2 = ln8;
xc2 = 0; yc2 = 0; zc2 = ln7;
%
% koordinati nepodvijnih uzlov
xnc = 0; ync = 0; znc = 0;
xnb = a/2; ynb = a*sqrt(3)/2; znb = 0;
xna = a; yna = 0; zna = 0;
```

```

xd1 = a/2; yd1 = 0; zd1 = 0;
xf1 = a/4; yf1 = a*sqrt(3)/4; zf1 = 0;

```

```

% vvod prirashtnia choda
h3=input('Vvedite prirashenie storon h3= ');h4=input('Vvedite prirashenie storon
h4= ');
h5=input('Vvedite prirashenie storon h5= ');h6=input('Vvedite prirashenie storon
h6= ');
h7=input('Vvedite prirashenie storon h7= ');h8=input('Vvedite prirashenie storon
h8= ');

```

```

%rezervation
xc=zeros(N,1);yc=zeros(N,1);zc=zeros(N,1);
xb=zeros(N,1);yb=zeros(N,1);zb=zeros(N,1);
xa=zeros(N,1);ya=zeros(N,1);za=zeros(N,1);
alfa7=zeros(N,1);alfa8=zeros(N,1);alfa6=zeros(N,1);alfa3=zeros(N,1);
alfa5=zeros(N,1);
l4 = ln4; l7 = ln7; l8 = ln8;
l3 = ln3; l5 = ln5; l6 = ln6;
function [ug, H] = fug(a,b,c)
p = (a+b+c)/2;
H = (2/a)*sqrt(abs(p*(p-a)*(p-b)*(p-c)));
ug = asin(H/b);
end
%nachalo cikla
for k=1:N
% Vichislenie C2 i uglov otkloneniya

```

```

[alfa] = fug(a,l6,l7);
L6=l6*cos(alfa);

```

```

if (l6*cos(alfa) > a/2) && (alfa<pi/2)
r = a/2/cos(alfa);
f = a/2*tan(alfa);
[mu,H] = fug(l6,a,l3);
lk = H/tan(mu);
m = abs(r-lk);
s = abs(sqrt(m^2+H^2));
[c,H] = fug(a*sqrt(3)/2,f,s);
C=asin(H/f);
elseif (l6*cos(alfa) == a/2) && (alfa<pi/2)
f = abs(sqrt(l6^2-a^2/4));
s = l3;

```

```

[c1,H] = fug(a*sqrt(3)/2,f,s);
C=asin(H/f);
elseif alfa==pi/2
    f=l6/2;
    r=l7/2;
    s=abs(sqrt(a^2/2+l3^2+l7^2/2));
    [c2,H]=fug(a*abs(sqrt(3))/2,f,s);
    C=asin(H/f);
elseif alfa>pi/2
    C1G1 = abs(l6*cos(alfa));
    v = a*l7/2/(a+C1G1);
    f = abs(sqrt(v^2-a^2/4));
    [ksi,H] = fug(l7,a,l3);
    lk = H*cot(ksi);
    s = abs(sqrt(H^2+(v-lk)^2));
    [c3,H] = fug(a*sqrt(3)/2,f,s);
    C=asin(H/f);
end

```

```

teta6 = acot(tan(alfa)*cos(C));
%Po ctpi C1-B1-C2

```

```

[alfa1] = fug(a,l3,l6); a31=alfa1;
g = l3*cos(alfa1);
if (alfa1 < pi/2) && (g < a)
    r = (a/2)/cos(alfa1);
    f = abs(sqrt(r^2-a^2/4));
    [ksi,H] = fug(l3,a,l7);
    v = abs(sqrt(a^2-H^2));
    s = abs(sqrt(H^2+(r-v)^2));
    [B,H] = fug(a*sqrt(3)/2,f,s);
end
if (alfa1 < pi/2) && (g == a/2)
    f = abs(sqrt(l6^2 - a^2/4));
    [B] = fug(a*sqrt(3)/2,f,l6);
end
if (alfa1 == pi/2)
    r = l6/2;
    f = 1/2*abs(sqrt(l6^2-a^2));
    [c,H] = fug(l6,a,l3);
    m = abs(sqrt(a^2-H^2));
    l = abs(r-m);
    s = abs(sqrt(l^2+H^2));
    [B] = fug(a*sqrt(3)/2,s,f);
end

```

```

end
if alfa1 > pi/2
    r = a*l6/2/(a+abs(l3*cos(alfa1)));
    f = sqrt(abs(r^2-a^2/4));
    [c,H] = fug(l6,a,l7);
    v = abs(sqrt(a^2-H^2));
    s = abs(sqrt(H^2+(r-v)^2));
    [B] = fug(a*sqrt(3)/2,s,f);
end

teta3 = acot(-tan(alfa1)*cos(B));
%%Preobrasovanie gj cepi C1-A1-C2
[alfa2] = fug(a,l7,l6);
A = C;

teta7 = acot(-tan(alfa2)*cos(A));

%% Koordinati C2
AA = l6*sin(teta6);
BB = l6*cos(teta6);
CC = l6;
DD = (sin(teta3) + abs(sqrt(3))*cos(teta3))*l3;
EE = (cos(teta3) - (abs(sqrt(3)))*sin(teta3))*l3;
FF = sin(teta7)*l7;
GG = cos(teta7)*l7;
X=a - FF*BB*a/(FF*BB-GG*AA);
xc(k) = X;
Y=-GG*BB*a/(FF*BB-GG*AA);
yc(k)=Y;
A7=asin(BB*a/(FF*BB-GG*AA));
alfa7(k)=A7;
A6 = asin(xc(k)/AA);
alfa6(k) = A6;
Z= l7*cos(alfa7(k));
zc(k) = Z;
alfa3(k) = acos(zc(k)/l3);
l3=l3+h3; l7=l7+h7; l6=l6+h6;

%% Vichislenie dlya uzla B2 po zvenu 5
[alfa9] = fug(a,l5,l8);
[fi] = fug(l5,l6,a);
C2 = acos((-cos(alfa9)*cos(mu)+cos(fi))/(sin(alfa9)*sin(mu)));
C1 = B + C2;
teta5 = acot(-tan(alfa9)*cos(C1))-pi/3;

```

```
%po cepi c1-B1-B2
```

```
[alfa10] = fug(a,l8,l5);
```

```
teta8 = atan(1/tan(alfa10)*cos(C1));
```

```
%% Koordinati B2
```

```
AA1 = sin(teta5)*l5;
```

```
BB1 = cos(teta5)*l5;
```

```
CC1 = (sin(teta8) + sqrt(3)*cos(teta8))*l8;
```

```
DD1 = (cos(teta8) - sqrt(3)*sin(teta8))*l8;
```

```
KK = BB1/AA1;
```

```
PP=xc(k)+yc(k)*KK;
```

```
YY=(a*(AA1*abs(sqrt(3))-BB1)/((AA1*DD1+BB1*CC1)*l8));
```

```
alfa8(k) = asin(YY);
```

```
U=(zc(k)-l8*cos(alfa8(k)))^2-a^2;
```

```
U1 = U+xc(k)^2+yc(k)^2;
```

```
zb(k) = l8*cos(alfa8(k));
```

```
D=PP^2-U1*(1+KK^2);
```

```
xb(k) = (PP+abs(sqrt(PP^2-U1*(1+KK^2))))/(1+KK^2);
```

```
yb(k) = BB1*xb(k)/AA1;
```

```
l5=l5+h5;l8=l8+h8;
```

```
%% Koordinati A2
```

```
eps = l5^2-a^2+l4^2;
```

```
eta = l6^2-a^2+l4^2;
```

```
AA2 = yc(k)^2+xc(k)^2;
```

```
BB2 = yb(k)^2+xb(k)^2;
```

```
CC2 = yc(k)*yb(k) + xc(k)*xb(k);
```

```
DD2 = (yc(k)*xb(k) - xc(k)*yb(k))^2;
```

```
al = AA2*zb(k)^2 + BB2*zc(k)^2-2*CC2*zb(k)*zc(k)+DD2;
```

```
be = eta*CC2*zb(k)+eps*CC2*zc(k)- eps*AA2*zb(k)-eta*BB2*zc(k);
```

```
ga = AA2*eps^2/4+BB2*eta^2/4-CC2*eps*eta/2-(xb(k)*yc(k)-  
xc(k)*yb(k))^2*l4^2;
```

```
D=be^2-4*al*ga;
```

```
za(k)=(-be+abs(sqrt(be^2-4*al*ga)))/(2*al);
```

```
xa(k)=((eps*yc(k)-eta*yb(k))/2+(zc(k)*yb(k)-zb(k)*yc(k))*za(k))/(xb(k)*yc(k)-  
xc(k)*yb(k));
```

```
ya(k)=((eta*xb(k)-eps*xc(k))/2+(-  
zc(k)*xb(k)+zb(k)*xc(k))*za(k))/(xb(k)*yc(k)-xc(k)*yb(k));
```

```
l4 = l4 + h4;
```

```
end
```

```
A=[xa(1),xb(1),xc(1),xa(1)];  
B=[ya(1),yb(1),yc(1),ya(1)];  
C=[za(1),zb(1),zc(1),za(1)];
```

```
A1=[xa(2),xb(2),xc(2),xa(2)];  
B1=[ya(2),yb(2),yc(2),ya(2)];  
C1=[za(2),zb(2),zc(2),za(2)];
```

```
A2=[xa(3),xb(3),xc(3),xa(3)];  
B2=[ya(3),yb(3),yc(3),ya(3)];  
C2=[za(3),zb(3),zc(3),za(3)];
```

```
A3=[xa(4),xb(4),xc(4),xa(4)];  
B3=[ya(4),yb(4),yc(4),ya(4)];  
C3=[za(4),zb(4),zc(4),za(4)];
```

```
A4=[xa(5),xb(5),xc(5),xa(5)];  
B4=[ya(5),yb(5),yc(5),ya(5)];  
C4=[za(5),zb(5),zc(5),za(5)];
```

```
fill3(A,B,C,[0 0 1],A1,B1,C1,[1 0 0],A2,B2,C2,[0 0 1],A3,B3,C3,[1 0  
0],A4,B4,C4,[0 0 1]);
```

```
grid on
```

```
end
```