

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

ӘОЖ 621.8.026

Қолжазба құқығында

МУСТАФА АЗАМАТ ҚОЙШЫҚҰЛҰЛЫ

РобоМех класты параллельді манипуляторларды зерттеу

6D071200 – Машина жасау

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесші техника
ғылымдарының докторы,
профессор, ҚР ҰҒА академигі
Байгунчеков Ж.Ж.
(Қазақстан Республикасы)

Шетелдік ғылыми кеңесші
Электр және есептеу техникасы
профессоры, Ph.D., P.E.,
Tarek M. Sobh (АҚШ, Лоуренс
технологиялық университеті)

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2022

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	3
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	4
КІРІСПЕ	5
1 ПАРАЛЛЕЛЬ МАНИПУЛЯТОРЛАРДЫҢ (ПМ) АНАЛИЗІ ЖӘНЕ СИНТЕЗІ САЛАСЫНДАҒЫ ЗЕРТТЕУЛЕРГЕ ШОЛУ ЖӘНЕ ТҰЖЫРЫМДАМА	8
1.1 Параллель манипуляторлардың құрылымдық синтезі.....	8
1.2 Параллель манипуляторлардың параметрлік синтезі.....	18
1.3 Патенттік ақпаратты талдау және параллельді манипуляторлардың перспективалық түрлерін анықтау.....	21
1.4 Тапсырманы қою.....	22
Бірінші тарау бойынша қорытындылар.....	22
2 ЦИЛИНДРЛІК КООРДИНАТА ЖҮЙЕСİNДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ПМ (ПМ1) ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ПАРАМЕТРЛІК СИНТЕЗІ (ҚПС) ЖӘНЕ КИНЕМАТИКАЛЫҚ АНАЛИЗІ	24
2.1 ПМ1 құрылымдық синтезі.....	24
2.2 ПМ1 параметрлік синтезі.....	26
2.3 ПМ1 кинематикалық анализі.....	29
2.4 ПМ1 сандық нәтижелері және 3D модельдеу	35
2.5 Беріктікке есептеу.....	43
2.6 Қолдану перспективалары.....	46
Екінші тарау бойынша қорытынды.....	50
3 ҚОССЫРҒАҚТЫ ПМ ҚПС ЖӘНЕ КИНЕМАТИКАЛЫҚ АНАЛИЗІ (ПМ2)	52
3.1 ПМ2 құрылымдық синтезі.....	52
3.2 ПМ2 параметрлік синтезі.....	53
3.3 ПМ2 кинематикалық анализі.....	56
3.4 ПМ2 сандық нәтижелері және 3D модельдеу	62
3.5 Қолдану перспективалары.....	67
3-тарау бойынша қорытынды.....	67
ҚОРЫТЫНДЫ	68
ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	70
ҚОСЫМША А Жарияланған жұмыстар тізімі сілтемелері мен патенттер көшірмесі.....	76
ҚОСЫМША Ә Матлаб бағдарламасындағы есептеу бағдарламасы (Цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар ПМ-дің ҚПС)	79
ҚОСЫМША Б Матлаб бағдарламасындағы есептеу бағдарламасы (Қоссырғақты ПМ-дің ҚПС)	89
ҚОСЫМША В Үш еркіндік дәрежесі бар цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ-ды беріктікке есептегендегі Solid Works бағдарламасындағы есептеуі.....	93

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Осы диссертацияда келесі стандарттарға сілтемелер пайдаланылды:

МЕСТ 6.38–90 – Құжаттаманың сәйкестендірілген жүйелері. Ұйымдастырушылық–жарлықтық құжаттама жүйесі. Құжаттарды ресімдеуге қойылатын талаптар

МЕМСТ 7.32-2001. Ғылыми-зерттеу жұмысы туралы есеп. Рәсімдеу құрылымы мен ережелері.

МЕСТ 7.1-2003. Библиографиялық жазба. Библиографиялық сипаттама. Құрастырудың жалпы талаптары мен ережелері.

МЕСТ 8.417–81 – Мемлекеттік өлшемдер біртұтастығын қамтамасыз ету жүйесі. Физикалық шамалардың бірліктері

ҚР СТ МЕСТ 15.011–2005 – Патенттік зерттеулер

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі қысқартулар қолданылған:

ПМ – параллель манипулятор;

ҚПС – құрылымдық параметрлік синтез;

ТКТ - тұйықтаушы кинематикалық тізбек;

В - айналмалы кинематикалық жұп.

КІРІСПЕ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы және тақырыптың өзектілігі. Машиналардың сенімділігі мен ұзақ мерзімділігінің артуы әдетте жаңа сапалы материалдарға көшумен, бөлшектерді өңдеу технологиясын жетілдірумен, тозуды азайтуға көмектесетін әртүрлі құралдарды қолданумен байланысты. Дегенмен, жаңа машинаның және манипуляциялық құрылғының негізгі қасиеттері оларда жобалаудың ең бірінші кезеңінде, тек қана конструктивтік схемасы мен жетек буындарының геометриялық параметрлері таңдалған кезде салынады. Сондықтан зиянды құбылыстардың салдарымен емес, оның түпкі себептерімен күресу мақсатқа сай. Жетек буындарының құрылымы мен геометриялық параметрлерін ұтымды таңдау арқылы үлкен шамадан тыс жүктемелерді осы шамадан тыс жүктемелерге төтеп бере алатын ерекше күшті материалдарды таңдағаннан гөрі шамадан тыс жүктемелерді жою жақсы.

Жетектердің құрылымдық және кинематикалық (параметрлік) синтезі жаңа машиналар мен манипуляторларды жобалауда маңызды болып табылады, өйткені ол құрылатын машинаның өнімділігін, сенімділігін және ұзақ мерзімділігін анықтайтын жетек звеноларының құрылымы мен геометриялық параметрлерін ұтымды анықтау болып табылады. Жетек буындарының құрылымы мен геометриялық параметрлерін ұтымды таңдау жасалған машинаның немесе манипуляциялық құрылғының сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар өлшемі мен салмағын айтарлықтай азайтады. Барлық қолданыстағы CAD/CAE автоматтандырылған жобалау жүйелерінде жобаланған машинаның атқарушы механизмдерінің буындарының құрылымы мен геометриялық параметрлерін анықтайтын ішкі жүйелері жоқ.

Бұл диссертациялық жұмыста RoboMech класының екі параллельді манипуляторы (ПМ) әзірленуде: цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар ПМ (ПМ1) және қоссырғақты ПМ (ПМ2). RoboMech класты параллель манипуляторлар (ПМ) деп манипуляциялық **роботтың жұмыс органдарының** (қармауыштары) берілген қозғалыс заңдарын орындай алу қасиеттеріне ие және **механизмдердің жетектерінің** (кіріс буындары) қозғалыс заңдарын орындай алу сияқты қасиеттеріне ие манипуляторларды айтады. RoboMech класының РМ жетектерінің қозғалыс заңдылықтарын орнату біркелкі және біркелкі болып табылады және оларды дәстүрлі сериялық және РМ сияқты кинематиканың кері есебін шешу арқылы анықтау емес, онда жетектер қарқынды жеделдету мен баяулаудың өтпелі режимдерінде жұмыс істей алады, оны жеңілдетеді. басқару жүйесі, динамикалық сипаттамаларды жақсартады, өнімділікті арттырады және RoboMech РМ класының құнын төмендетеді. RoboMech класты ПМ жетектерінің қозғалыс заңдарын беру монотонды және біркелкі; сондықтан дәстүрлі сериялық және параллель манипуляторлардағыдай жетектері қарқынды үдеу мен тежеудің ауыспалы режимінде жұмыс істемейді және кері кинематикалық есептерді шешу арқылы анықталмайды; басқару жүйесін

жеңілдетеді, динамикалық сипаттамаларын жақсартады, өнімділігін арттырады және RoboMech класты ПМ өзіндік құнын төмендетеді.

Жұмыстың мақсаты: RoboMech класты параллель манипуляторды ALATAU ЖШС “DOC Co.LTD” пресс форма шығарумен айналысатын заводтағы салмағы 50-100 кг болатын дайындаманы цилиндрлік координаталар жүйесі бойынша HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің жұмыс аймағына беру және алу үшін зерттеп жобалау.

Қосырғақты ПМ штамптау жұмыстарында дайындаманы беру механизмі ретінде пайдалану үшін зерттеп жобалау.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі тапсырмаларды шешу керек :

- 1) ПМ-лардың құрылымдық синтезі;
- 2) ПМ-лардың параметрлік синтезі;
- 3) ПМ-лардың кинематикалық анализі;
- 4) ПМ-ларды беріктікке есептеу.

Зерттеу объектісі. Зерттеу объектілері цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар және қосырғақты RoboMech класты ПМ.

Ғылыми жаңалығы:

- цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар және қосырғақты ПМ-дың құрылымдық параметрлік синтезі әдістерін әзірледі;

- цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар және қосырғақты ПМ-дың кинематикасының тура және кері есептері шығарылды. Осы екі ПМ-дың 3D CAD моделдері жасалды.

Бұл диссертацияда механизмдер мен манипуляторлардың құрылымдық-параметрлік синтезінің әдістері әзірленген, соған сәйкес шығыс және кіріс буындарының қозғалыс заңдылықтары бойынша бір мезгілде механизмдердің құрылымдары мен геометриялық параметрлері анықталады. Бұл жағдайда механизмнің құрылымдық-параметрлік синтезі ең аз буындар мен кинематикалық жұптары бар қарапайым кинематикалық тізбектерден басталады. Егер буындар мен кинематикалық жұптардың санын, сондай-ақ олардың түрлерін ұлғайту арқылы қажетті дәлдік шегінде шығыс буынының көрсетілген позицияларын қамтамасыз ету мүмкін болмаса, синтезделген механизмнің құрылымы күрделенеді. Осылайша, буындардың оңтайлы құрылымы мен геометриялық параметрлері анықталады.

Тәжірибелік құндылығы және жұмыс нәтижелерін жүзеге асыру. Диссертацияның практикалық маңыздылығы - RoboMech класты ПМ сериялық манипуляторлармен салыстырғанда үлкен жүккөтергіштікке, жоғары дәлдікке және қарапайым басқару жүйесіне ие, бұл олардың негізінде қарапайым, сенімді және арзан автоматтандыру технологияларын жасауға мүмкіндік береді. Сондықтан оларды шағын машина жасау кәсіпорындарында қолдануға болады.

Ғылыми ережелердің, тұжырымдар мен нәтижелердің негізділігі мен дұрыстығы: диссертацияның нәтижелері салыстыру, сандық өлшемдер және 3D модельдеу арқылы тексеріледі, барлық нәтижелер суреттер, кестелер мен графиктер түрінде ұсынылған. Әрбір есептің нәтижелерін Қосымшаларда көрсетілген Matlab бағдарламаларының нәтижелерінен көруге болады.

Жұмыстың сенімділігі Web of Science және Scopus дерекқорларында MDPI Robotics, MDPI Applied Sciences және Eastern-European Journal of Enterprise Technologies индекстелген журналдарында жарияланған мақалалармен және екі патентпен расталады.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс нәтижесінде Scopus және Web of Science деректер қорларында индекстелетін журналдарда 4 мақала жарияланды, 2 патент алынды.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі 109 бет, 32 сурет және 8 кесте, 90 пайдаланылған дереккөзден тұрады.

1 ПАРАЛЛЕЛЬ МАНИПУЛЯТОРЛАРДЫҢ (ПМ) АНАЛИЗИ ЖӘНЕ СИНТЕЗИ САЛАСЫНДАҒЫ ЗЕРТТЕУЛЕРГЕ ШОЛУ ЖӘНЕ ТҰЖЫРЫМДАМА

1.1 Параллель манипуляторлардың (ПМ) құрылымдық синтезі

Манипуляторлардың үш құрылымы. Бұл тарауда роботты қолдардың үш негізгі құрылымы қарастырылған. Бұл құрылымдар манипулятордың шығыс буынын базалық буынға қосатын кинематикалық тізбектердің түрімен сипатталады. Роботтардың үш негізгі құрылымы: а) тізбекті (сериялық) құрылым б) параллель құрылым б) гибридік құрылым.

Сериялық құрылым роботтық манипуляторларға арналған классикалық антропоморфтық архитектура болып табылады. Бұл архитектурада шығыс нүктесі тірекпен кері байланыссыз бір кинематикалық тізбек арқылы қосылады. Кинематикалық тізбек қатаң буындар тобынан тұрады, мұндағы әрбір іргелес буындар бір-бірімен белсенді кинематикалық жұппен (басқарылатын байланыс) байланысады.

Сериялық манипуляторлардың үлкен жұмыс аймағы және жоғары ептілігі бар, дегенмен олардың бірқатар кемшіліктері де бар. Бұл кемшіліктерге төмен дәлдік, аз жүк көтеруі және пайдалы жүктің массаға қатынасының төмендігі, базада орналаспаған қозғалтқыштар, қозғалатын бөлшектердің көптігі жоғары инерцияға әкеледі. Бұл роботтардың төмен дәлдігі буындардың жинақталған қателеріне және звенолардың майысуына байланысты. Көтеру қабілетінің төмендігі әрбір жетектің келесі буындардың салмағын көтеріп тұруымен байланысты. Жоғары инерция тізбектей жалғанған қозғалатын бөліктердің ауыр салмағына байланысты, осылайша жоғары инерцияға ие ұзын сырықтарды құрайды.

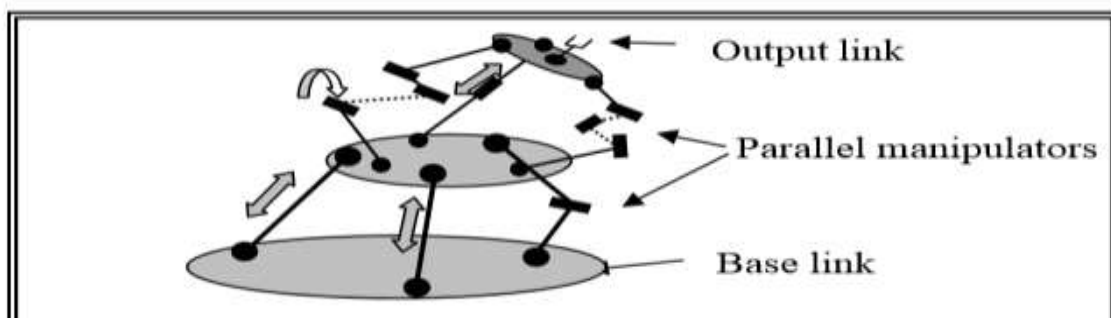
Тізбекті манипуляторлардың тағы бір кемшілігі кері кинематика есебін шешу болып табылады. Кері кинематика есебі шығыс буынның қажетті орны мен бағытына сәйкес келетін белсенді қосылыстардың қажетті мәндерін табу ретінде анықталады. Кері кинематикалық есепті шешу негізгі басқару алгоритмі болып табылады; сондықтан кері кинематикалық есептің бірнеше шешімдерінің болуы басқару алгоритмін қиындатады. Тізбекті манипуляторлардың тура кинематика мәселесі қарапайым және бірімәнді шешімге ие. Дегенмен, бұл шешім басқару мақсатында қажет емес. Тура кинематика мәселесі белсенді қосылым мәндерінің берілген жиыны үшін шығыс буынының орны мен бағытын есептеу ретінде анықталады. Төмен дәлдік пен пайдалы жүктің салмаққа қатынасының төмендігі қымбат сериялық роботтарда өте дәл механизмдер мен қуатты қозғалтқыштарды пайдалануына алып келеді. Жоғары инерция секілді кемшіліктің болуы сериялық роботтарды ұшуды модельдеу және өте жылдам таңдау және орналастыру тапсырмалары сияқты жоғары жеделдету мен маневрлікті қажет ететін қолданбалар үшін пайдалануға кедергі болуда.

Параллель құрылым. Робот-манипуляторлар үшін бұл антропоморфты емес құрылым, ғасырлар бойы белгілі болса да, негізінен соңғы екі онжылдықта

жасалуда [1-5]. Бұл құрылым шығыс буынын кіріс буынымен тірекке бірнеше кинематикалық тізбектердің қосылуынан тұрады. Шығыс буынының қозғалысына кинематикалық тізбектердің аяқтарын бір уақытта іске қосу арқылы қол жеткізіледі. Сол сияқты, шығыс арнасы арқылы тасымалданатын жүктемені әртүрлі кинематикалық тізбектер қолдайды; сондықтан бұл құрылым параллель құрылым деп аталады. Сериялық ашық тізбекті манипулятордан айырмашылығы, параллель құрылым тек жабық кинематикалық тізбектерден тұрады және әр кинематикалық тізбекте белсенді және пассивті кинематикалық жұп болады. Параллель манипуляторлардың бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Параллель манипуляторлардың кемшіліктері-шектеулі жұмыс аймағы, төмен ептілік, тікелей кинематика үшін күрделі шешім. Алайда, параллель құрылым жоғары қатаңдық пен жүктеменің салмаққа қатынасын, жоғары дәлдікті, қозғалмалы бөліктердің төмен инерциясын, жоғары жүк көтергіштік және кинематиканың кері мәселесін қарапайым шешуді қамтамасыз етеді. Жүктеменің бірнеше кинематикалық тізбектер арасында таралуы жүктеме мен салмақтың жоғары қатынасына әкеледі.

Параллель роботтардың артықшылықтары мен кемшіліктеріне сүйене отырып, мұндай роботтар үшін ең қолайлы іске асыру шектеулі жұмыс кеңістігіне, жоғары дәлдікке, сондай-ақ жеңіл және ықшам роботқа қойылатын талаптарды қамтиды деп қорытынды жасауға болады. Бұл кемшіліктер мен артықшылықтарды пайдалана отырып параллель манипуляторды көптеген жерде пайдалануға болады.

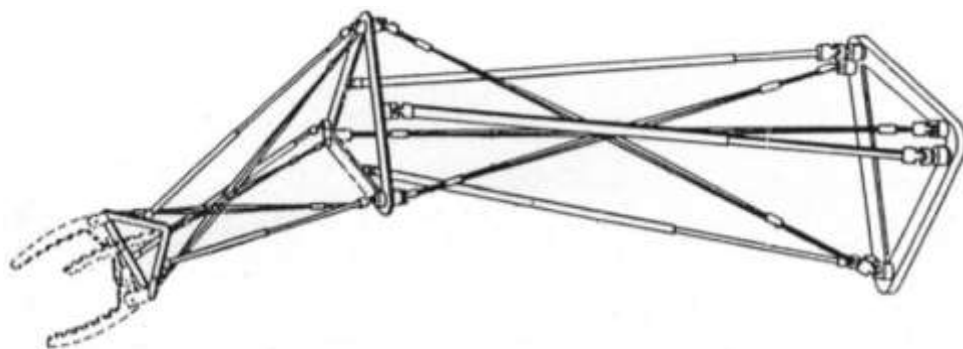
Гибридті құрылым. Механизмдегі ашық және жабық кинематикалық тізбектердің бірігуі нәтижесінде гибридті құрылым деп аталатын үшінші құрылым пайда болады. Бұл құрылым тізбекті және параллельді механизмдердің артықшылықтары мен кемшіліктерін біріктіреді. 1 - суретте тізбектей қосылған екі параллель манипулятордан құрастырылған гибридті манипулятордың мысалын көрсетеді.



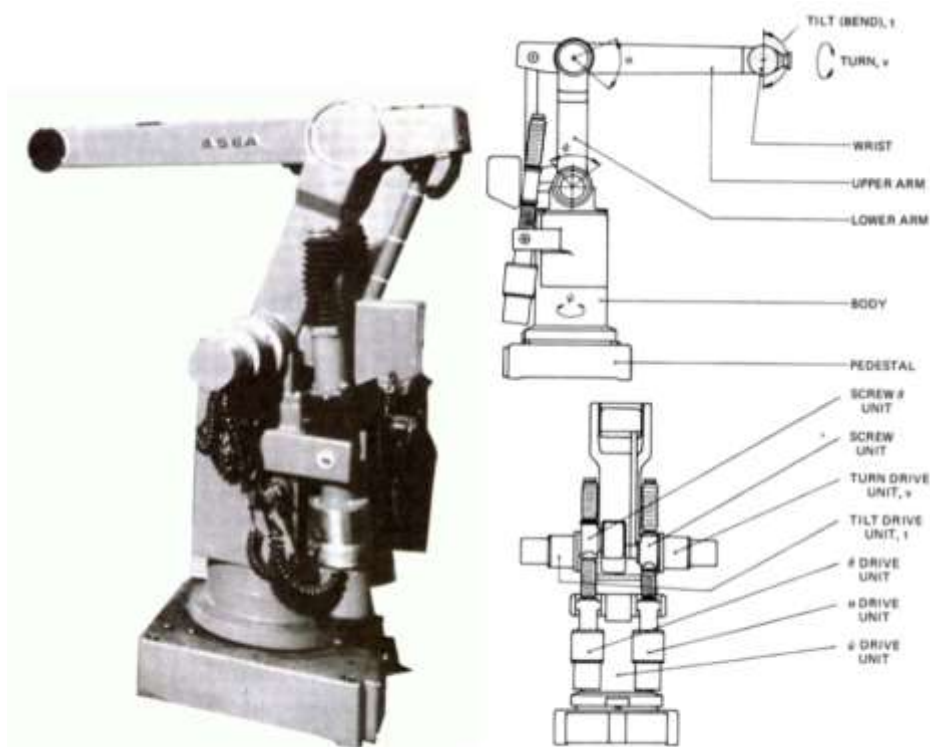
Сурет 1 – Гибридті манипуляторлардың құрылымы

2 - суретте алты еркіндік дәрежесі бар гибридті манипуляторды көрсетілген [6]. Параллельді манипуляторлар тізбектей жалғанған. Манипулятор алты созылатын буын арқылы басқарылады. 3-суретте ашық және жабық кинематикалық тізбектерді пайдаланатын 5 еркіндік дәрежесі бар ASEA

өнеркәсіптік роботы көрсетілген. Негізгі тұйық кинематикалық тізбек - бұл екі полюсті бес сырықты звено, ол білек ортасын жерге қатысты тік жазықтықта жылжытады. Білектің еңкею және бұрылу қозғалыстары базада орналасқан қозғалтқыштардан білекке екі параллель параллелограммдық байланыстар арқылы беріледі. Осы қосылымдарды пайдалану осы роботты құрастырушыларға қозғалтқыштардың базада орналастыруға мүмкіндік берді.



Сурет 2 – сурет Алты еркіндік дәрежесі бар гибриді манипулятор Shahinpoor, 1992



Сурет 3 – сурет Гибриді өнеркәсіптік робот 5 DOF ASEA

1-кестеде сериялық және параллель манипуляторлардың салыстырмалы сипаттамалары көрсетілген.

Кесте 1 – Сериялық және параллель манипуляторларды салыстыру

Қасиеттері	Сериялық манипулятор	Параллель манипулятор
Пайдаланылған тізбектің түрі	<i>Ашық кинематикалық тізбек</i>	<i>Тұйық кинематикалық тізбек</i>
Тікелей кинематикалық есеп	<i>Қарапайым</i>	<i>Қиын</i>
Кері кинематикалық есеп	<i>Бірнеше шешімі бар</i>	<i>Қарапайым және екі жақты шешім</i>
Позициялау дәлдігі	<i>Төмен</i>	<i>Орташа</i>
Жүккөтергіштігі	<i>Төмен</i>	<i>Жоғары</i>
Жұмыс зонасы	<i>Үлкен</i>	<i>Орташа</i>
Инерциялық жүктеме	<i>Жоғары</i>	<i>Төмен</i>

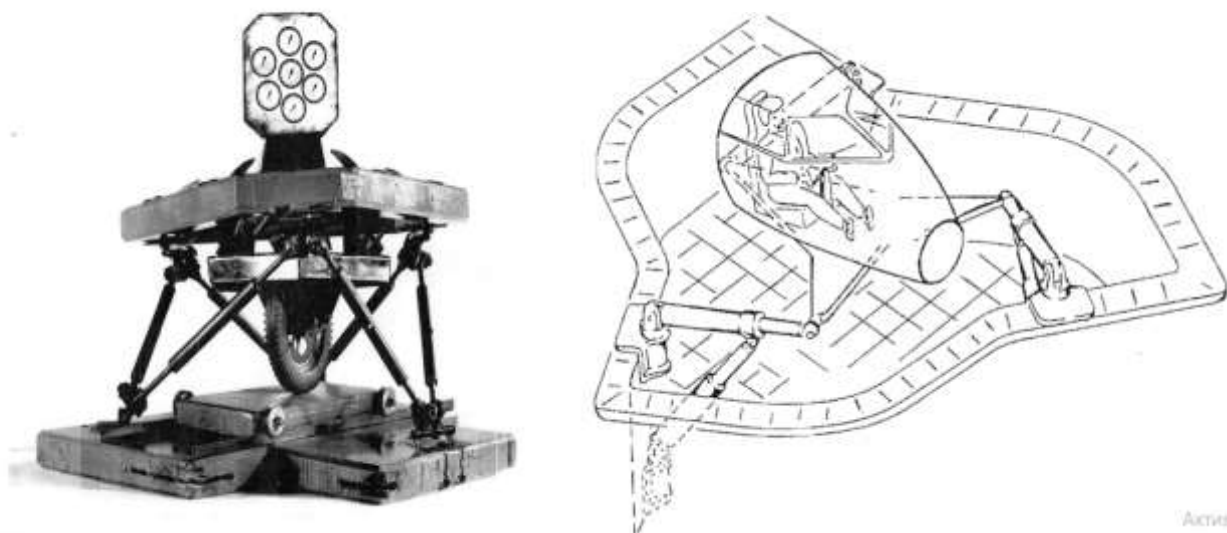
Өткен ғасырдың 60-80-ші жылдары параллель құрылымның манипуляторлары робототехника мен станоктарда қарқынды қолданыла бастады. Компьютерлік техниканың үлкен мүмкіндіктері мен жоғары дәлдіктегі сызықтық жетектердің пайда болуымен ПҚМ-ға деген қызығушылықтың екінші толқыны байқалады. ПҚМ зерттеуге Д. Стюарт, в. Гауф, а. ш. Колискор, В. А. Глазунов, а. ф. Крайнев, М. З. Коловский, у. ч. Гохман, А. А. Кобринский, А. и. Корендяев, Л. А. Рыбак, б. л. Саламандра, Х. Kong, С. Gosselin, J. Angeles, С. Сессарелли және т. б. үлкен үлес қосты.

Кеңістіктік І-координаталық механизмдер ұзақ уақыттан бері белгілі, алайда техникада аз қолданылатындықтан, геометриялық және кинематикалық синтез саласындағы зерттеулер, параллель құрылым механизмдерін басқару жүйелерінің синтезі ХХ ғасырдың аяғы мен ХХІ ғасырдың басында қарқынды басталды. Құрылымдық талдау және параллель кинематикалық механизмдердің синтезі теориясының негізін салушылар симулятор стендін жасаған Г.Стюарт [7] және доңғалақ шиналарын сынау машинасын жасаған Гауф болып табылады. Параллель құрылымды манипуляторлар робототехникада, сынақ стендтерінде, тренажерларда, манипуляциялық жүйелерде, өлшеу құралдарында қолданылады [8]. 1 - кестеде сериялық манипуляторлар мен параллель құрылымды манипуляторлардың параметрлерінің сапалы салыстыруы келтірілген.

Параллель механизмдер 1928 жылы Джеймс Э.Гвиннетт іс жүзінде сфералық параллель механизмді қолданатын ойын-сауық платформасын жасаған кезде пайда болуы мүмкін еді [9, 10].

Содан кейін ол 1931 жылы параллель механизмге алғашқы патент алды. Үш жылдан кейін, 1934 жылы Поллард кіші екі сәулелі параллель механизмге негізделген бүріккіш бояу машинасына патентке өтінім берді. 1947 жылы Гог шиналарды сынау үшін қолданылатын әйгілі алтыбұрышты бастиегі бар сегіз бұрышты параллель механизмді ойлап тапты және платформа 1954 жылы суретте көрсетілгендей жұмыс істей бастады. 4 (а) және 2000 жылға дейін қолданылды. Клаус Каппельдің алғашқы рейсін салғаны анықталды. 1960

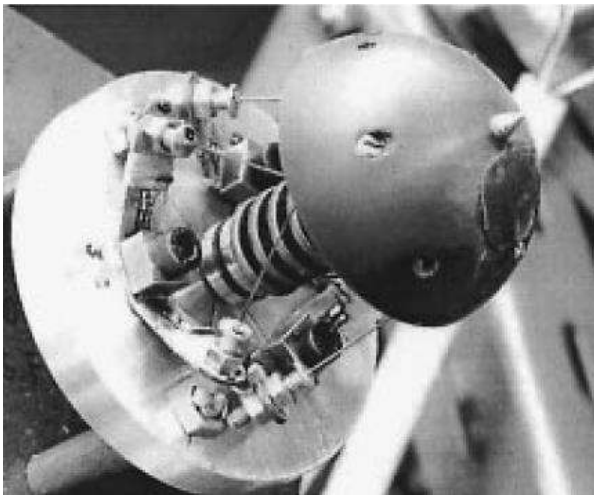
жылдардың басында параллель механизмнің октаэдрлік орналасуы бар симулятор [11]. Осыдан кейін параллель механизмдер туралы ең танымал мақаланы 1965 жылы Стюарт жариялады [8, 385 бет], ол 4 (б)-суретте көрсетілгендей ұшуды модельдеу үшін параллель механизмді қолдануды ұсынды. Гоф гексаподының табысты өнеркәсіптік қолданылуы және Стюарттың мақаласының үлкен академиялық әсері параллель механизмдерді бейнелеу үшін "Стюарт-Гоф платформасын" қолдануға әкелді.



(a) Гофтың шиналар сынайтын құрылғысы (b) Стюарттың ұшуды модельдеу тұжырымдамасы

Сурет 4 – Стюарт-Гоф платформалары

Содан бері соңғы онжылдықтарда параллельді механизмдер кеңінен зерттеле бастады. Жалпы Стюарт-Гоф платформасы алты еркіндік дәрежесіне ие және әртүрлі нұсқаларға әкеледі. Бастапқы кезде олардың қатаңдығына, жұмыс кеңістігіне, кинематикасына [12] және динамикасына өндірісте қолдануға қызығушылық танытылды, атап айтқанда 5 (a) - суретте көрсетілгендей күш өлшеу үшін, 5 (b) - суретте көрсетілгендей оңалту және роботты хирургияда. Кейінірек қарапайым түзу сызықты талдаудың, механикалық құрастырудың, үлкен жұмыс кеңістігінің, қарапайым сингулярлық пен басқарудың және салаларда кеңірек қолданудың артықшылығына байланысты, алты еркіндік дәрежесінен аз параллель механизмдер үлкен қызығушылық тудырды [13,14].



(a) Күш сенсоры



(b) Робототехника

Сурет 5 - еркіндік дәрежесі бар параллельді механизмді қолданылуы.

Еркіндік дәрежесі алтыдан аз жиі қолданылатын параллельді механизмдердің бірі - өте қарапайым аяқ-қол құрылымы бар үш трансляциялық еркіндік дәрежесі бар дельта механизмі. Ол 1980 жылдардың басында әзірленді [15,16] және ABB және (6 - суретте) FANUC сияқты кейбір ірі робот компанияларымен коммерцияланды.



(a) Робот ABB IRB 360



(b) Дельта-робот FANUC

Сурет 6 – Delta коммерциялық роботтары

Диссертациялық жұмыста үш еркіндік дәрежесі бар цилиндрлік координата жүйесінде жұмыс істейтін параллель манипуляторды қарастырып отырғандықтан біз цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс жасайтын

сериялық манипуляторды да қарастырып кетпекпіз.

Механикалық өңдеудің роботты технологиялық кешендеріндегі (РТК) өндірістік роботтар. Конструкциясы бойынша өнеркәсіптік роботтар порталда орнатылған аспалы; шеберхананың еденіне орнатылған едендік; тікелей қызмет көрсететін жабдыққа орнатылатын (мысалы, білдекте) кіріктірілген болып бөлінеді. Металл кесетін станоктарға қызмет көрсету үшін қолданылатын аспалы роботтар, әдетте, тікбұрышты координаттар жүйесінде жұмыс істейді, яғни екі негізгі қозғалысы бар - порталдың осі (осьтері) бойымен (каретканың қозғалысы) және порталдың осіне перпендикуляр бағытта (қолды тігінен немесе вертикальға бұрышпен ұзарту); цилиндрлік полярлық координаталар жүйесінде, яғни, үш негізгі қозғалысқа ие болу - порталдың тік осі бойымен, қолды көлденең оське айналдыру (қолды сермеу) және қолды ұзарту; цилиндрлік координаттар жүйесінде, яғни, үш негізгі қозғалысы бар - порталдың осі бойынша және буынды қолдың әрбір буынының тербелісі. Аспалы өнеркәсіптік роботтар әртүрлі дизайнда болады. Координаталар жүйесін анықтайтын негізгі қозғалыстардан басқа, аспалы робот келесі бағдарлау қозғалыстарын орындай алады: білекті қармауышпен бірге қолдың осімен айналдыру; білекті қолдың перпендикуляр (бір немесе екі) осімен айналдыру.

Станоктарға қызмет көрсету үшін қолданылатын едендік роботтар әдетте цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейді, яғни, үш негізгі қимыл – қолды көтеру, қолды тік осьпен айналдыру және көлденең жазықтықта қолды радиалды ұзарту. Олар аспалы роботтарға тән қозғалыстарды орындайды және қосымша қармауышты жылжыта алады. Станоктарға кіріктірілген өнеркәсіптік роботтар тегіс тікбұрышты және полярлы цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін аспалы өнеркәсіптік роботтарға ұқсас орналасуы (арбаның бойымен жүретін монорельстің тікелей станокқа бекітілген айырмашылығымен), сондай-ақ, роботты станоктың алдына бекітуді қамтамасыз ететін және қолды тік және көлденең осьтер айналасында бұруға мүмкіндік беретін орналасу.

Мысалы, цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін үш жылжымалы манипуляторы бар өнеркәсіптік роботтың құрылымдық-функционалдық схемасын қарастырайық. Манипулятор иінінің негізгі механизмі қозғалмайтын звенодан 0 және үш жылжымалы звенодан 1, 2 және 3 тұрады (7 - сурет).

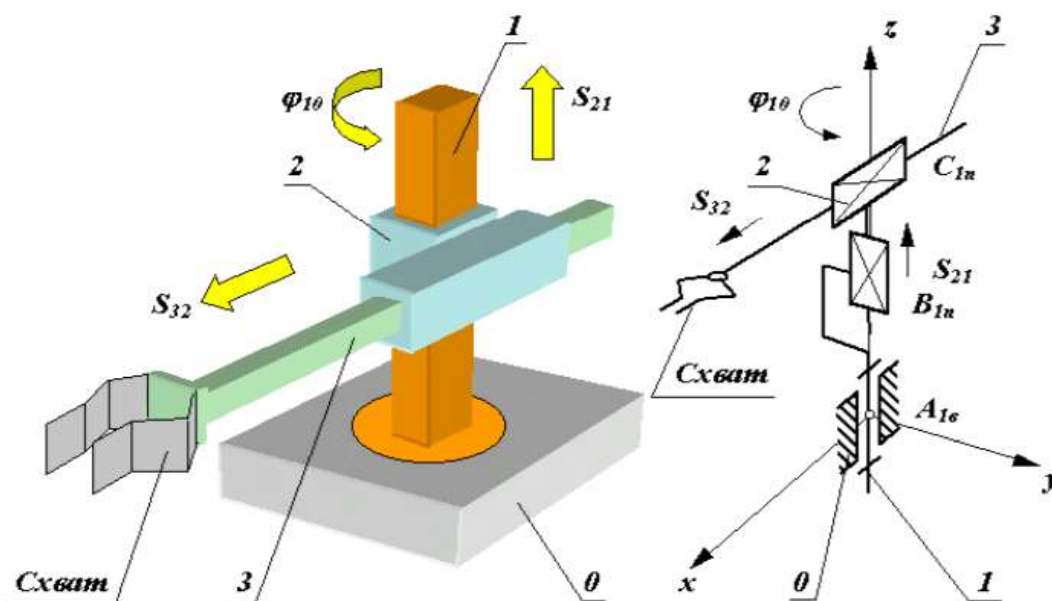
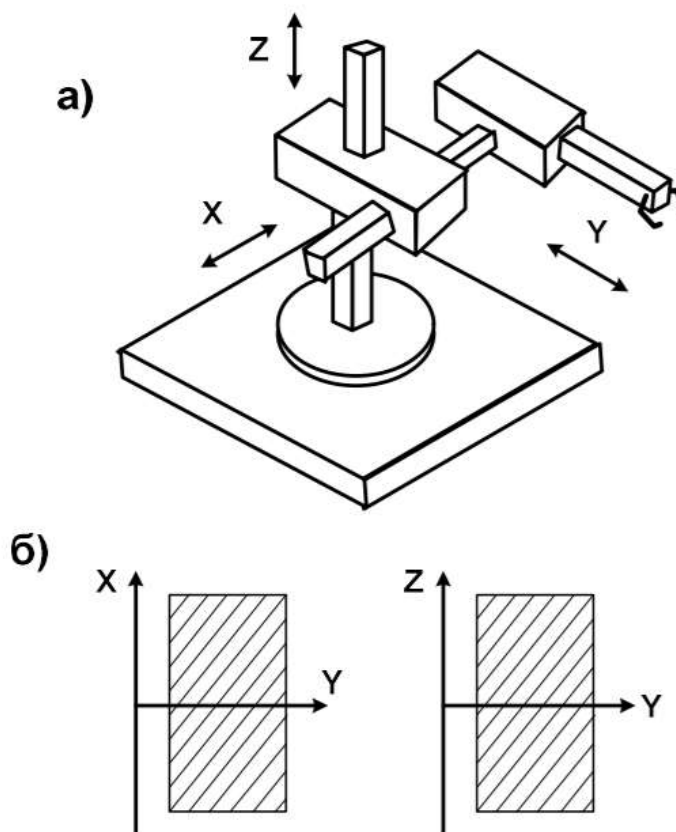


Рис. 2.1

Сурет 7 – Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін манипулятор

Бұл манипулятордың механизмі цилиндрлік координаттар жүйесіне сәйкес келеді. Бұл жүйеде 1-ші буын 0-ге қатысты айнала алады (салыстырмалы бұрыштық орын ауыстыру φ_{10}), 2-ші буын 1-ге қатысты тігінен қозғалады (салыстырмалы сызықтық орын ауыстыру S_{21}) және 3-ші звено 2-ге (салыстырмалы сызықтық орын ауыстыру S_{32}) қатысты көлденең жазықтықта қозғалады. 3-ші звеноның ұшында манипулятор жұмыс істеген кезде манипуляцияланатын объектіні қармауға және ұстап тұруға арналған ұстағыш құрылғы немесе қысқыш бекітіледі. Манипулятордың негізгі рычагтық механизмінің буындары өзара үш бір жылжымалы кинематикалық жұпты (бір айналмалы А және екі трансляциялық В және С) құрайды және оның бағдарын бақыламай, кеңістікте объектінің қозғалысын қамтамасыз ете алады. (Баубеков С.Д. Механика роботов и манипуляторов. Теория и практика. Учебник. Для технических специальностей ВУЗов, -Тараз. Типоргафия ТОО «TISS-Жанару», 2014, - 256 с.).

Тік бұрышты координаталар жүйесінде жұмыс істейтін манипуляторлар (8 - сурет) параллелепипед түріндегі жұмыс аймағына ие. Мұнда тек ілгермелі қозғалыстар орындалады, сондықтан мұндай координаталар жүйесі түзу сызықты қозғалыстарды орындау үшін ең қолайлы. Сонымен қатар, ол роботты бағдарламалауды мүмкіндігінше жеңілдетеді, өйткені ол әдетте тікбұрышты координаттар жүйесінде орындалады, сондықтан бұл жағдайда бір координат жүйесінен екіншісіне бағдарламаларды қайта есептеу қажет емес.



Сурет 8 – Тік бұрышты координаттар жүйесі бар манипулятор

Жазық механизмдердің құрылымдық синтезінің негізін Ассур [17] ұсынған, оған сәйкес механизм нөлдік еркіндік дәрежесі бар құрылымдық топтарды кіріс звеносына (жетек) және тірекке қосу арқылы қалыптасады. Бұл құрылымдық топтар кейін Ассур топтары деп аталады. Ассур топтарына немесе жазық механизмдерге арналған Ассур кинематикалық тізбектеріне негізделген композиция принципі Янг және басқалардың кеңістіктік механизмдеріне дейін кеңейтілді [18, 19].

Сериялық манипуляторлардың құрылымы - манипулятор қолы, ол үш еркіндік дәрежесі бар ашық кинематикалық тізбек және үш еркіндік дәрежесі бар білезік түріндегі механизмі (wrist mechanism) бар механизм. Манипулятордың қолы білезік механизмін кеңістікте берілген позицияға жеткізеді, білезік механизмі ұстағыштың бағдарлануын қамтамасыз етеді.

Параллельді манипуляторда жұмыс органдарының орналасуы мен бағдарлануы көптеген кинематикалық жұп түрлері бар күрделі тұйық кинематикалық тізбек болып табылатын бір механизм арқылы жүзеге асырылады. Параллельді роботтық зерттеулерге синтездік шолуды Мэн, Гао және т.б.[20] жасады.

Параллельді манипуляторлардың құрылымдық синтезінің ең қарапайым және кең тараған әдісі Грублер-Куцбах формуласы немесе критерийі [21] арқылы еркіндік дәрежелерінің берілген саны, буындар мен кинематикалық жұптар үшін олардың құрылымдық сұлбаларын (архитектурасын) анықтау

болып табылады. Бұл формула манипулятордың еркіндік дәрежелерінің санымен оның буындарының санымен, кинематикалық жұптармен және олардың қозғалғыштығымен, сонымен қатар манипулятор жұмыс істейтін кеңістіктің өлшемімен байланысын белгілейді. Жалпы параллельді манипулятор түрлерінің синтезі шартты талап етеді; терминалдық құрамдас бөліктердің қозғалыс сипаттамалары мен шапшаңдық тереңдігін қоса алғанда. Бұған дейін компоненттердің қозғалысының математикалық сипаттамасы болуы керек. Бұл компоненттердің (немесе манипулятордың) дұрыс шапшаңдық тереңдігін алудың жалғыз жолы. Бұл мәселе бойынша параллель манипуляторлардың түрлерін синтездеуге арналған бірнеше жүйелі математикалық тәсілдер ұсынылды, мысалы, бұрандалы теорияға негізделген әдістер, дифференциалдық геометрия теориясы, сызықты түрлендіру теориясы, орын ауыстыру тобы теориясы, ашық тізбек бірліктері.

Винт теориясына негізделген параллель манипуляторлардың құрылымдық синтезі Hunt және Gibson [22,23], Martinez және Duffy [24,25], Dai [26], Kong және Gosselin [27] және басқалардың жұмыстары арналған, мұнда қармауыштардың қасиеттерін сипаттау үшін манипуляторлардың қарапайым топологиясы және виртуалды тізбектер қолданылады.

Параллельді манипуляторлардың құрылымдық синтезі үшін дифференциалдық геометрия теориясын Herve [28], Selig [29], Li и Meng [30] қолданады, мұнда қозғалыстардың реттілігіне сезімтал соңғы эффекторлардың қасиеттерін сипаттау үшін Ли топтары мен Ли алгебрасы теориясының негізінде орын ауыстырулардың топшалары мен ішкөпбейнелері зерттеледі.

Линерлік трансформация теориясына және эволюциялық морфологияға негізделген көзқараста Гогу [31] эволюциялық морфологияны 6 элементтен тұратын кортеж ретінде анықтады. Комбинация, мутация, миграция, таңдау критерийлері және эволюция сияқты морфологиялық операторларды пайдалана отырып, Гогу параллель манипуляторлардың түрлерін синтездеу процедураларын енгізді және параллель манипуляторлар үшін көптеген шешімдерді алды [32,33].

Жұмыстар орын ауыстыру тобына, позицияға және бағдар сипаттамаларына (POC), жалпыланған функционалдық жиынтыққа, ашық тізбек бірліктеріне (SOC) негізделген типтік критерийлерге арналған. Рико және басқалары [34] құрамдастардың қозғалысын сипаттау үшін орын ауыстыру тобын қолданды және DOF формуласын ұсынды. Жиын теориясына сүйене отырып, Янг [35] құрамдастардың қозғалысын POC жиындарының көмегімен сипаттауға болатынын ұсынды және SOC-тағы соңғы компоненттің тәуелсіз қозғалыстарының саны сәйкес бір-контурлық тізбектегі тәуелсіз орын ауыстыру теңдеулерінің санына тең екенін көрсетті. Жиынтықтар – механизмнің соңғы эффекторларына арналған қозғалыс элементтерінің арнайы жиынтығы. Қозғалыс сипаттамаларының реттілігі мен өзара әрекетін ескере отырып, жиынтықтар соңғы эффекторлардың қозғалу мүмкіндігін білдіреді. Типті синтездеудің жиынтық тәсілін Гао жасаған [36,37].

1.2 Параллель манипуляторлардың параметрлік синтезі

Механизмдердің кинематикалық синтезінде (dimensional or parametric synthesis), кіріс және шығыс буындардың берілген қозғалыс заңдарына (немесе дискретті позицияларына) сәйкес олардың белгілі құрылымдық сұлбалары белгілі болғанда буындардың геометриялық параметрлері анықталады. Шығыс буындарының қозғалыс түріне байланысты механизмдердің кинематикалық синтезі бағыттаушы, орын ауыстырушы және беріліс механизмдерінің кинематикалық синтезіне бөлінеді. Функцияны генерациялау механизмі кіріс және шығыс буындарының қозғалыстары арасында қажетті функционалдық қатынасты тудырады. Манипулятордың жүру жолын генерациялау қозғалтқышы өзгермелі сілтемеде өзінің шығу нүктесінің көрсетілген жолын жасайды. Қозғалыс - генерациялаушы (немесе тұтас) механизм шығыс буынының алдын ала белгіленген қозғалысын тудырады.

Шығыс звеноларының берілген қозғалыстарын орындау дәл және шамалап орындалуы мүмкін. Қатты дененің қажетті қозғалыстарын иіңтіректі механизмдер арқылы дәл жүзеге асыру генератор механизмінің құрылымдық сұлбасына байланысты позициялардың шектеулі санымен мүмкін болады, бұл ретте олардың шамамен орындау мүмкіндігі көрсетілген позициялардың санымен шектелмейді.

Механизмдерді синтездеудің нақты әдістері немесе оларды түсінікті болу үшін, механизмдерді синтездеудің геометриялық әдістері кинематикалық геометрияға негізделген. Кинематикалық геометрияның негіздері қатты дененің тегіс қозғалыстағы соңғы шығарылған позициялары үшін Burmester және кеңістіктегі қатты дененің соңғы шығарылған позициялары үшін Schoenflies Burmester жұмыста [38] қозғалмайтын жазықтықта бекітілген шеңберлерде төрт және бес позициялары бар қозғалмалы жазықтықтың нүктелер теориясын жасады. Schoenflies жұмыста [39] шеңберде жеті позициясы және түзу сызықта үш позициясы бар қатты нүктелердің геометриялық орындары туралы теоремаларды тұжырымдады.

Л.Бурместер мен Л. Шенфлис теорияларының графикалық әдістері Freudenstein, Sandor [40], Bottema and Rost [41] және Wilson [42], Suh [43,44], Roth, Chen, Tsai [45-47] еңбектерінде аналитикалық түсінік алды.

Механизмдерді синтездеудің геометриялық әдістері айқындық пен қарапайымдылыққа ие. Механизмдердің синтезінің геометриялық әдістері айқындық пен қарапайымдылыққа ие. Дегенмен, бұл әдістер позициялардың шектеулі саны үшін ғана қолданылады, сонымен қатар осы әдістерді қолданатын есептерді шешу алгоритмі көрсетілген позициялар санына айтарлықтай тәуелді болады және олардың күрделілігі позициялар санына қарай артады. Механизмдердің синтезінің жуықтау (алгебралық) әдістері бұл кемшіліктерден ада.

Механизмдердің аппроксимациялық синтезінің мәселелерін алғаш Чебышев қойды және шешті [48]. Бұл мәселелерді шешу қажеттілігі біркелкі (Чебышев) жуықтау теориясының пайда болуына әкелді. Алайда Чебышев

әдісін қолдану белгілі бір шектеумен байланысты, атап айтқанда механизмдердің синтезі есептерінде қолданылатын ауытқу функциясы Чебышев функциялары жүйесінде көп мүше ретінде көрсетілуі керек. Талдау көрсеткендей, механизмдерді синтездеу есептерінің көпшілігінде жуықтау функциялары бұл талапқа сәйкес келмейді, бұл иінтіректі механизмдердегі буындардың салыстырмалы орын ауыстыруларының байланысын сипаттайтын теңдеулердің сызықты еместігіне байланысты.

Механизмдердің аппроксимациялық синтезіндегі ең кең тараған *квадраттық жуықтау әдісі* болып табылады. Бұл әдісті дамыту үшін Левицкий [49] ұсынған жаңа ауытқу-салмақталғынның айырмашылық (отклонения-взвешенной разности с параметрическим весом) функциясын енгізу шешуші рөл атқарды. Нақты ауытқудан айырмашылығы, салмақты айырмашылықты көп жағдайда сызықтық формаларға (жалпыланған көпмүшеліктер) келтіруге болады. Бұл механизмдердің синтезіне сызықтық жуықтау әдістерін қарапайым қолдануға мүмкіндік береді. Бұл жылжытылған нысанның көрсетілген позицияларының максималды санына шектеуді жояды.

Геометриялық және жуықтау әдістерінің негізгі артықшылықтарын біріктіре отырып, механизмдер синтезіндегі жаңа бағыт, жуықтау-кинематикалық геометрия тұжырымдалған. Ол қарастырылған позицияларда жобаланатын кинематикалық тізбектермен жүктелетін синтез шарттарын сипаттайтын қисық сызықтар мен беттерге жақындайтын қатты дененің нүктелері мен сызықтарын анықтауға байланысты жуықтау есептерінің арнайы класын алады. Sarkissyan, Gupta, Roth [50,51] еңбектерінде жазық және кеңістіктік қозғалыстардың жуықтау кинематикалық геометриясының негіздері берілген, мұнда шеңбер квадраттық нүктелер [50, б. 506] және шамамен сфералық және салыстырмалы траекториялары [51, б. 84] нүктелері сәйкес келетін ВВ, СС, СП типті бинарлы буындар бар. Одан әрі рычагтық механизмдердің кинематикалық синтезінде дискретті Чебышевтік жуықтау ұғымы енгізілді. Чебышев шеңберін және жазық қозғалыстағы түзуді [52] және Чебышев сферасын және кеңістіктік қозғалыстағы жазықтығы [53,54] сипаттайтын теоремалар, шекті мәндерді минимизациялауға негізделген Чебышев шеңбер, сфералық және басқа нүктелерді анықтаудың итеративті алгоритмдері тұжырымдалған салмақтық айырмасы көрсетілді.

Жазық және кеңістіктік қозғалыстардың кинематикалық геометриясына ұқсас зерттеулерді McCarthy жүргізген [55–57]. McCarthy and Plecnik [58-61] механикалық есептеулер үшін алты ұшты байланыстарды синтездеді. Маккарти мен Plecnik механикалық есептеулер үшін алты жолақты байланыстарды синтездеді.

Орындалған талдау жобаланған манипулятордың құрылымдық және кинематикалық синтездері бөлек орындалатынын көрсетеді. Бұл жағдайда қарастырылып отырған құрылымның синтезделген параллель манипуляторының буындарының геометриялық параметрлері қозғалыстың қажетті заңдылықтарын қамтамасыз етпеуі мүмкін. Сондықтан кинематикалық синтезді жобаланған манипулятордың құрылымдық синтезімен бірге жүргізген

жөн.

Механизмдердің құрылымдық синтезінің көптеген әдістері бар. Л.В.Ассур [17, б. 220] механизмдерді қалыптастыру әдісін ұсынды, оған сәйкес механизмдер нөлдік еркіндік дәрежесі бар құрылымдық топтарды кіріс звеносына (жетек) және тірекке қосу арқылы құрылады, кейінірек олар Ассур топтары деп аталды. Механизмдердің құрылымдық синтезінің басқа әдістері (Франке әдісі) [62], Хип әдісі [63], Фаррелл әдісі [64-66], Сункари және Шмидт әдісі [67], сонымен қатар [68-71] графиктер теориясын және әртүрлі компьютерлік бағдарламаларды қолдану арқылы берілген еркіндік дәрежелері, буындар мен кинематикалық жұптар үшін механизмдердің құрылымдық схемаларын анықтауға арналған.

Механизмдердің функционалды мақсатына, яғни шығу буындарының қозғалыс түріне байланысты механизмдердің кинематикалық синтезінің түрлері бағыттаушы, қозғалатын және беріліс механизмдерінің кинематикалық синтезіне бөлінеді. Бағыттаушы механизмнің кинематикалық синтезінде буындардың геометриялық параметрлері шығыс нүктесі мен кіріс буынының берілген позициялары арқылы анықталады. Қозғалыс механизмінің кинематикалық синтезінде буындардың геометриялық параметрлері шығыс дененің (буынның) және кіріс звеносының берілген орындарымен анықталады. Трансмиссиялық механизмнің кинематикалық синтезінде звенолардың геометриялық параметрлері тірекке қатысты айналмалы немесе ілгерілемелі қозғалысты орындайтын кіріс звеносы мен шығыс звено арасындағы берілген функционалды байланыс арқылы анықталады.

Кинематикалық синтездің бастапқы әдістері графикалық болды, ол Бурместер теориясына негізделген [72]. Есептеу және компьютерлік технологиялардың дамуына байланысты Бурместер теориясының дамуына негізделген аппроксимация және оптимизация әдістері жасалды [73-80].

Механизмдердің кинематикалық синтезінің барлық қарастырылған әдістері механизмдердің берілген құрылымдары үшін буындардың геометриялық параметрлерін анықтау үшін қолданылады [81-90]. Бұл ретте механизмнің бұл құрылымы шығыс звеноның берілген қозғалыс заңдылықтарын талап етілетін дәлдік шегінде қамтамасыз ете ала ма деген сұрақ ашық күйінде қалады. Екінші жағынан, жоғарыда атап өткендей, механизмдердің құрылымдық синтезінде олардың функционалды мақсаттары ескерілмейді. Сондықтан механизмдердің функционалды мақсатын ескере отырып, олардың құрылымдық синтезін жүргізуді мақсатқа сай деп санаймыз. Сонымен қатар, берілген синтез шарттарын қанағаттандыратын буындардың құрылымын да, геометриялық параметрлерін де анықтау үшін құрылымдық синтезімен бір уақытта механизмнің кинематикалық синтезін жүргізу қажет.

Бұл диссертацияда механизмдер мен манипуляторлардың құрылымдық-параметрлік синтезінің әдістері әзірленген, соған сәйкес шығыс және кіріс буындарының қозғалыс заңдылықтары бойынша бір мезгілде механизмдердің құрылымдары мен геометриялық параметрлері анықталады. Бұл жағдайда механизмнің құрылымдық-параметрлік синтезі ең аз буындар мен

кинематикалық жұптары бар қарапайым кинематикалық тізбектерден құрылады. Егер буындар мен кинематикалық жұптардың санын, сондай-ақ олардың түрлерін ұлғайту арқылы қажетті дәлдік шегінде шығыс буынының көрсетілген позицияларын қамтамасыз ету мүмкін болмаса, синтезделген механизмнің құрылымы күрделенеді. Осылайша, буындардың оңтайлы құрылымы мен геометриялық параметрлері анықталады.

1.3 Патенттік ақпаратты талдау және параллельді манипуляторлардың перспективті түрлерін анықтау

Табылған патенттік құжаттар бойынша патенттеу динамикасына талдау жасалды (www.kazpatent.kz, wipo.int., [Www.fips.ru](http://www.fips.ru)).

Кестеде жылдар бойынша параллель манипулятордың жиналған патенттерін патенттеу динамикасы көрсетілген.

Кесте 2 – Параллельді манипуляторларды патенттеу динамикасы

Жылдар	Параллель манипуляторлар			
	АҚШ	КСРО, ТМД	Азия	Еуропа елдері
1980-1990	25	20	18	22
1990-2000	26	26	14	13
2000-2014	28	28	27	22
2014-2021	35	34	39	45

- Қарастырылып отырған кезеңде берілген патенттер саны туралы нақты деректерді алу қиын болғандықтан, бұл талдау Қазақстанның және шетелдің патенттік ведомстволарынан (www.kazpatent.kz, wipo.int, www.fips.ru) алынды.

- 1980-2021 жылдар аралығындағы параллельді манипуляторлардың конструкциялары мен кинематикалық диаграммаларын сипаттайтын өнеркәсібі дамыған елдерден патенттер жинағы алынды;

- ПМ құрылымдарының анықталған перспективалық түрлері;

- ПМ кинематикалық схемаларын орындаудың перспективалық түрлері анықталды;

- RoboMesh класының параллельді манипуляторының жаңа дизайны ұсынылды, оның жұмыс нүктесі үшцилиндрлік координаталар бойынша қозғалысты жасайды.

- Жүргізілген патенттік талдаудың негізінде параллельді және сериялық манипуляторларды дамытудың заманауи тенденцияларын ескере отырып, келесі өнертабыстарға өтінімдер берілді және патенттер алынды:

1) Байгунчеков Ж.Ж., Мустафа А.К., Кадыров Ж.Н., Параллельный манипулятор класса РобоМех с тремя степенями свободы. Патент № 34390 на изобретение.

2) Байгунчеков Ж.Ж., Джузеппе Карбоне, Мед Амин Лариби. Қоссырғақты механизм. Пайдалы модельге патенті. Пайдалы модельге патент беру туралы хабарлама № 2021 / 0955.2 08.11.2021 ж.

1.4 Тапсырманы қою

ПМ құрылымдық және параметрлік синтезі саласында жүргізілген талдау негізінде бұл диссертациялық жұмыста RoboMech класындағы екі ПМ құрылымдық-параметрлік синтезі және кинематикалық талдау мәселесі қойылды: цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар ПМ және қоссырғақты ПМ.

Бірінші бөлім бойынша қорытынды

Осы бөлімде параллель манипуляторлардың құрылымдық және параметрлік синтезі бойынша Scopus, Web of Science, Google Scholar сияқты т.б. мәліметтер базаларындағы мақалалар мен әдебиеттерді пайдаланып әдеби шолу жасалды және тапсырма қойылды (постановка задачи).

Сериялық робот манипулятор бекітілген негіз бен соңғы эффекторды байланыстырып тұратын ашық кинематикадан тұрады. Оларды 1970 жылдардың басынан бастап қауіпті және қайталанатын жұмыстарды жасау үшін АҚШ-тың General Electric және General Motors компаниялары қолдана бастады. Қазіргі уақытта сериялық механизмдар өндірістің дәнекерлеу, бояу, құрастыру, құрастыру және орналастыру, орау және т.б. салаларында кеңінен қолданылады. Көптеген жону станоктары да сериялық құрылымнан тұрады, бірақ олардың құрылымының арыстығына байланысты көптеген кемшіліктер пайда болады. Біріншіден ашық кинематикалық тізбектің құрамындағы жеке компоненттердің қателіктерінің жиналуына байланысты жоғары дәлдікті қамтамасыз ете алмайды. Екіншіден белсенді кинематикалық жұптардағы қозғалтқыштың салмақтарының ауырлығына байланысты қозғалысы тұрақсыз болады және олардың құрылымы қатаң болмағандықтан жоғарғы жылдамдықтарда жұмыс жасай алмайды. Сәйкесінше ашық кинематикалық тізбек манипулятордың жылдамдығын азайтып, динамикалық сипаттамаларын төмендетеді және орналастыру дәлдігі мен жүккөтергіштігі төмен болады.

Параллель манипулятор бекітілген және қозғалмалы платформаларды байланыстыратын кем дегенде екі кинематикалық тізбектен немесе аяқтан тұрады. Сериялық манипуляторлардың кемшіліктерін параллель манипуляторларды қолдану арқылы жоюға болады. Біріншіден олардың дәлдіктері жоғары болады, себебі олардың қозғалатын компоненттері бір-бірімен тығыз байланысады және байланыстардың қателіктері жинақталмайды. Сонымен бірге параллель манипуляторлардың сериялық манипуляторға қарағанда құрылымы қатаң болады, себебі көтеруге тиісті салмақ кем дегенде екі кинематикалық тізбекке әсер етеді. Параллель роботтарда қозғалатын түйіндердің салмағы жеңілрек болады, себебі барлық қозғалтқыштар бекітілген платформада орналасады, осыған байланысты параллель роботтар жоғарғы жылдамдықтарда, жоғарғы дәлдікпен жұмыс жасай алады және жүккөтергіштігі де жоғары болады.

Әдеби шолу нәтижелеріне сүйене отырып біз HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центріне дайындаманы беру және алу жұмыстарына

цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ-ды жобалап зерттеуге тоқталдық.

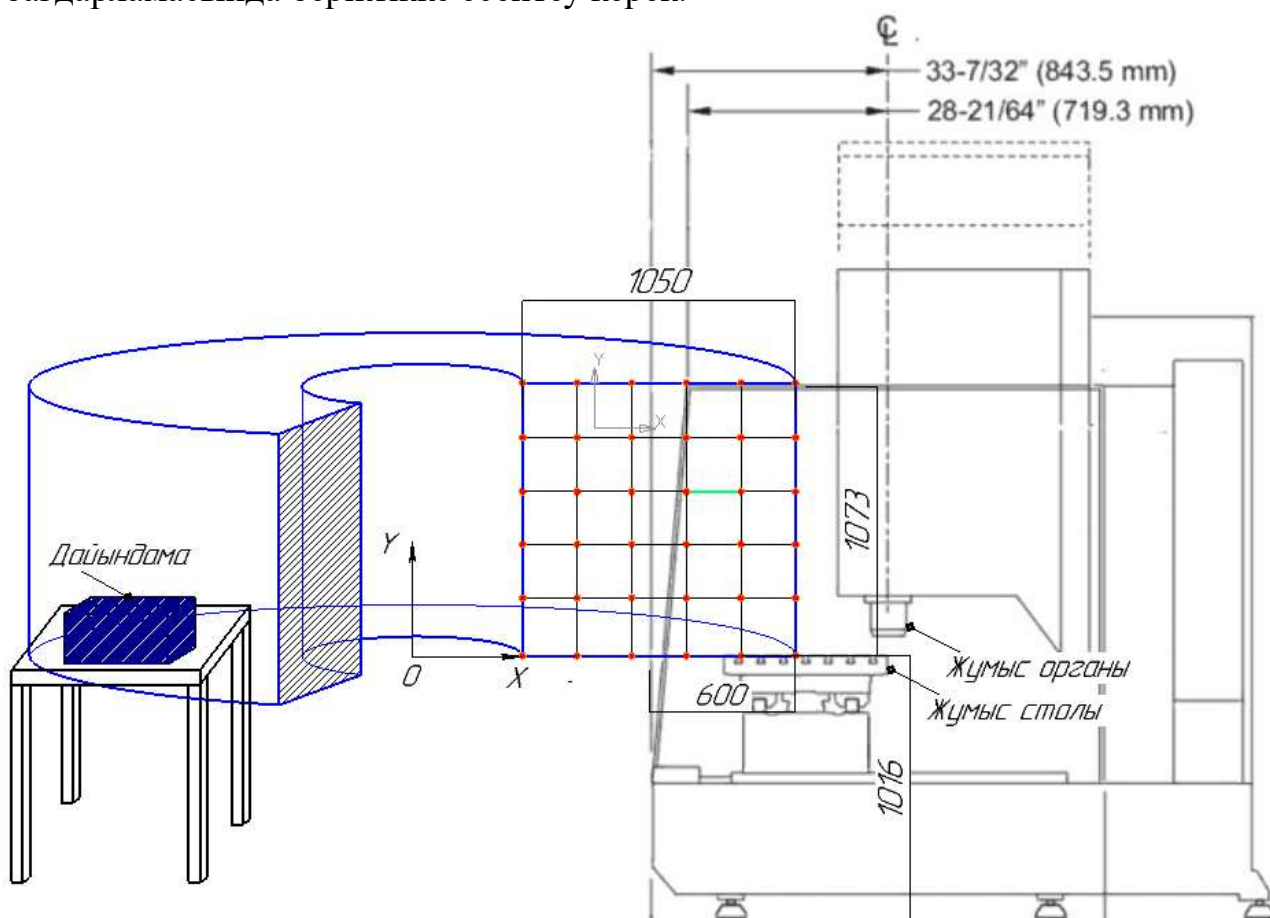
www.wipo.int/, www.fips.ru, www.kazpatent.kz өнертабыстар (патент) базаларын пайдалана отырып өнертабыстарды шолу жұмыстары жасалды.

2 ЦИЛИНДРЛІК КООРДИНАТА ЖҮЙЕСІНДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ПМ (ПМ1) ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ПАРАМЕТРЛІК СИНТЕЗІ (ҚПС) ЖӘНЕ КИНЕМАТИКАЛЫҚ АНАЛИЗІ

2.1 ПМ1-дің құрылымдық синтезі

1-мәселенің тапсырмасы:

Шығыс нүктесі мен кіріс сілтемелерінің берілген позициясы бойынша цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар RoboMesh класты ПМ сілтемелерінің құрылымдық схемасы мен геометриялық параметрлерін анықтау қажет. Синтезделген ПМ1-ді Solid Works бағдарламасында беріктікке есептеу керек.

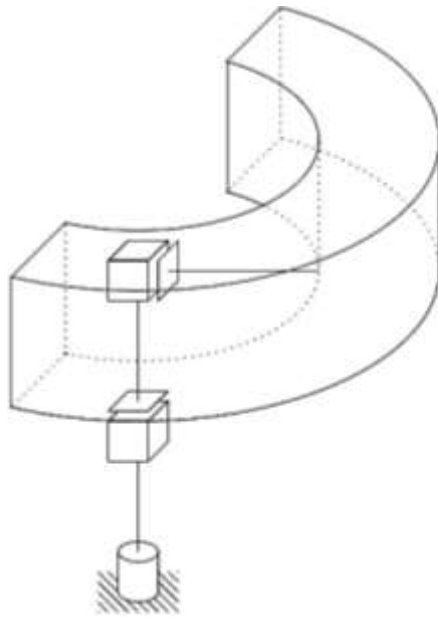


Сурет 9 – HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің

ALATAU заводындағы дайындаманы беру және алу жұмыстарын орындау үшін HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің өлшемдерін ескеріп жұмыс аймағын анықтап алдық. 9 – суретте көрсетілген.

Сонымен цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін сериялық және параллель манипуляторларды қарастырамыз.

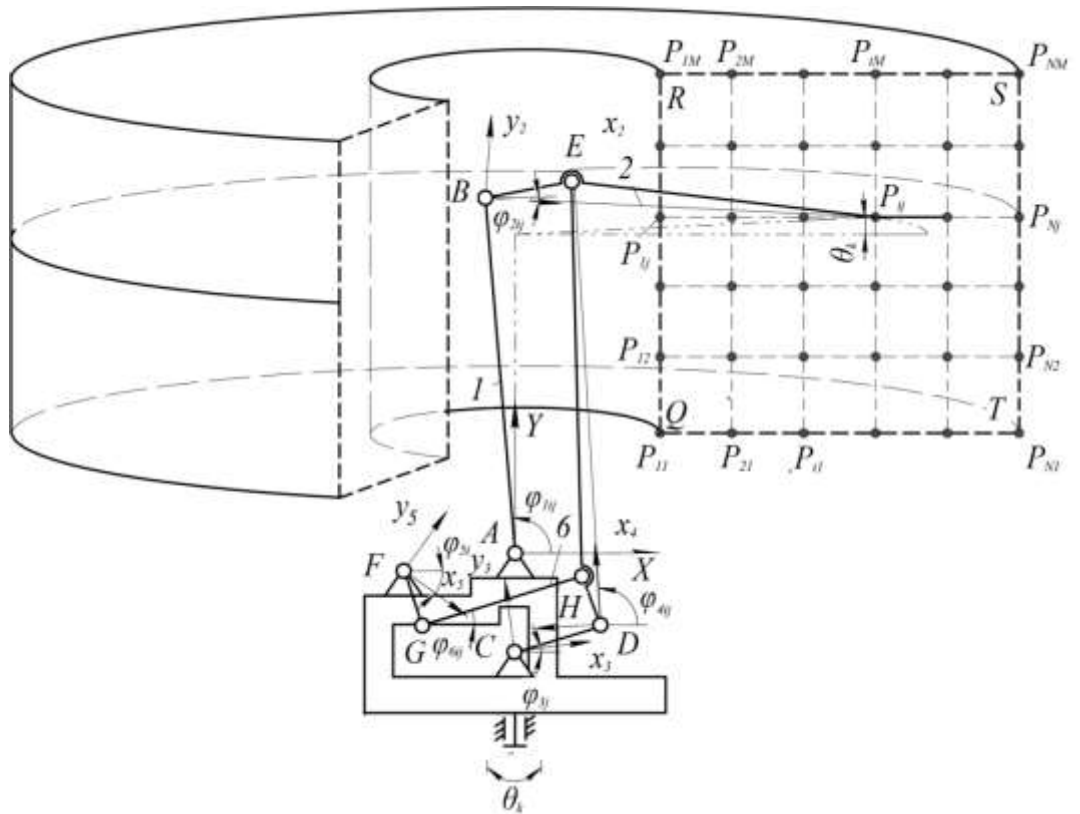
10 суретте қазіргі таңда пайдаланып жүрген цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін манипулятор көрсетілген.



Сурет 10 – Цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін сериялық манипулятор

Бұл сериялық манипулятордың кемшіліктері осы жұмыстың 1-кестесінде келтірілген параметрлер болып табылады.

11 - суретте цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ құрылымдық схемасы көрсетілген.

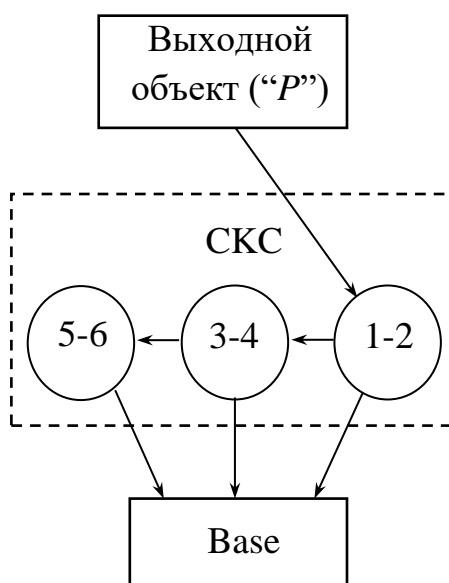


Сурет 11 – Цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ

ПМ шығыс P нүктесі $QRST$ тіктербұрышының ішінде X_{P_i} ($i=1,2,\dots,N$) және Y_{P_j} ($j=1,2,\dots,M$) верткаль және горизонталь сериялық траекториялармен жүреді. Сонымен қатар FG белсенді буынын қозғалту арқылы горизонталь ал CD белсенді буынын қозғалту арқылы вертикаль ортогональды траекторияларда қозғалады. P шығыс нүктесінің тірек айналасында цилиндрлік координаталар жүйесіндегі қозғалысын верткаль осі OY арқылы θ_k ($k=1,2,\dots,K$) бұрышына бұру арқылы жүзеге асырады.

Согласно разработанному принципу формирования манипуляторов, данный ПМ сформирован соединением выходного объекта (точки P) со стойкой при помощи трех замыкающих кинематических цепей (ЗКЦ): одной пассивной ЗКЦ ABP и двух активных ЗКЦ CDE и FGH . Блочная структура формирования рассматриваемого ПМ показана на Рисунок 2.4.

Манипуляторларды қалыптастырудың әзірленген принципіне сәйкес, бұл ПМ шығыс нүктесін (P нүктесі) тірекпен үш тұйықтаушы кинематикалық тізбектерді (ТКТ) біріктіру арқылы қалыптасады: бір пассивті ТКТ ABP және екі белсенді ТКТ CDE және FGH . Қарастырылып отырған ПМ қалыптастыру блок схемасы 12 - суретте көрсетілген.



Сурет 12 - Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ қалыптастыру блок схемасы

2.2 ПМ1 параметрлік синтезі

Демек, қарастырылып отырған ПМ параметрлік синтезі үш ТКТ-нің параметрлік синтезінен тұрады. Пассивті ТКТ ABP P шығыс нүктесінің қозғалысына геометриялық байланыс орнатпайтындықтан, оның синтезінің $\mathbf{p}_1 = [X_A, Y_A, l_{AB}, l_{BP}]^T$ параметрлері белсенді ТКТ CDE және FGH P нүктесінің қозғалысына жүктеген геометриялық қатынастарды қанағаттандыру үшін өзгереді. Бұл жағдайда шарт

$$|l_{AB} - l_{BP}| \leq \rho_{\min}, \quad l_{AB} + l_{BP} \geq \rho_{\max}, \quad (1)$$

мұндағы ρ – A және P нүктелерінің арасындағы айнымалы қашықтық және AB және BP l_{AB} және l_{BP} буындарының ұзындықтары.

Белсенді ТКТ CDE активті кинематикалық жұбы бар C параметрлік синтезі үшін біз Sx_3y_3 координаталар жүйесіне қатаң түрде қосамыз, Sx_3 осінің бағыты кіріс буынының $3 \varphi_{3j}$ бұрышын анықтайды. Пассивті ТКТ ABP -ны BP буынын қатаң түрде координаталар жүйесін Bx_2y_2 қосыңыз, Bx_2 осі BP буынының бойымен бағытталған. B нүктесінің X_{Bij} , Y_{Bij} координаталары Bx_2y_2 координаталар жүйесінің осінің бағыты келесі өрнектермен анықталады

$$\begin{bmatrix} X_{Bij} \\ Y_{Bij} \end{bmatrix} = l_{AB} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{(AB)ij} \\ \sin \varphi_{(AB)ij} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\varphi_{2ij} = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{Y_{Pij} - Y_{Bij}}{X_{Pij} - X_{Bij}} \right), \quad (3)$$

мұндағы

$$\varphi_{(AB)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Pij}}{X_{Pij}} \pm \cos^{-1} \frac{l_{APij}^2 + l_{AB}^2 - l_{BP}^2}{2l_{APij} \cdot l_{AB}}. \quad (4)$$

Сонда активті ТКТ CDE синтез параметрлерінің векторы $\mathbf{p}_2 = [X_C, Y_C, x_D^{(3)}, y_D^{(3)}, x_E^{(2)}, y_E^{(2)}, l_{DE}]^T$, мұндағы $X_C, Y_C, x_D^{(3)}, y_D^{(3)}, x_E^{(2)}, y_E^{(2)}$ ОХУ координаталық жүйелеріндегі C, D, E топсаларының координаталары сәйкесінше l_{DE} – DE буынының ұзындығы.

Салыстырмалы айырма функциясын құрастырайық

$$\Delta q_{1ij} = \left[\bar{R}_C + \Gamma(\varphi_{3j}) \mathbf{r}_D^{(3)} - \bar{R}_{Bij} - \Gamma(\varphi_{2ij}) \mathbf{r}_E^{(2)} \right]^2 - l_{DE}^2, \quad (5)$$

мұндағы $x_{Eij}^{(3)}$ және $y_{Eij}^{(3)}$ координаталары Sx_3y_3 жүйесіндегі E топсасының координаталары теңдеулер арқылы анықталады.

$$\begin{bmatrix} x_{Eij}^{(3)} \\ y_{Eij}^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{3j} & \sin \varphi_{3j} \\ -\sin \varphi_{3j} & \cos \varphi_{3j} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{Eij}^{(3)} - X_C \\ y_{Eij}^{(3)} - Y_C \end{bmatrix}, \quad (6)$$

мұндағы

$$\begin{bmatrix} X_{Eij} \\ Y_{Eij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Bij} \\ Y_{Bij} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{2ij} & -\sin \varphi_{2ij} \\ \sin \varphi_{2ij} & \cos \varphi_{2ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_E^{(2)} \\ y_E^{(2)} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

(4) функцияның геометриялық мағынасы координаталар жүйесінің салыстырмалы қозғалысында l_{DE} радиусы мен центрі D нүктесінде болатын шеңберден E топсасының координаталарының координаталар жүйесіне қатысты ауытқуы болып табылады.

Синтез параметрлерін ауыстырғаннан кейін

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_E^{(2)} \\ y_E^{(2)} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} p_6 \\ p_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_D^{(3)} \\ y_D^{(3)} \end{bmatrix},$$

$$p_3 = \frac{1}{2} \left(X_C^2 + Y_C^2 + x_D^{(3)2} + y_D^{(3)2} + x_E^{(2)2} + y_E^{(2)2} - l_{DE}^2 \right), \quad (8)$$

(4) функциясы синтез параметрлерінің топтарына қатысты сызықты түрде $\mathbf{p}_2^{(k)}$ өрнектеледі

$$\Delta q_{1ij}^{(k)} = 2 \left(\mathbf{g}_{ij}^{(k)T} \mathbf{p}_2^{(k)} - g_{0ij}^{(k)} \right), \quad (k = 1, 2, 3), \quad (9)$$

мұндағы

$$\mathbf{p}_2^{(1)} = [p_1, p_2, p_3]^T, \quad \mathbf{p}_2^{(2)} = [p_4, p_5, p_3]^T,$$

$$\mathbf{p}_2^{(3)} = [p_6, p_7, p_3]^T, \quad (10)$$

$$\mathbf{g}_{ij}^{(1)} = \begin{bmatrix} -X_{Bij} \\ -Y_{Bij} \\ 1 \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{c|c} \Gamma(\varphi_{2ij}) & 0 \\ \hline 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \\ 0 \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{c|c} \Gamma(\varphi_{3j}) & 0 \\ \hline 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} p_6 \\ p_7 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\mathbf{g}_{ij}^{(2)} = \left[\begin{array}{c|c} \Gamma^T(\varphi_{2ij}) & 0 \\ \hline 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} X_{Bij} - p_1 \\ Y_{Bij} - p_2 \\ 1 \end{bmatrix} - \left[\begin{array}{c|c} \Gamma(\varphi_{3j} - \varphi_{2ij}) & 0 \\ \hline 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} p_6 \\ p_7 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$\mathbf{g}_{ij}^{(3)} = \begin{bmatrix} \Gamma^T(\varphi_{3j}) & 0 \\ 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 - X_{Bij} \\ p_2 - Y_{Bij} \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Gamma^T(\varphi_{3j} - \varphi_{2ij}) & 0 \\ 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} g_{0ij}^{(1)} = & -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} X_{Bij}^2 + Y_{Bij}^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{Bij}, Y_{Bij} \end{bmatrix} \cdot \Gamma(\varphi_{2ij}) \cdot \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \end{bmatrix} + \\ & + \begin{bmatrix} X_{Bij}, Y_{Bij} \end{bmatrix} \cdot \Gamma(\varphi_{3j}) \cdot \begin{bmatrix} p_6 \\ p_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_4, p_5 \end{bmatrix} \cdot \Gamma(\varphi_{3j} - \varphi_{2ij}) \cdot \begin{bmatrix} p_6 \\ p_7 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$g_{0ij}^{(2)} = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} X_{Bij}^2 - Y_{Bij}^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} p_1 - X_{Bij}, p_2 - Y_{Bij} \end{bmatrix} \cdot \Gamma(\varphi_{3j}) \cdot \begin{bmatrix} p_6 \\ p_7 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$g_{0ij}^{(3)} = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} X_{Bij}^2 - Y_{Bij}^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{Bij} - p_1, Y_{Bij} - p_2 \end{bmatrix} \cdot \Gamma(\varphi_{2ij}) \cdot \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Әрі қарай, цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ синтезінің параметрлері Чебышев және квадраттық жуықтау есептері негізінде анықталады.

2.3 ПМ1 кинематикалық синтезі

Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ тура кинематика есебінде бұрыштардың берілген мәндеріне сәйкес кіріс буындарының φ_{5i} және φ_{3j} кіріс 5 және 3 буынарына байланысты P шығыс нүктесінің OXY абсолютті координаталар жүйесіндег X_{Pij} және Y_{Pij} координаталарын анықтау қажет (2.3 сурет). Бұл ретте қарастырылатын ПМ құрылымдық формуласы келесі түрде болады

$$\begin{aligned} I(5) & \rightarrow II(6,4) \leftarrow II(3) \\ & \downarrow \\ & II(1,2) \end{aligned} \quad (17)$$

Демек, $II(6,4)$ және $II(1,2)$ диадаларының орналасу есептерін шешу қажет. Диаданың орналасу есебін шешу үшін GHD контурдың векторлық тұйықталу теңдеуін құрастырамыз

$$l_{GH} \mathbf{e}_{6ij} - l_{DH} \mathbf{e}_{(DH)ij} - l_{(GD)ij} \mathbf{e}_{(GD)ij} = 0, \quad (18)$$

$$l_{(GD)ij} = \left[\left(X_{Dj} - X_{Gi} \right)^2 + \left(Y_{Dj} - Y_{Gi} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (19)$$

$$\varphi_{(GD)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Dj} - Y_{Gi}}{X_{Dj} - X_{Gi}}, \quad (20)$$

$$l_{DH} = \left(x_H^{(4)2} + y_H^{(4)2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (21)$$

(19) және (20) теңдеулеріндегі G және D топсаларының координаталары келесі өрнектермен анықталады.

$$\begin{bmatrix} X_{Gi} \\ Y_{Gi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_F \\ Y_F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{5i} & -\sin \varphi_{5i} \\ \sin \varphi_{5i} & \cos \varphi_{5i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_G^{(5)} \\ y_G^{(5)} \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} X_{Dj} \\ Y_{Dj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{3j} & -\sin \varphi_{3j} \\ \sin \varphi_{3j} & \cos \varphi_{3j} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_D^{(3)} \\ y_D^{(3)} \end{bmatrix}. \quad (23)$$

φ_{6ij} бұрышын анықтау үшін $l_{DH} \mathbf{e}_{(DH)ij}$ өрнекті (18) теңдеудің оң жағына көшіріп, екі жағын квадраттап аламыз

$$\varphi_{6ij} = \varphi_{(GD)ij} + \cos^{-1} \frac{l_{GH}^2 + l_{(GD)ij}^2 - l_{DH}^2}{2l_{GH}l_{(GD)ij}}. \quad (24)$$

4-ші буынның орнын анықтайтын бұрыш теңдеу келесі теңдеу арқылы есептеледі

$$\varphi_{(DH)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Hij} - Y_{Dj}}{X_{Hij} - X_{Dj}}, \quad (25)$$

мұндағы

$$\begin{bmatrix} X_{Hij} \\ Y_{Hij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Gi} \\ Y_{Gi} \end{bmatrix} + l_{GH} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{6ij} \\ \sin \varphi_{6ij} \end{bmatrix}. \quad (26)$$

$$l_{AB} \mathbf{e}_{1ij} + l_{BE} \mathbf{e}_{(BE)ij} - l_{(AE)ij} \mathbf{e}_{(AE)ij} = 0, \quad (27)$$

II(1,2) диаданың орналасу есебін шешу үшін ABE контурдың векторлық түйықталу теңдеуін құрастырамыз

$$l_{(AE)ij} = \left(X_{Eij}^2 + Y_{Eij}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (28)$$

(28) және (29) теңдеулеріндегі E топсасының координаталары келесі өрнектермен анықталады

$$\varphi_{(AE)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Eij}}{X_{Eij}}. \quad (29)$$

$$\begin{bmatrix} X_{Eij} \\ Y_{Eij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Dj} \\ Y_{Dj} \end{bmatrix} + l_{DE} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{4ij} \\ \sin \varphi_{4ij} \end{bmatrix}, \quad (30)$$

мұндағы

$$\varphi_{4ij} = \varphi_{(DH)ij} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{x_H^{(4)}}{y_H^{(4)}}. \quad (31)$$

φ_{1j} бұрышын анықтау үшін $l_{BE} \mathbf{e}_{ij}$ өрнекті (30) теңдеудің оң жағына көшіріп, екі жағын квадраттап аламыз, содан

$$\varphi_{1ij} = \varphi_{(AE)ij} + \cos^{-1} \frac{l_{AB}^2 + l_{(AE)ij}^2 - l_{BE}^2}{2l_{AB}l_{(AE)ij}}. \quad (32)$$

2-ші буынның орнын анықтайтын бұрыш теңдеу келесі теңдеу арқылы есептеледі

$$\varphi_{(BE)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Eij} - Y_{Bij}}{X_{Eij} - X_{Bij}}, \quad (33)$$

мұндағы

$$\begin{bmatrix} X_{Bij} \\ Y_{Bij} \end{bmatrix} = l_{AB} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{1ij} \\ \sin \varphi_{1ij} \end{bmatrix}. \quad (34)$$

Сонда P шығыс нүктесінің координаталары келесі теңдеу арқылы анықталады

$$\begin{bmatrix} X_{Pij} \\ Y_{Pij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Bij} \\ Y_{Bij} \end{bmatrix} + l_{BP} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{(BP)ij} \\ \sin \varphi_{(BP)ij} \end{bmatrix}, \quad (35)$$

мұндағы

$$\varphi_{(BP)ij} = \varphi_{(BE)ij} - \operatorname{tg} \frac{y_E^{(2)}}{x_E^{(2)}}. \quad (36)$$

Кинематиканың кері есебінде берілген X_{Pij} және Y_{Pij} шығыс нүктелерінің координаталарының мәндері бойынша P кіріс буындарының φ_{5i} және φ_{3j} бұрыштарын кіріс CD и FG буындарының бұрыштарын анықтау қажет. Бұл ретте қарастырылатын ПМ құрылымдық формуласы келесі түрде болады

$$"P" \rightarrow \Pi(1,2) \rightarrow \Pi(3,4) \rightarrow \Pi(5,6). \quad (37)$$

Демек, $\Pi(1,2)$, $\Pi(3,4)$ және $\Pi(5,6)$ диадаларының орналасу есептерін шешу қажет.

$\Pi(1,2)$ диаданың орналасу есебін шешу үшін ABP контурының векторлық түйықталу теңдеуін құрастырамыз

$$l_{AB} \mathbf{e}_{1ij} + l_{BP} \mathbf{e}_{2ij} - l_{(AP)ij} \mathbf{e}_{(AP)ij} = 0, \quad (38)$$

мұндағы

$$l_{(AP)ij} = \left(X_{Pij}^2 + Y_{Pij}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (39)$$

$$\varphi_{(AP)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Pij}}{X_{Pij}}. \quad (40)$$

φ_{1ij} бұрышын анықтау үшін $l_{BP} \mathbf{e}_{2ij}$ өрнекті (38) теңдеудің оң жағына көшіріп, екі жағын квадраттап аламыз, содан

$$\varphi_{1ij} = \varphi_{(AP)ij} + \cos^{-1} \frac{l_{AB}^2 + l_{(AP)ij}^2 - l_{BP}^2}{2l_{AB}l_{(AP)ij}}. \quad (41)$$

Бұрыш φ_{2ij} келесі теңдеу арқылы анықталады

$$\varphi_{2ij} = \operatorname{tg} \frac{Y_{Pij} - Y_{Bij}}{X_{Pij} - X_{Bij}}, \quad (42)$$

мұндағы

$$\begin{bmatrix} X_{Bij} \\ Y_{Bij} \end{bmatrix} = l_{AB} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{1ij} \\ \sin \varphi_{1ij} \end{bmatrix}. \quad (43)$$

II(3,4) диаданың орналасу есебін шешу үшін CDE контурының векторлық тұйықталу теңдеуін құрастырамыз

$$l_{CD} \mathbf{e}_{3j} + l_{DE} \mathbf{e}_{4ij} - l_{(CE)ij} \mathbf{e}_{(CE)ij} = 0, \quad (44)$$

мұндағы

$$l_{(CE)ij} = \left[(X_{Eij} - X_C)^2 + (Y_{Eij} - Y_C)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (45)$$

$$\varphi_{(CE)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Eij} - Y_C}{X_{Eij} - X_C}. \quad (46)$$

$$\begin{bmatrix} X_{Eij} \\ Y_{Eij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Bij} \\ Y_{Bij} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{2ij} & -\sin \varphi_{2ij} \\ \sin \varphi_{2ij} & \cos \varphi_{2ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_E^{(2)} \\ y_E^{(2)} \end{bmatrix}, \quad (47)$$

$l_{DE} \mathbf{e}_{4ij}$ өрнекті (44) теңдеудің оң жағына көшіріп, екі жағын квадраттап аламыз, содан

$$\varphi_{(CD)j} = \varphi_{(CE)ij} - \cos^{-1} \frac{l_{CD}^2 + l_{(CE)ij}^2 - l_{DE}^2}{2l_{CD}l_{(CE)ij}}. \quad (48)$$

Бұрыш φ_{3j} келесі теңдеу арқылы анықталады

$$\varphi_{3j} = \varphi_{(CD)j} + \operatorname{tg} \frac{y_D^{(3)}}{x_D^{(3)}}. \quad (49)$$

$(\overline{DE})_{ij}$ векторының бағыты келесі теңдеу арқылы анықталады

$$\varphi_{4ij} = \operatorname{tg} \frac{Y_{Eij} - Y_{Dj}}{X_{Eij} - X_{Dj}}, \quad (50)$$

мұндағы

$$\begin{bmatrix} X_{Dj} \\ Y_{Dj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \end{bmatrix} + l_{CD} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{3j} \\ \sin \varphi_{3j} \end{bmatrix}. \quad (51)$$

II(5,6) диаданың орналасу есебін шешу үшін FGH контурының векторлық тұйықталу теңдеуін құрастырамыз

$$l_{FG} \mathbf{e}_{(FG)i} + l_{(GH)ij} \mathbf{e}_{6ij} - l_{(FH)ij} \mathbf{e}_{(FH)ij} = 0, \quad (52)$$

мұндағы

$$l_{(FH)ij} = \left[(X_{Hij} - X_F)^2 + (Y_{Hij} - Y_F)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (53)$$

$$\varphi_{(FH)ij} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{Hij} - Y_F}{X_{Hij} - X_F}. \quad (54)$$

$$\begin{bmatrix} X_{Hij} \\ Y_{Hij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Dj} \\ Y_{Dj} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{4ij} & -\sin \varphi_{4ij} \\ \sin \varphi_{4ij} & \cos \varphi_{4ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_H^{(4)} \\ y_H^{(4)} \end{bmatrix}. \quad (55)$$

$l_{(GH)ij} \mathbf{e}_{6ij}$ өрнекті (52) теңдеудің оң жағына көшіріп, екі жағын квадраттап аламыз, содан

$$\varphi_{(FG)i} = \varphi_{(FH)ij} - \cos^{-1} \frac{l_{FG}^2 + l_{(FH)ij}^2 - l_{GH}^2}{2l_{FG}l_{(FH)ij}}. \quad (56)$$

Содан кейін 5 кіріс буынының орнын анықтайтын φ_{5i} бұрышты келесі теңдеумен есептейміз

$$\varphi_{5i} = \varphi_{(FG)_i} + \operatorname{tg}^{-1} \frac{y_G^{(5)}}{x_G^{(5)}}. \quad (57)$$

2.4 ПМ1 сандық нәтижелері және 3D модельдеу

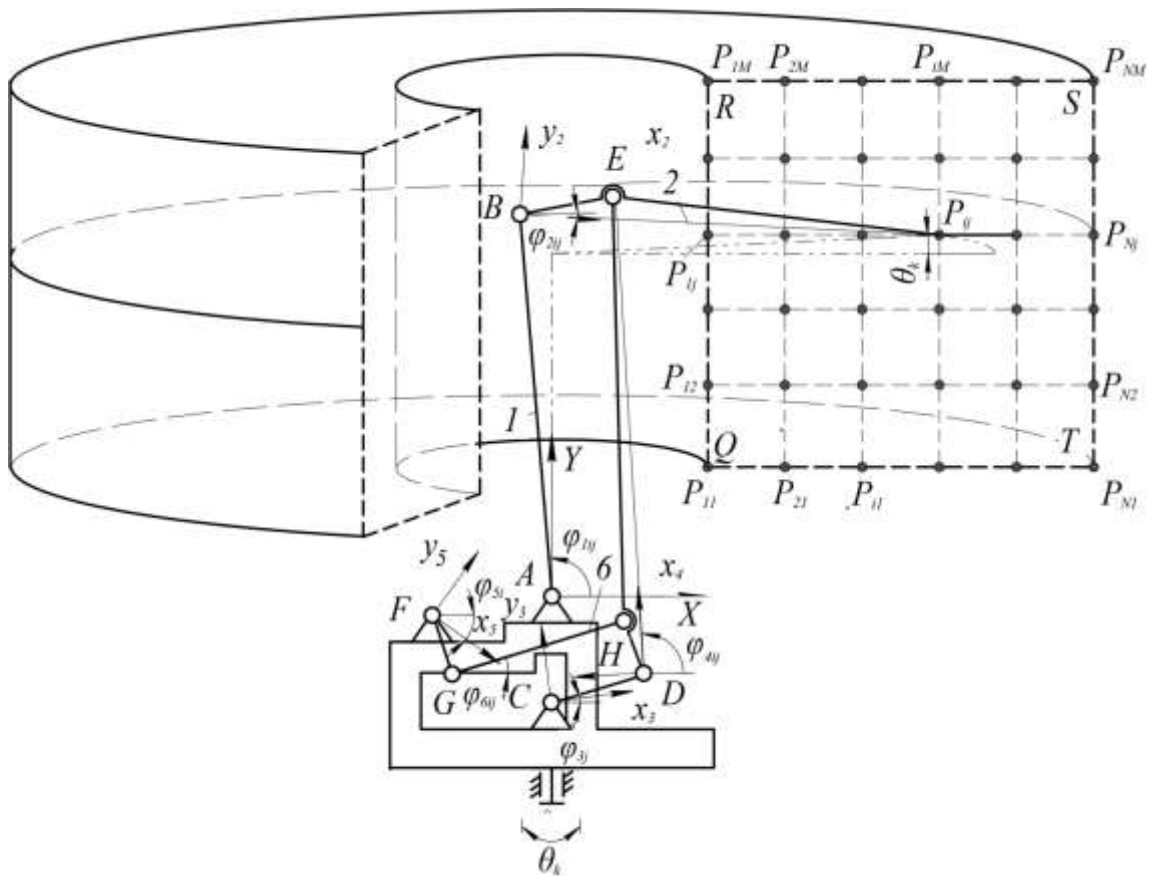
Әзірленген әдістер негізінде RoboMech класының параллель манипуляторы синтезделеді, оның шығу нүктесі P тікбұрышты $QRST$ -де абсолютті координаталар жүйесі AXY жазықтығында жатқан тік және көлденең сызықтар қатарын шығарады (Сурет 14). Q , T нүктелерінің координаталары және осы $QRST$ төртбұрышының QR биіктігі, сондай-ақ тік және көлденең сызықтардың M және N сандары келесі мәндерге ие:

$$\begin{aligned} X_Q &= 43.00, Y_Q = 33.00, X_T = 137.00, \\ Y_T &= 33.00, QR = 99.00, M = 11, N = 11. \end{aligned}$$

Параметрлік синтездің алынған мәндері:

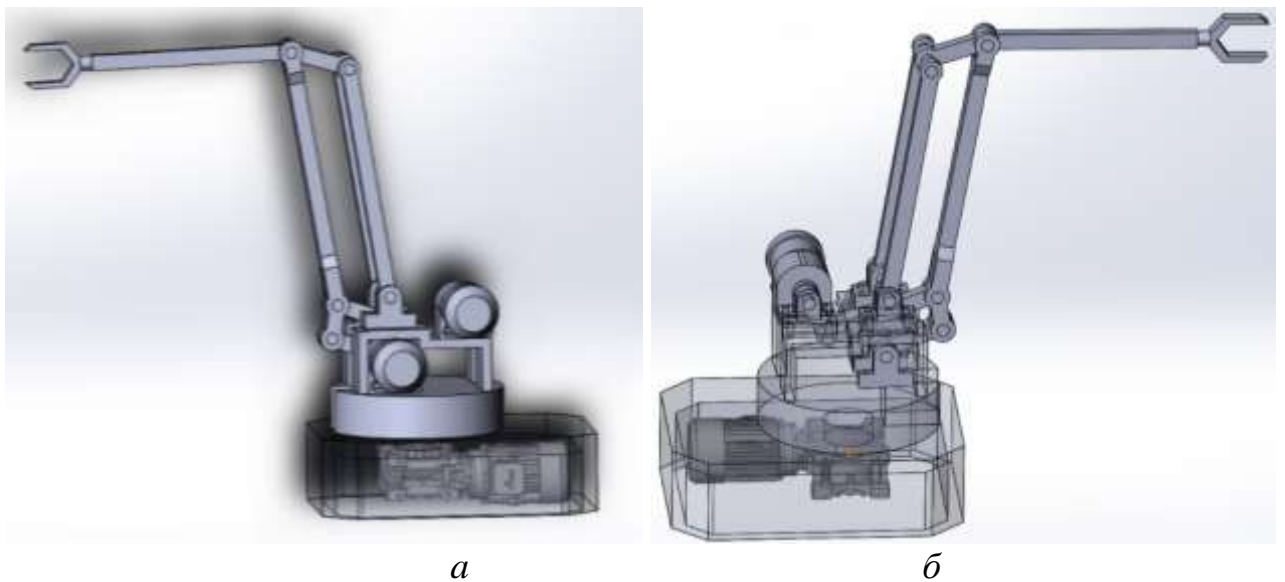
$$\begin{aligned} l_{AB} &= 98.67, l_{BP} = 108.69, X_C = -0.18, Y_C = -27.54, x_D^{(3)} = 24.6, y_D^{(3)} = 3.62, \\ x_E^{(2)} &= 23.64, y_E^{(2)} = 5.85, l_{DE} = 123.75, X_F = -31.03, Y_F = -4.9, x_G^{(5)} = 13.54, \\ y_G^{(5)} &= -9.84, x_H^{(4)} = 13.85, y_H^{(4)} = 4.31, l_{GH} = 46.56. \end{aligned}$$

ALATAU ЖШС “DOC Co.LTD” пресс форма шығарумен айналысатын заводтағы салмағы 50-100 кг болатын дайындаманы цилиндрлік координаталар жүйесі бойынша HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің жұмыс аймағына беру және алу үшін пайдаланылатын жұмыс аймағына лайықтау үшін манипуляторды есепте шешкен мәндерін масштабпен 12 есе үлкейтеміз.



Сурет 13 – Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ

Сурет – 14 синтезделген параллельді манипулятордың 3D CAD моделінің екі көрінісін көрсетілген.



а *б*
а - сол жақтың көрінісі; б - оң жақтың көрінісі

Сурет 14 – Параллель манипулятордың 3D CAD моделі:

Кіріс бұрыштарының φ_{3j} және φ_{5i} (тікелей кинематика) берілген мәндеріндегі P шығыс нүктесінің $X_{P_{ij}}$, $Y_{P_{ij}}$ координаталарының алынған мәндері 1-кестеде көрсетілген. 3-кестеде шығыс бұрыштардың φ_{5i} , φ_{3j} берілген кездегі кіріс нүктесінің P $X_{P_{ij}}$, $Y_{P_{ij}}$ координаталары (кері кинематика) алынған мәндері көрсетілген.

Кесте 3- Кіріс бұрыштары $\varphi_{5i}, \varphi_{3i}$ мен шығыс нүктесінің P координаталары

i	j	φ_{5i}	φ_{3j}	$X_{P_{ij}}$	$Y_{P_{ij}}$
1	2	3	4	5	6
1	1	-95°	-16°	43.39	33.04
1	2	-95°	-10°30'	44.02	43.01
1	3	-95°	-5°	44.14	53.13
1	4	-95°	0	44	62.33
1	5	-95°	5°	43.77	71.51
1	6	-95°	10°30'	43.53	81.63
1	7	-95°	16°	43.35	91.78
1	8	-95°	21°30'	43.24	101.99
1	9	-95°	27°	43.2	112.39
1	10	-95°	32.30'	43.23	122.36
1	11	-95°	38°	43.36	132.34
2	1	-91°30'	-16°	52.29	32.48
2	2	-91°30'	-10°30'	51.79	42.05
2	3	-91°30'	-5°	52.5	52.03
2	4	-91°30'	0	52.13	61.38
2	5	-91°30'	5°	52.88	70.77
2	6	-91°30'	10°30'	52.47	81.22
2	7	-91°30'	16°	53.1	91.68
2	8	-91°30'	21°30'	52.51	102.13
2	9	-91°30'	27°	52.81	112.53
2	10	-91°30'	32.30'	51.74	122.75
2	11	-91°30'	38°	51.34	132.77
3	1	-88°	-16°	58.88	32.48
3	2	-88°	-10°30'	59.74	42.03
3	3	-88°	-5°	60.42	51.86
3	4	-88°	0	60.82	61.13
3	5	-88°	5°	61.03	70.6
3	6	-88°	10°30'	61.07	81.14
3	7	-88°	16°	60.98	91.73
3	8	-88°	21°30'	60.78	102.3
3	9	-88°	27°	60.53	112.76

3-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
3	10	-88°	32.30'	60.29	122.03
3	11	-88°	38°	60.14	133
4	1	-84°	-16°	68.65	33.42
4	2	-84°	-10°30'	69.28	42.47
4	3	-84°	-5°	69.9	52.13
4	4	-84°	0	70.34	61.3
4	5	-84°	5°	70.63	70.72
4	6	-84°	10°30'	70.77	81.26
4	7	-84°	16°	70.73	91.89
4	8	-84°	21°30'	70.55	102.48
4	9	-84°	27°	70.29	112.96
4	10	-84°	32.30'	70.01	123.2
4	11	-84°	38°	69.81	133.11
5	1	-80°	-16°	78.8	34,06
5	2	-80°	-10°30'	79.15	43.03
5	3	-80°	-5°	79.61	52.56
5	4	-80°	0	80.01	61.64
5	5	-80°	5°	80.3	70.98
5	6	-80°	10°30'	80.46	81.47
5	7	-80°	16°	80.45	92.06
5	8	-80°	21°30'	80.31	102.62
5	9	-80°	27°	80.07	113.04
5	10	-80°	32.30'	79.8	123.21
5	11	-80°	38°	79.61	133.01
6	1	-76°	-16°	89.16	34.7
6	2	-76°	-10°30'	89.24	43.75
6	3	-76°	-5°	89.52	53.24
6	4	-76°	0	89.82	62.21
6	5	-76°	5°	90.07	71.43
6	6	-76°	10°30'	90.22	81.77
6	7	-76°	16°	09.24	92.19
6	8	-76°	21°30'	90.12	102.59
6	9	-76°	27°	89.92	112.82
6	10	-76°	32.30'	89.7	122.75
6	11	-76°	38°	89.57	133.25
7	1	-72°	-16°	99.59	34.7
7	2	-72°	-10°30'	99.44	43.75
7	3	-72°	-5°	99.55	53.24
7	4	-72°	0	99.75	62.21
7	5	-72°	5°	99.94	71.43
7	6	-72°	10°30'	100.08	81.77

3-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
7	7	-72°	16°	100.1	92.19
7	8	-72°	21°30'	100.03	102.59
7	9	-72°	27°	99.88	112.82
7	10	-72°	32.30'	99.72	122.75
7	11	-72°	38°	99.67	132.25
8	1	-68°	-16°	109.95	34.62
8	2	-68°	-10°30'	109.64	43.79
8	3	-68°	-5°	109.62	53.33
8	4	-68°	0	109.73	62.3
8	5	-68°	5°	109.87	71.49
8	6	-68°	10°30'	109.99	81.76
8	7	-68°	16°	110.04	92.11
8	8	-68°	21°30'	110.01	102.41
8	9	-68°	27°	109.92	112.53
8	10	-68°	32.30'	109.85	122.34
8	11	-68°	38°	109.89	131.69
9	1	-64°	-16°	120.13	34.32
9	2	-64°	-10°30'	119.73	43.63
9	3	-64°	-5°	119.63	53.25
9	4	-64°	0	119.69	62.24
9	5	-64°	5°	119.81	71.42
9	6	-64°	10°30'	120.02	81.66
9	7	-64°	16°	120.01	91.95
9	8	-64°	21°30'	120.02	102.17
9	9	-64°	27°	120.01	112.2
9	10	-64°	32.30'	120.01	121.91
9	11	-64°	38°	120.13	131.18
10	1	-60°	-16°	130.02	33.88
10	2	-60°	-10°30'	129.6	43.33
10	3	-60°	-5°	129.49	53.05
10	4	-60°	0	129.54	62.09
10	5	-60°	5°	129.66	71.29
10	6	-60°	10°30'	129.81	81.52
10	7	-60°	16°	129.93	91.78
10	8	-60°	21°30'	130	101.97
10	9	-60°	27°	130.05	111.97
10	10	-60°	32.30'	130.1	121.7
10	11	-60°	38°	130.18	131.08
11	1	-56°	-16°	139.52	33.39
11	2	-56°	-10°30'	139.15	42.99
11	3	-56°	-5°	139.08	52.8

3-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
11	4	-56°	0	139.17	61.94
11	5	-56°	5°	139.33	71.14
11	6	-56°	10°30'	139.53	81.46
11	7	-56°	16°	139.7	91.76
11	8	-56°	21°30'	139.82	102.01
11	9	-56°	27°	139.88	112.15
11	10	-56°	32.30'	139.84	122.18
11	11	-56°	38°	139.54	130.02

Кесте 4 - Кіріс нүктесінің P координаталары және шығыс бұрыштары φ_{5i} , φ_{3j} мәндері

i	J	φ_{5i}	φ_{3j}	$X_{P_{ij}}$	$Y_{P_{ij}}$
1	2	3	4	5	6
1	1	-95°11'	-16°4'	43	33
1	2	-95°28'	-10°38'	43	43
1	3	-95°29'	-5°12'	43	53
1	4	-95°23'	0°16'	43	63
1	5	-95°17'	5°46'	43	73
1	6	-95°11'	11°14'	43	83
1	7	-95°8'	16°39'	43	93
1	8	-95°5'	22°3'	43	103
1	9	-95°5'	27°26'	43	113
1	10	-95°6'	32°51'	43	123
1	11	-95°10'	38°23'	43	133
2	1	-90°34'	-15°42'	53	33
2	2	-90°58'	-9°57'	53	43
2	3	-91°12'	-4°28'	53	53
2	4	-91°18'	0°53'	53	63
2	5	-91°19'	6°11'	53	73
2	6	-91°17'	11°27'	53	83
2	7	-91°13'	16°42'	53	93
2	8	-91°9'	21°57'	53	103
2	9	-91°4'	27°14'	53	113
2	10	-91°	32°36'	53	123
2	11	-90°59'	38°7'	53	133
3	1	-86°17'	-16°1'	63	33
3	2	-86°39'	-10°	63	43
3	3	-86°56'	-4°24'	63	53
3	4	-87°6'	0°59'	63	63

4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
3	5	-87°11'	6°15'	63	73
3	6	-87°12'	11°28'	63	83
3	7	-87°10'	16°39'	63	93
3	8	-87°5'	21°51'	63	103
3	9	-86°49'	27°6'	63	113
3	10	-86°53'	32°27'	63	123
3	11	-86°17'	37°58'	63	133
4	1	-82°15'	-16°27'	73	33
4	2	-82°29'	-10°19'	73	43
4	3	-82°44'	-4°35'	73	53
4	4	-82°55'	0°52'	73	63
4	5	-83°2'	6°10'	73	73
4	6	-83°5'	11°23'	73	83
4	7	-83°4'	16°33'	73	93
4	8	-82°59'	21°45'	73	103
4	9	-82°53'	27°	73	113
4	10	-82°47'	32°23'	73	123
4	11	-82°42'	37°57'	73	133
5	1	-78°22'	-16°49'	83	33
5	2	-78°28'	-10°38'	83	43
5	3	-78°38'	-4°50'	83	53
5	4	-78°48'	0°41'	83	63
5	5	-78°54'	6°2'	83	73
5	6	-78°58'	11°16'	83	83
5	7	-78°57'	16°28'	83	93
5	8	-78°54'	21°41'	83	103
5	9	-78°48'	26°59'	83	113
5	10	-78°42'	32°24'	83	123
5	11	-78°38'	38°3'	83	133
6	1	-74°33'	-17°1'	93	33
6	2	-74°31'	-10°52'	93	43
6	3	-74°31'	-5°3'	93	53
6	4	-74°44'	0°31'	93	63
6	5	-74°49'	5°54'	93	73
6	6	-74°52'	11°11'	93	83
6	7	-74°53'	16°26'	93	93
6	8	-74°50'	21°41'	93	103
6	9	-74°45'	27°1'	93	113
6	10	-74°41'	32°31'	93	123
6	11	-74°38'	38°15'	93	133
7	1	-70°43'	-17°4'	103	33

4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
7	2	-70°37'	-10°58'	103	43
7	3	-70°38'	-5°10'	103	53
7	4	-70°42'	0°25'	103	63
7	5	-70°47'	5°50'	103	73
7	6	-70°49'	11°9'	103	83
7	7	-70°50'	16°26'	103	93
7	8	-70°48'	21°45'	103	103
7	9	-70°45'	27°9'	103	113
7	10	-70°42'	32°43'	103	123
7	11	-70°42'	38°33'	103	133
8	1	-66°51'	-16°57'	113	33
8	2	-66°41'	-10°57'	113	43
8	3	-66°39'	-5°11'	113	53
8	4	-66°42'	0°23'	113	63
8	5	-66°45'	5°49'	113	73
8	6	-66°48'	11°10'	113	83
8	7	-66°49'	16°30'	113	93
8	8	-66°48'	21°51'	113	103
8	9	-66°47'	27°19'	113	113
8	10	-66°46'	32°58'	113	123
8	11	-66°48'	38°54'	113	133
9	1	-62°53'	-16°43'	123	33
9	2	-62°42'	-10°49'	123	43
9	3	-62°39'	-5°6'	123	53
9	4	-62°40'	0°26'	123	63
9	5	-62°43'	5°52'	123	73
9	6	-62°46'	11°14'	123	83
9	7	-62°48'	16°36'	123	93
9	8	-62°49'	21°59'	123	103
9	9	-62°49'	27°30'	123	113
9	10	-62°50'	33°11'	123	123
9	11	-62°53'	39°10'	123	133
10	1	-58°47'	-16°26'	133	33
10	2	-58°36'	-10°37'	133	43
10	3	-58°33'	-4°59'	133	53
10	4	-58°35'	0°32'	133	63
10	5	-58°38'	5°25'	133	73
10	6	-58°42'	10°47'	133	83
10	7	-58°45'	16°9'	133	93
10	8	-58°48'	21°33'	133	103
10	9	-58°49'	27°3'	133	113

4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
10	10	-58°50'	32°42'	133	123
10	11	-58°51'	38°30'	133	133
11	1	-54°29'	-16°39'	143	33
11	2	-54°20'	-10°57'	143	43
11	3	-54°19'	-5°23'	143	53
11	4	-54°23'	0°32'	143	63
11	5	-54°28'	5°27'	143	73
11	6	-54°34'	10°46'	143	83
11	7	-54°38'	16°6'	143	93
11	8	-54°41'	21°26'	143	103
11	9	-54°42'	26°48'	143	113
11	10	-54°38'	32°8'	143	123
11	11	-54°19'	37°4'	143	133

Нәтижелерді талдау P нүктесі қозғалысының ортогональды траекториялардан максималды ауытқуы 1,65% екенін көрсетеді.

2.5 Беріктікке есептеу

SolidWorks бағдарламалық жүйесінде конструкцияны беріктікке талдау және құрылымының жүктемесін анықтау

Программа арқылы біз салмағы 50-100кг болатын дайындаманың максималды салмағын алып 100 кг яғни 980.665 Н жуықтап 1000 Н деп алып ПМ-дың конструкциясына, P шығыс нүктесіне күш қылып түсіреміз. Сонымен қатар ауырлық күші де ескерілген. Конструкцияның материалы Сталь 3. Нәтижелері 15-19 суреттерде берілген.

Төмендегі есепте келесі мәліметтер көрсетілген:

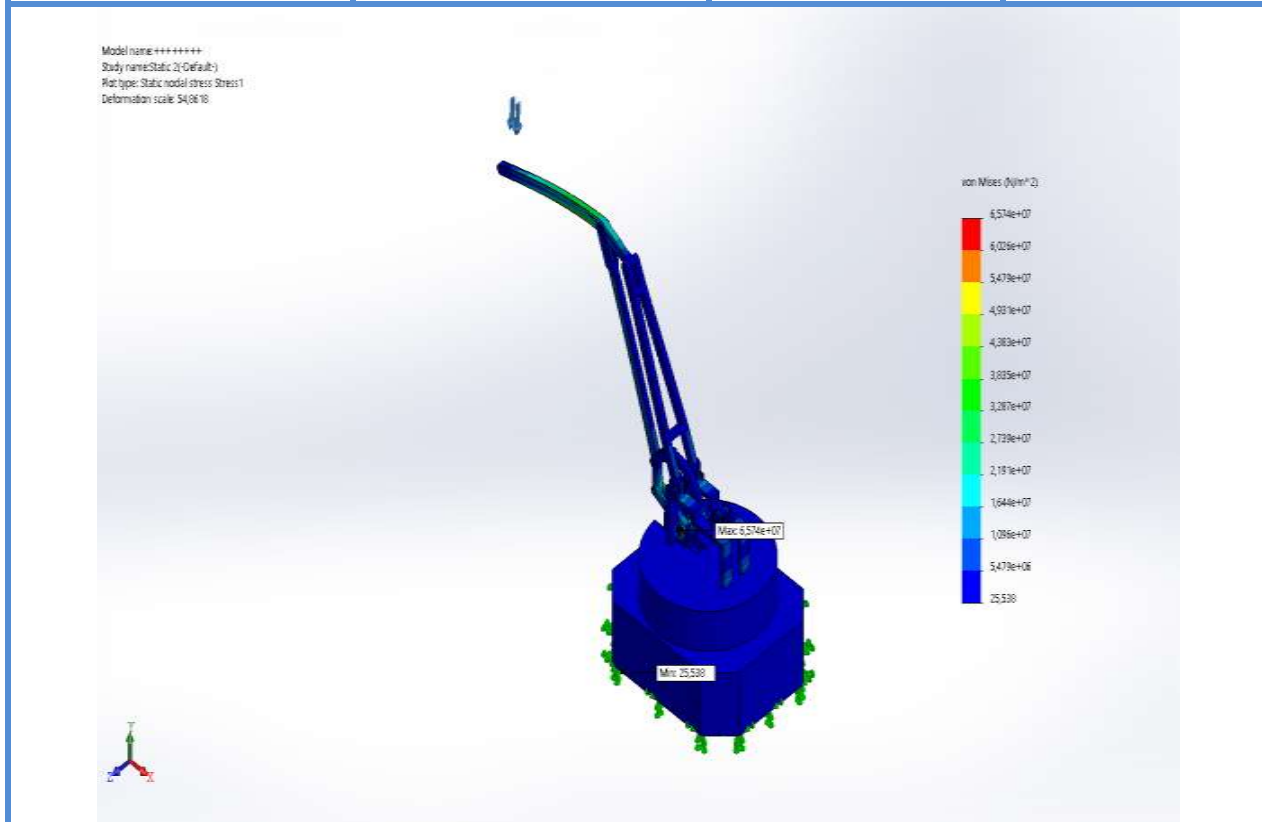
- Конструкцияның беріктік қоры коэффициенті- мин. 2.870, макс. 1.132;
- Кернеуі – макс 86.462 МПа, мин. 1.95 МПа;
- Орын ауыстыру – макс 8.150 мм;
- Деформациясы– макс 3.68, мин. 9.854.

Тор түрі	Solid Mesh
Пайдаланылатын бөлу:	Standard mesh
Якобиан нүктелері	4 нүкте
Элемент өлшемі	67,2825 mm
Допуск	3,36413 mm
Тор сапасы	Жоғары



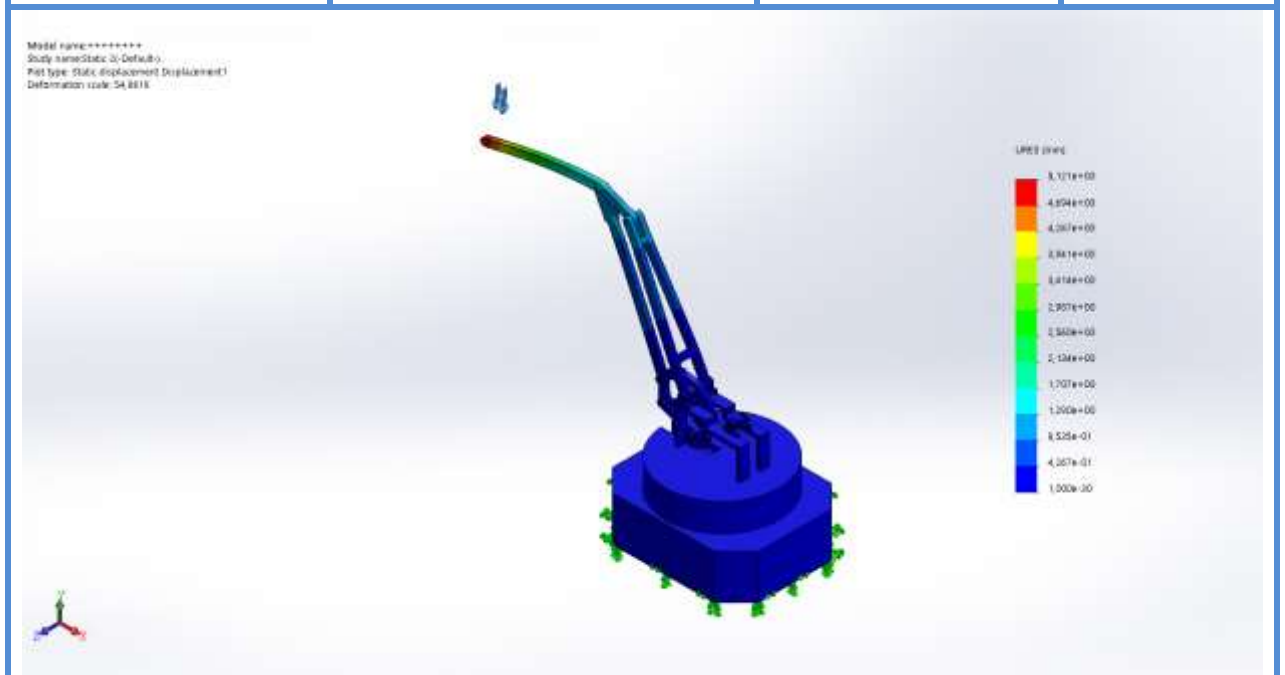
Сурет 15 - Есептеу үшін тор құру

Name	Type	Min	Max
Кернеуі	VON: von Mises Stress	25,538 N/m ² Node: 23558	6,574e+07 N/m ² Node: 10684



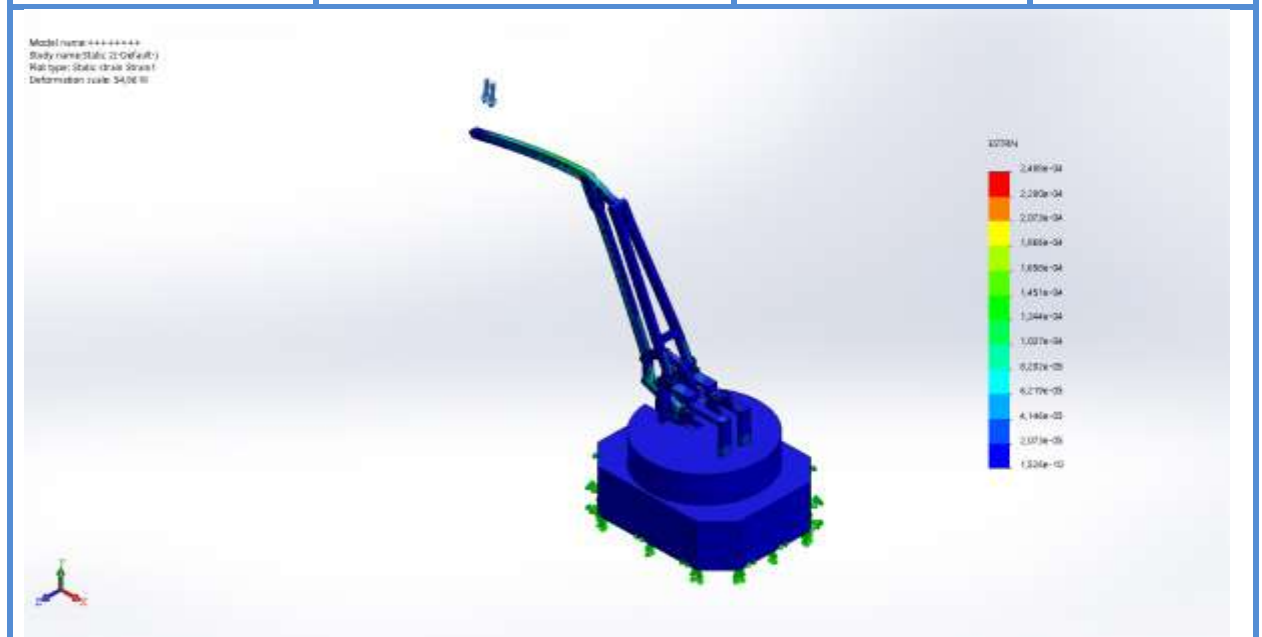
Сурет 16 - Статикалық анализ. Кернеу

Name	Type	Min	Max
Орын ауыстыру	URES: Resultant Displacement	0,000e+00 mm Node: 12259	5,121e+00 mm Node: 1182

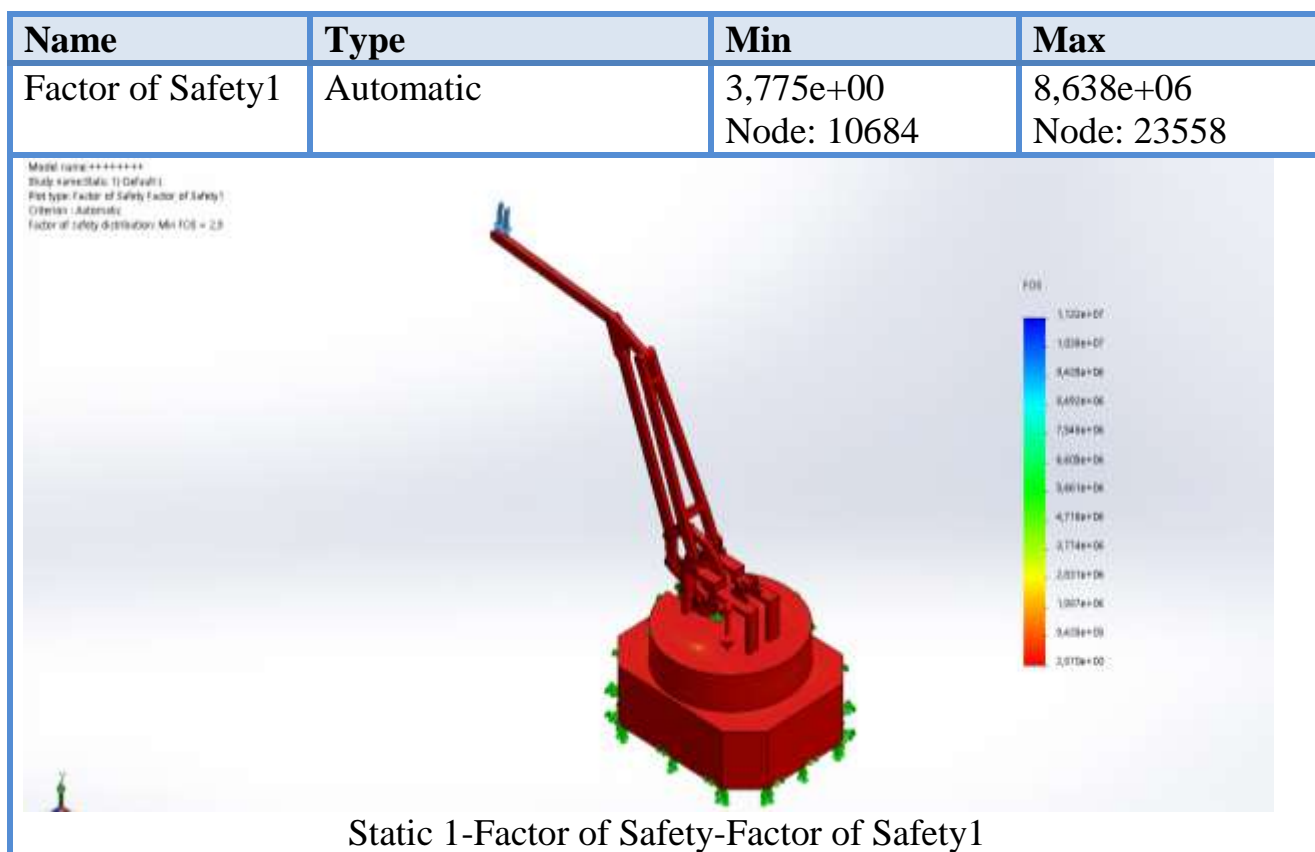


Сурет 17 - Статикалық анализ. Орын ауыстыру

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	1,526e-10 Element: 12713	2,488e-04 Element: 430



Сурет 18 - Статикалық анализ. Деформация **ESTRN**



Сурет 19 – Статикалық анализ. Беріктік қоры коэффициенті

Беріктік қоры коэффициенті – ПМ конструкциясын есептелген жүктемелерден жоғары жүктемелерге төтеп беру қабілетін көрсететін мән. Қауіпсіздік маржасының болуы дизайнның, өндірістің немесе пайдаланудың мүмкін қателіктері болған жағдайда зақымдануды және бұзылуды болдырмау үшін құрылымның қосымша сенімділігін қамтамасыз етеді.

Қор коэффициенті бірден кем болмауы керек. Адам өміріне қауіпі бар адам тасымалдайтын, көтеру түсіру сияқты адам тасуға қатысы бар жүк көтергіш тасымалдығыш манипулятордың беріктік қоры коэффициенті 4-6 болады, ал біздің жағдайда Беріктік қоры коэффициенті 2 – 4 аралығында болса жеткілікті.

Біздің статикалық анализ нәтижесіне сүйене келе біздің ПМ конструкциясының беріктік қоры коэффициенті жеткілікті және біздің конструкция іске жарамды екенін дәлелденіп отыр.

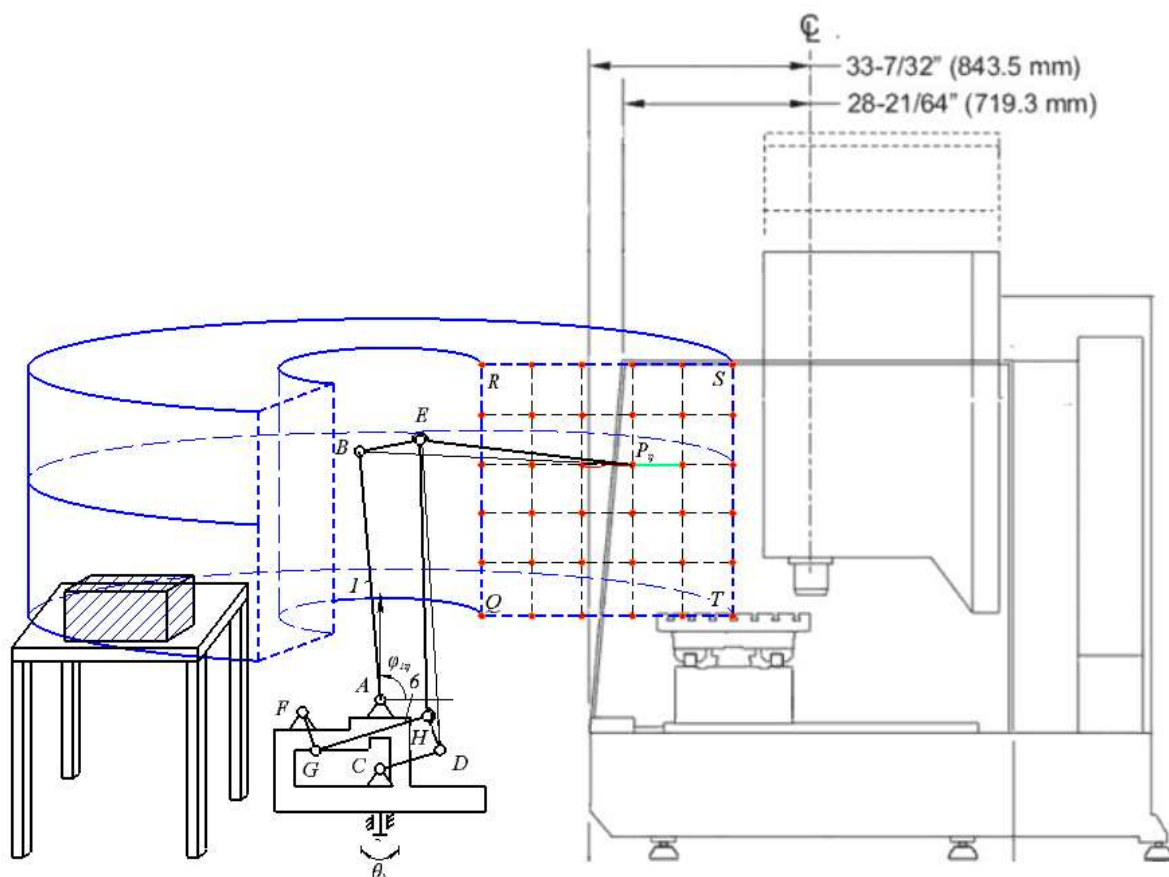
2.6 Қолдану перспективасы

ПМ-ді ALATAU ЖШС “DOC Co.LTD” пресс форма шығарумен айналысатын заводтағы салмағы 50-100 кг болатын дайындаманы цилиндрлік координаталар жүйесі бойынша HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің жұмыс аймағына беру және алу үшін пайдаланамыз (20,21 суреттер).



Сурет 20 - HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің

HAAS VM3 сериясы қалып пен қалып жасау үшін дәлдікті, қаттылықты және температура тұрақтылығын, сондай-ақ басқа салаларда жоғары дәлдікті қамтамасыз ететін жоғары өнімді тік өңдеу центрі болып табылады. Әрбір машинада үлкен жұмыс кеңістігі, әртүрлі иектерге арналған үстел және 12 000 айн/мин айналу жылдамдығы бар интегралды тікелей жетек шпиндель бар. Стандартты мүмкіндіктерге толық алдын ала қарауы бар Haas жоғары жылдамдықты басқару қорабы, бүйіріне орнатылған құрал ауыстырғышы, бағдарламаланатын салқындатқыш саптама, автоматты пневматикалық пистолет және т.б. кіреді.



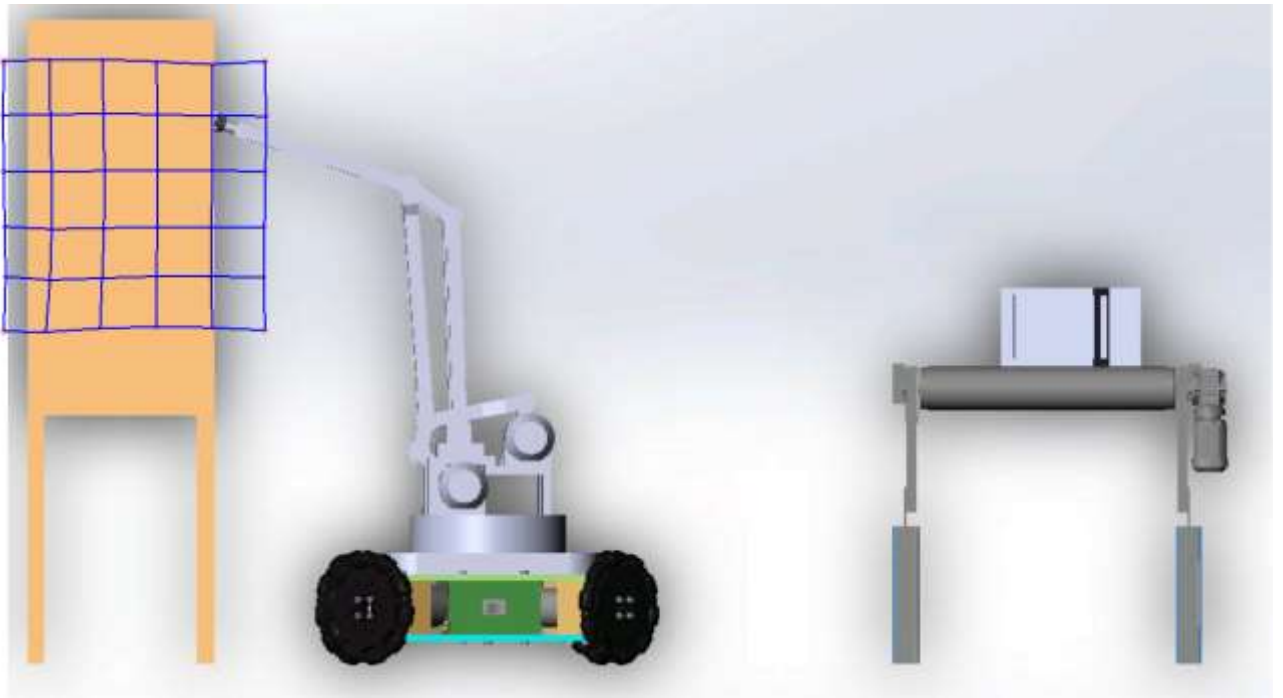
Сурет 21 - HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центріндегі ПМ

Цилиндрлік координаттар жүйесінде сұрыптаушы параллельді робот ретінде жұмыс істейтін PM1 жұмыс принципі (1-ші пайдалану).

Заманауи роботтық технология өнімдерді іздеуге, жіктеуге, ұстауға және жылжытуға мүмкіндік береді. Құрылғыға бекітілген камера ақпаратты сканерлеуге және өңдеуге көмектеседі. Параллельді робот-сұрыптаушы тауардың координаталарын, түсін, өлшемдерін анықтайды, компьютерге қосылған контроллерлердің басқаруымен жұмыс істейді. Бақылау үшін арнайы жүйе қолданылады. Ұстау және жылжыту негізінен бұйымдарды (дайындамаларды және т.б.) сақтауға ыңғайлы және цилиндрлік координаттар жүйесінде өз осінің айналасында айналатын ортогональды жолдар бойымен жұмыс істейтін параллельді манипулятордың көмегімен жүзеге асырылады.

ПМ жұмыс аймағы.

Сериялық роботтардан параллель сұрыптаушы роботтың артықшылығы оның орналасу дәлдігі, жылдамдығы және жоғары көтеру қабілеті болып табылады. Төмендегі 24 суретте ПМ жұмыс аймағы көрсетілген



Сурет 22 - РМ жұмыс аймағы



1 – конвейер желісі, 2 – сұрыптау және сақтау объектілері, 3 – сақтау және сұрыптауға арналған параллельді робот, 4 – сақтау шкафы.

Сурет 23 - Сақтау шкафы мен конвейер желісі бар сұрыптаушы параллельді роботтың 3D CAD моделі

Жүйені модельдеу нәтижелері бойынша (23-сурет) сақтау және сұрыптау үшін объектілерді манипуляциялау мүмкіндігі көрсетілген (22-сурет): шаршы, цилиндр т.б. Нысанның пішініне қарай әр түрлі ұстағыш бастарды немесе әмбебап бастарды қолдануға болады.

Сұрыптау робототты қолданылуы

1. Өнеркәсіптік сектор. Роботтық құрылғылар машина жасау саласындағы әртүрлі құрылғыларды жасау үшін ортаңғы бөліктер мен элементтерді бір-бірінен сұрыптауға мүмкіндік береді.

2. Логистика. Қоймада тауарды сұрыптау кезінде автоматтандырылған жүйе таптырмас автоматтандыру болып келеді. Роботтық жинау жасанды интеллект арқылы көптеген процестерді айтарлықтай жеңілдетеді, тауарларды жинауды, орауды және жөнелтуді жылдамдатады.

Бүгінгі таңда өз өндірісінің тиімділігіне және өнімдерінің мінсіз сапасына сенетін барлық компаниялар жинақтау және сұрыптау роботтарын сатып алады. Икемді автоматтандырылған өндіріс жүйелері еңбек өнімділігін арттыруға және сапаны айтарлықтай жақсартуға және дайын өнімнің өзіндік құнын төмендетуге көмектеседі. Манипуляциялық роботтар функционалдық мүмкіндіктердің барлық спектрімен біріктіру өнімді орау, сұрыптау және қабылдау сияқты процедураларды жылдамдатады.

Параллель сұрыптаушы роботтың артықшылықтары.

Параллельді робот сұрыптаушыны орнату кезінде бұл жабдықтың ең үлкен әсері айналым жылдамдығы жоғары қоймаларда байқалады, Қазақстан транзитті мемлекет ретінде сауда алаңында жатқан себепті елімізде осындай сорттау сұрыптау жұмыстары автоматтандырылған қоймаларды пайдалану актуалды болып есептеледі.

1. Минимумын қойма жұмысшыларын пайдалану.

2. Адам факторымен байланысты кідірістердің болмауына байланысты жүктерді өңдеудің жоғары жылдамдығы.

3. Тауарларды мекенжайлық сақтау жүйесін енгізу арқылы қателерді азайту.

4. Барлық тауарлардың тұрақты мекен жайда болуы. Қажетті қорапты қолмен іздеудің қажеті жоқ, оның идентификаторын енгізу жеткілікті және механизм оны кідіріссіз алады.

5. Адам еңбегін азайту ұрлау және өңдеу кезінде пакеттердің зақымдалу қаупін азайтады.

6. Жоғары көтеру қабілеті және бөлме биіктігін максималды пайдалану.

7. Жылыту шығындарын азайту, еңбекті қорғау және қоймашыларды оқыту.

8. Бөлменің параметрлері бойынша жабдықты орнатудың икемділігі, оны жаңғырту мүмкіндігі.

Аталған артықшылықтар операциялық шығындар мен тауарлардың бағасын айтарлықтай төмендетуі мүмкін.

Екінші бөлім бойынша қорытынды

Екінше бөлімде цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ1-ді ALATAU заводындағы дайындаманы беру және алу жұмыстарын орындау үшін HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің өлшемдерін ескеріп жұмыс аймағын анықтап ПМ1-ді зерттеп, құрылымдық параметрлік

синтезі, кинематикасы және сандық нәтижелері мен 3D моделі және беріктікке Solid Works бағдарламалық жүйесінде есептелді. Сондай ақ ПМ-ді тағы да пайдалануға болатын бірнеше мысалдар келтірілді.

Орындалған зерттеулер цилиндрлік координаттар жүйесіндегі синтезделген параллель манипулятордың шығыс нүктесінің қозғалысының үш түрін көрсетеді, яғни екі ортогональды бағыттағы қозғалыстар және тік ось айналасындағы айналулар, қозғалыстар бөлек жетектер арқылы жүзеге асырылады. Демек, бұл жағдайда жетектердің функционалдық тәуелсіз жұмысы бар, бұл олардың кинематикалық және динамикалық тәуелсіздігіне әкеледі. Қолданыстағы манипуляциялық роботтарды жобалау әдістерінде жетектердің қозғалыс заңдылықтарын бақылау барлық үш жетектің бір мезгілде жұмыс істеуімен кері кинематикалық есептерді шешу арқылы анықталады. Сондықтан осы диссертациядағы ұсынылған параллельді манипуляторларды жобалау тәсілі басқару жүйесін жеңілдетеді және динамикалық сипаттамаларды жақсартады. Дегенмен, бұл ретте манипуляторлар белгілі бір құрылымдық схемалармен және буындардың геометриялық параметрлерімен жұмыс істейді және бұл құрылымдық және параметрлік синтездің арнайы әдістерін қажет етеді. Құрылымдық параметрлік синтездің әзірленген әдістері күрделі құрылымның параллельді манипуляторларын синтездеу мәселесін олардың жеке құрылымдық модульдерін синтездеу үшін ішкі есептерге бөлуге мүмкіндік береді. Бұл әдістерді кеңістіктік платформалық параллель манипуляторларға қатысты әзірлеу ұсынылады.

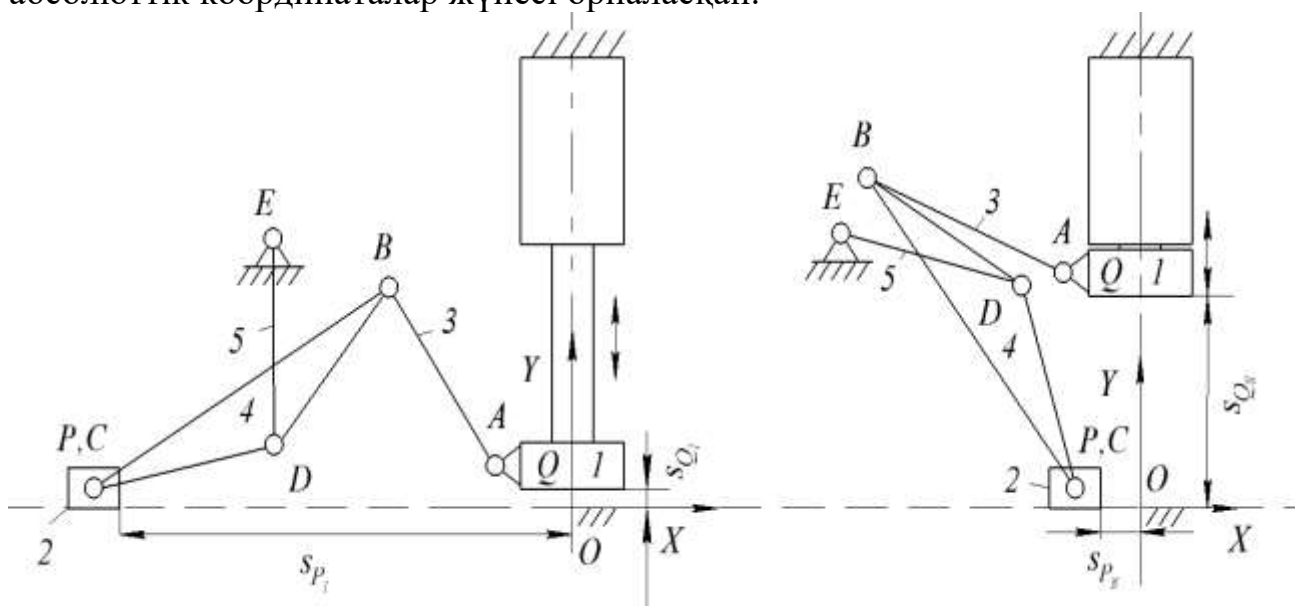
Статикалық анализ нәтижесіне сүйене ПМ конструкцияның беріктік қоры коэффициенті - мин. 2.870, макс. 1.132 жеткілікті екені және біздің конструкция іске жарамды екенін дәлелденіп отыр.

Қолдану аймақтарына келетін болсақ ПМ-ді ALATAU ЖШС “DOC Co.LTD” пресс форма шығарумен айналысатын заводтағы салмағы 50-100 кг болатын дайындаманы цилиндрлік координаталар жүйесі бойынша HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің жұмыс аймағына беру және алу үшін манипуляторы ретінде пайдаланамыз.

3 ҚОССЫРҒАҚТЫ ПМ ҚПС ЖӘНЕ КИНЕМАТИКАЛЫҚ АНАЛИЗІ (ПМ2)

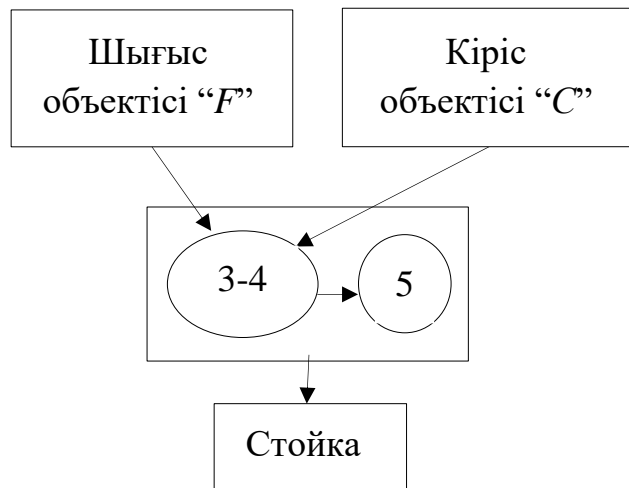
3.1 ПМ2 құрылымдық синтезі

Қоссырғақты ПМ құрылымдық-параметрлік синтезінің міндеті осы манипулятордың құрылымдық схемасын және геометриялық параметрлерін анықтау болып табылады, онда бірінші сырғақ (гидравликалық престің штогы) төменгі шеткі позицияны алады, екінші сырғақ *C* сол жақ шеткі позицияны алады (24а - сурет), сондай-ақ бірінші сырғақ жоғарғы шеткі позицияны алған кезде, екінші сырғақ *C* оң жақ шеткі позицияны алады (24б - сурет), мұндағы *F* гидравликалық пресс тетігінің төменгі жиегіндегі нүктені көрсетеді. Жүгірткілердің ыңғайлылығы үшін олардың қиылысу нүктесінде *OXY* абсолюттік координаталар жүйесі орналасқан.



Сурет 24 – *C* және *F* сырғақтарының шеткі позициялары

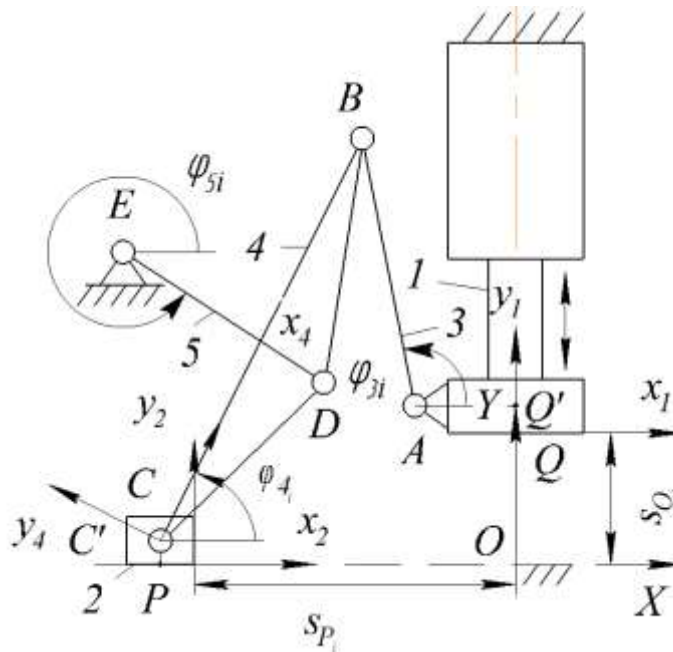
Жоғарыда атап өтілгендей, қоссырғақты ПМ қалыптастыру үшін, олардың көрсетілген позицияларын қамтамасыз ете отырып, біз айналмалы кинематикалық жұптары бар *ABC* диаданың көмегімен гидравликалық пресс штогын және *C* сырғымасын қосамыз. *ABC* диадасы нөлдік еркіндік дәрежесіне ие және пассивті ТКТ болып табылады, ол штамп пен сырғақтың *C* қозғалысына геометриялық шектеулер қоймайды. Сондықтан пассивті ТКТ *ABC F* және *C* сырғытпаларының көрсетілген қозғалыстарын жаңғыртуға мүмкіндік береді. Содан кейін теріс ТКТ болатын айналмалы кинематикалық жұптары бар *DE* бинарлы буыны арқылы *BC* буынын *ABC* диадасына тірекпен байланыстырамыз. Теріс ТКТ *DE F* және *C* сырғытпаларының қозғалыстарына бір геометриялық қатынасты жүктейді және нәтижесінде I (0,1) → III (3,4,2,5) құрылымдық формуласы бар ПМ (механизм) құрылымдық диаграммасын аламыз, мұндағы кинематикалық тізбек 3-4-2-5 үшінші класты Ассур тобына жатады [28, б. 730], 25 сурет бойынша



Сурет 25 – Қоссырғақты ПМ қалыптастыру блок схемасы

3.2 ПМ2 параметрлік синтезі

Қоссырғақты ПМ параметрлік синтезі үшін оның i -ші аралық орнын қарастырып, координаталық жүйелерді Fx_1y_1 және Cx_2y_2 сырғақтармен қатаң байланыстырамыз (26-сурет), олардың Fx_1 және Cx_2 осьтері OXY абсолюттік координаталар жүйесінің OX осіне параллель бағытталған. Содан кейін сырғақтардың қозғалыстары Fx_1y_1 және Cx_2y_2 координаталық жүйелерінің параметрлері s_{C_i} және s_{F_i} қозғалыстарымен анықталады, мұндағы $i=1,2,\dots, N$, ал N - алдын ала орнатылған позициялардың саны. Бұл ПМ екі сырғақтарының параметрлік синтезі оның блоктық құрылымына сәйкес (26 - сурет), 3-4 буындары бар пассивті ABC ТКТ параметрлік синтезінен және екілік буын 5 типті теріс ТКТ DE параметрінен тұрады.



Сурет 26 – C және F сырғақтарының аралық позициялары

Пассивті ТКТ ABC синтезінің параметрлері (байланыстардың геометриялық параметрлері) келесі вектормен сипатталады $\mathbf{p}_1 = [x_A^{(1)}, y_A^{(1)}, x_C^{(2)}, y_C^{(2)}, l_{AB}, l_{BC}]^T$, мұндағы $x_A^{(1)}, y_A^{(1)}$ және $x_C^{(2)}, y_C^{(2)}$ - A және C топсаларының қозғалмалы системадағы Fx_1y_1 және Cx_2y_2 координаталары, l_{AB} және l_{BC} AB және BC буындарының ұзындығы. Пассивті ТКТ ABC F және C сырғақтарының қозғалыстарына геометриялық байланыс орнатпайдықтан, оның синтез параметрлері беріледі. Теріс ТКТ DE пассивті ТКТ ABC AB және BC буындарының қозғалыстарына бір геометриялық қатынасты жүктейді, сондықтан оның синтез параметрлері теріс ТКТ DE синтез параметрлерін, пассивті ТКТ ABC синтезінің көрсетілген параметрлерін анықтау кезінде анықталады. LP_τ тізбегі арқылы өзгертіледі [29].

Теріс ТКТ DE параметрлік синтезін қарастырайық. Ол үшін әуелі буынының орнын анықтайтын φ_{4i} бұрышын өрнек арқылы анықтау керек.

$$\varphi_{4i} = \varphi_{(CA)i} \pm \cos^{-1} \frac{l_{BC}^2 + l_{(CA)i}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC}l_{(CA)i}}, \quad (58)$$

мұндағы

$$\varphi_{(CA)i} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{A_i} - Y_{C_i}}{X_A - X_{C_i}}, \quad (59)$$

$$l_{(CA)i} = [(X_A - X_{C_i})^2 + (Y_{A_i} - Y_{C_i})^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (60)$$

Координаты X_{A_i}, Y_{A_i} и X_{C_i}, Y_{C_i} шарниров A и C в абсолютной системе координат OXY в уравнениях (59) и (60) определяются выражениями

(59) және (60) теңдеулердегі OXY абсолютті координаталар жүйесіндегі координаталары X_{A_i}, Y_{A_i} және X_{C_i}, Y_{C_i} A және C топсаларының өрнектермен анықталады.

$$X_A = x_A^{(1)}, Y_{A_i} = s_{F_i} + y_A^{(1)}, X_{C_i} = -(s_{C_i} + x_C^{(4)}), Y_C = y_C^{(4)}. \quad (61)$$

(58) теңдеуіндегі «+» немесе «-» таңбасы ABC диадының жинақталуына байланысты таңдалады. Қарастырылып отырған ABC диядасын құрастыру үшін «+» белгісін таңдау қажет.

Cx_4y_4 координаталар жүйесін ABC диадасының CB буындарымен қосамыз, Cx_4 осі CB буынының бойымен бағытталған. Сонда теріс ТКТ DE синтезінің параметрлері $\mathbf{p}_2 = [x_E^{(4)}, y_E^{(4)}, X_D, Y_D, l_{DE}]^T$ векторы болып табылады,

мұндағы $x_E^{(4)}, y_E^{(4)}$ және X_D, Y_D сәйкесінше OXY және Cx_4y_4 координаталар жүйесіндегі E және D топсаларының координаталары.

OXY абсолют координаталар жүйесіндегі жазықтықтың қозғалысын Cx_4y_4 қарастырайық. Бұл жағдайда $E(x_E^{(4)}, y_E^{(4)})$ топса $D(X_D, Y_D)$ топса центрі және l_{DE} радиусы бар шеңбер доғасы бойымен қозғалады. Демек, қозғалыстағы жазықтықтың қозғалысына ВВ типті теріс ТКТ DE геометриялық қатынастың теңдеуі салыстырмалы айырмашылық ретінде өрнектеледі.

$$\Delta q_i = (X_{E_i} - X_D)^2 + (Y_{E_i} - Y_D)^2 - l_{DE}^2, \quad (62)$$

мұндағы X_{E_i} және Y_{E_i} өрнек арқылы анықталатын OXY абсолютті координаталар жүйесіндегі E топсасының координаталары.

$$\begin{bmatrix} X_{E_i} \\ Y_{E_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{4i} & -\sin \varphi_{4i} \\ \sin \varphi_{4i} & \cos \varphi_{4i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_E^{(2)} \\ y_E^{(2)} \end{bmatrix}. \quad (63)$$

(63) өрнекті (62) теңдеуге қойып, синтез параметрлерін ауыстырғаннан кейін

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_E^{(4)} \\ y_E^{(4)} \end{bmatrix}, \quad p_3 = \frac{1}{2} \left(X_D^2 + Y_D^2 + x_E^{(4)2} + y_E^{(4)2} - l_{ED}^2 \right) \quad (64)$$

(62) функциясы синтез параметрлерінің екі тобында $\mathbf{p}_2^{(1)} = [p_1, p_2, p_3]^T$ және $\mathbf{p}_2^{(2)} = [p_4, p_5, p_3]^T$ сызықты түрде өрнектеледі

$$\Delta q_i^{(k)}(\mathbf{p}_2^{(k)}) = \mathbf{g}_i^{(k)T} \mathbf{p}_2^{(k)} - g_{oi}^{(k)}, \quad k = 1, 2, \quad (65)$$

мұндағы $\mathbf{g}_i^{(k)}$ және $g_{oi}^{(k)}$ $\mathbf{p}_2^{(k)}$ векторының коэффициенті, бос мүшелердің қалған синтез параметрлеріне байланысты, келесі түрге ие

$$\mathbf{g}_i^{(1)} = - \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \\ 1 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \Gamma(\varphi_{4i}) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (66)$$

$$\mathbf{g}_i^{(2)} = \begin{bmatrix} \Gamma^{-1}(\varphi_{4i}) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Gamma(\varphi_{4i}) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (67)$$

$$\mathbf{g}_{oi}^{(1)} = -\frac{1}{2} [X_{C_i}^2 + Y_{C_i}^2] + [X_{C_i}, Y_{C_i}] \cdot \Gamma(\varphi_{4i}) \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \end{bmatrix}, \quad (68)$$

$$\mathbf{g}_{oi}^{(2)} = -\frac{1}{2} [X_{C_i}^2 + Y_{C_i}^2] - [X_{C_i}, Y_{C_i}] \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix}, \quad (69)$$

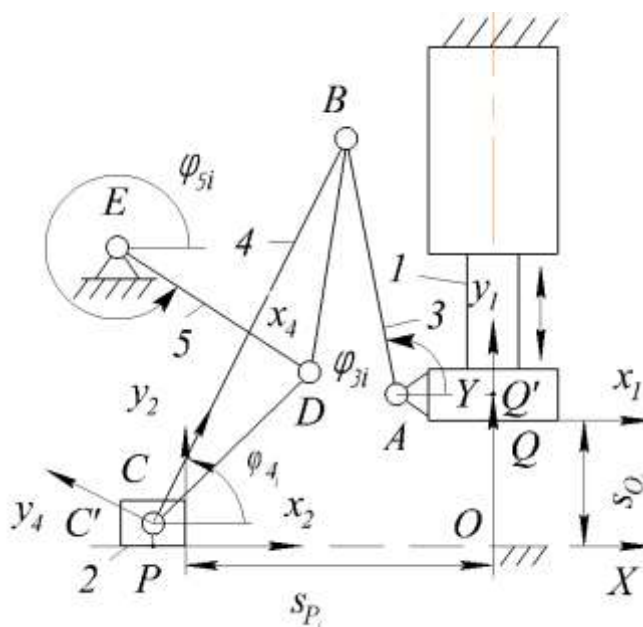
мұндағы $\Gamma(\alpha)$ – бұрылу матрицасы

$$\Gamma(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}. \quad (70)$$

Әрі қарай қарастырылатын ПМ2 синтездеу параметрлері осы жұмыстың 2.2-тармағында сипатталған квадраттық жуықтаулар негізінде анықталады.

3.3 ПМ2 кинематикалық анализі

27 - суретте қосырғақты ПМ-дің аралық позициясы көрсетілген



Сурет 27 – Қосырғақты ПМ-дің аралық позициясы

Кинематиканың тура есебінде берілген Q сырғағының S_{Q_i} позицияларына сәйкес (пуансон) P сырғағының S_{P_i} позицияларын анықтау қажет. Ал

кинематиканың кері есебіне Q сырғағының S_{Qi} позициялары P сырғағының берілген S_{Pi} позициялары арқылы анықталады.

Осы ПМ кинематикасының тура есебінің шешімін қарастырайық. Q кіріс тетігімен қарастырылатын ПМ2 құрылымдық формуласы

$$I(1) \rightarrow III(2,3,4,5), \quad (71)$$

ПМ2 құрамында бір сыртқы трансляциялық кинематикалық жұбы бар үшінші класты Ассур бар. Осы топтың позицияларының мәселесін шешу үшін шартты жалпыланған координаталар әдісін қолданамыз, оған сәйкес ED буынын алып тастап P сырғақты шартты жетекші буын ретінде алсақ, ПМ үшінші кластан структуралық формуласы (3.2)-де көрсетілген екінші класқа түрленеді.

$$I(1) \rightarrow II(3,4) \leftarrow I(2). \quad (72)$$

Қалдық функцияны құрастырайық (функцию невязки)

$$\Delta = l_{DE} - \tilde{l}_{DE}, \quad (73)$$

мұндағы - \tilde{l}_{DE} D және E ажыратылған қосылыстардың центрлерінің арасындағы айнымалы қашықтық, ол өрнекпен анықталады

$$\tilde{l}_{DE} = \left[(X_{Di} - X_E)^2 + (Y_{Di} - Y_E)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (74)$$

(74) координаталары X_{Di} және Y_{Di} D топсасы теңдеу арқылы анықталады

$$\begin{bmatrix} X_{Di} \\ Y_{Di} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Ci} \\ Y_{Ci} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{4i} & -\sin \varphi_{4i} \\ \sin \varphi_{4i} & \cos \varphi_{4i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_D^{(4)} \\ y_D^{(4)} \end{bmatrix}, \quad (75)$$

мұндағы

$$\begin{bmatrix} X_{Ci} \\ Y_{Ci} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(s_P + x_C^{(2)}) \\ y_C^{(2)} \end{bmatrix}. \quad (76)$$

В уравнении (61) $x_C^{(2)}$ и $y_C^{(2)}$ – координаты шарнира C в системе координат, жестко соединенной с ползуном P .

(61) теңдеуде $x_C^{(2)}$ және $y_C^{(2)}$ координаталар жүйесіндегі C топсасының координаталары P сырғағымен қатаң байланысқан.

(75) теңдеудегі φ_{4i} бұрышты анықтау үшін ABC диадасының орналасу есебін шығару керек. $ABCA$ контурының векторлық тұйықталу теңдеуін жазамыз.

$$l_{AB}\mathbf{e}_{3i} - l_{CDB}\mathbf{e}_{4i} + l_{(CA)i}\mathbf{e}_{(CA)i} = 0, \quad (77)$$

мұндағы

$$l_{(CA)i} = [(X_{A_i} - X_{C_i})^2 + (Y_{A_i} - Y_{C_i})^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (78)$$

$$\varphi_{(CA)i} = \text{tg}^{-1} \frac{Y_{A_i} - Y_{C_i}}{X_{A_i} - X_{C_i}}, \quad (79)$$

$$\begin{bmatrix} X_{A_i} \\ Y_{A_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_A^{(1)} \\ s_{Q_i} + y_A^{(1)} \end{bmatrix}. \quad (80)$$

$l_{AB}\mathbf{e}_{3i}$ өрнектерді (77) теңдеудің оң жағына көшіріп, екі жағын квадраттаймыз. Нәтижесінде

$$\varphi_{4i} = \varphi_{(CA)i} + \cos^{-1} \frac{l_{CB}^2 + l_{(CA)i}^2 - l_{AB}^2}{2l_{CB}l_{(CA)i}}, \quad (81)$$

Әрі қарай

$$\begin{bmatrix} X_{B_i} \\ Y_{B_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \end{bmatrix} + l_{CB} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{4i} \\ \sin \varphi_{4i} \end{bmatrix}, \quad (82)$$

$$\varphi_{3i} = \text{tg}^{-1} \frac{Y_{B_i} - Y_{A_i}}{X_{B_i} - X_{A_i}}. \quad (83)$$

Осылайша, (72) функциясының бір тәуелсіз айнымалысы бар s_{P_i} , нақты жалпыланған координатаның берілген мәндері үшін шартты жалпыланған координатасы s_{Q_i} . s_{P_i} параметріне қатысты функцияны (72) бисекция әдісімен минимизациялау арқылы оның мәндерін табамыз. Бұл жағдайда бұрыштар φ_{3i} және φ_{4i} бір мезгілде анықталады. Бұрыш φ_{5i} өрнек арқылы анықталады

$$\varphi_{5i} = \text{tg}^{-1} \frac{Y_{D_i} - Y_{E_i}}{X_{D_i} - X_{E_i}}. \quad (69)$$

Осы ПМ кинематикасының кері есебінің шешімін қарастырайық. P кіріс сырғағымен зерттелетін ПМ2 құрылымдық формуласы келесідей

$$I(1) \rightarrow II(3,4) \leftarrow I(2). \quad (70)$$

Демек, $II(3,4)$ және $II(1,3)$ диадаларының орналасу есептерін шешу қажет.

Диада $II(4,5)$ орналасу есебін шешу үшін $CDEC$ контурының векторлық тұйықталу теңдеуін жазамыз.

$$l_{CD}\mathbf{e}_{(CD)_i} + l_{ED}\mathbf{e}_{S_i} + l_{(CE)_i}\mathbf{e}_{(CE)_i} = 0, \quad (71)$$

мұндағы \overline{CE} вектордың модулі мен бағыты келесі өрнектермен анықталады

$$l_{(CE)_i} = [(X_E - X_{C_i})^2 + (Y_E - Y_{C_i})^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (72)$$

$$\varphi_{(CE)_i} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_E - Y_{C_i}}{X_E - X_{C_i}}, \quad (73)$$

$$\begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(s_{P_i} + x_C^{(2)}) \\ y_C^{(2)} \end{bmatrix}. \quad (74)$$

$l_{ED}\mathbf{e}_{S_i}$ өрнекті (71) теңдеудің оң жағына көшіріп, екі жағын да квадраттаймыз. Нәтижесінде

$$\varphi_{(CD)_i} = \varphi_{(CE)_i} - \cos^{-1} \frac{l_{CD}^2 + l_{(CE)_i}^2 - l_{ED}^2}{2l_{CD}l_{(CE)_i}}. \quad (75)$$

$$\varphi_{S_i} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{D_i} - Y_E}{X_{D_i} - X_E}, \quad (76)$$

$$\begin{bmatrix} X_{D_i} \\ Y_{D_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \end{bmatrix} + l_{CD} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{(CD)_i} \\ \sin \varphi_{(CD)_i} \end{bmatrix}. \quad (77)$$

$II(1,3)$ диаданың орналасу есебін шешу үшін $OQ'ABO$ контурының векторлық тұйықталу теңдеуін жазамыз.

$$l_{(OQ')_i}\mathbf{e}_{OQ'} - l_{AQ'}\mathbf{e}_{AQ'} + l_{AB}\mathbf{e}_{3i} - l_{(OB)_i}\mathbf{e}_{(OB)_i} = 0, \quad (78)$$

Қоссырғақты ПМ2 жылдамдықтары мен үдеулерінің аналогтарының есептерін шешу үшін оның тәуелсіз векторлық контурларын таңдаймыз, олардың саны Ассур тобындағы буындар санының жартысына тең, яғниол екіге тең. Тәуелсіз векторлық контурлар ретінде біз $OQ'ABCC'O$ және $OQ'ABDEO$ контурларын таңдаймыз, олардың векторлық циклды жабу теңдеулері пішіндері бар.

$$\left. \begin{aligned} l_{OQ'}\mathbf{e}_{OQ'} + l_{Q'A}\mathbf{e}_{Q'A} + l_{AB}\mathbf{e}_{3i} - l_{CB}\mathbf{e}_{4i} + l_{CC'}\mathbf{e}_{CC'} - l_{(OC')_i}\mathbf{e}_{OC'} &= 0 \\ l_{OQ'}\mathbf{e}_{OQ'} + l_{Q'A}\mathbf{e}_{Q'A} + l_{AB}\mathbf{e}_{3i} - l_{DB}\mathbf{e}_{(DB)_i} - l_{ED}\mathbf{e}_{5i} - l_{OE}\mathbf{e}_{OE} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (79)$$

(79) теңдеулер жүйесін OXY абсолюттік координаталар жүйесінің OX және OY осьтеріне жобалаңыз.

$$\left. \begin{aligned} l_{Q'A} + l_{AB}\cos\varphi_{3i} - l_{CB}\cos\varphi_{4i} - l_{(OC')_i} &= 0 \\ l_{OQ'} + l_{AB}\sin\varphi_{3i} - l_{CB}\sin\varphi_{4i} + l_{CC'} &= 0 \\ l_{Q'A} + l_{AB}\cos\varphi_{3i} - l_{DB}\cos(\varphi_{4i} - \alpha_4) - l_{ED}\cos\varphi_{5i} - l_{OE}\cos\varphi_{OE} &= 0 \\ l_{OQ'} + l_{AB}\sin\varphi_{3i} - l_{DB}\sin(\varphi_{4i} - \alpha_4) - l_{ED}\sin\varphi_{5i} - l_{OE}\sin\varphi_{OE} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (80)$$

(80) теңдеулер жүйесін жалпыланған s_{Q_i} координатаға қатысты дифференциалдаңыз

$$\left. \begin{aligned} -l_{AB}\sin\varphi_{3i} \cdot \varphi'_{3i} - l_{CB}\sin\varphi_{4i} \cdot \varphi'_{4i} - u_{P_i} &= 0 \\ 1 + l_{AB}\cos\varphi_{3i} \cdot \varphi'_{3i} - l_{CB}\cos\varphi_{4i} \cdot \varphi'_{4i} &= 0 \\ -l_{AB}\sin\varphi_{3i} \cdot \varphi'_{3i} + l_{DB}\sin(\varphi_{4i} - \alpha_4) \cdot \varphi'_{4i} + l_{ED}\sin\varphi_{5i} \cdot \varphi'_{5i} &= 0 \\ 1 + l_{AB}\cos\varphi_{3i} \cdot \varphi'_{3i} - l_{DB}\cos(\varphi_{4i} - \alpha_4) \cdot \varphi'_{4i} - l_{ED}\cos\varphi_{5i} \cdot \varphi'_{5i} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (81)$$

(81) теңдеулер жүйесінен жылдамдықтардың аналогтарын анықтаймыз

$$\mathbf{u} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{b}, \quad (82)$$

мұндағы

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} Y_{A_i} - Y_{B_i} & Y_{B_i} - Y_{C_i} & 0 & -1 \\ X_{B_i} - X_{A_i} & X_{C_i} - X_{B_i} & 0 & 0 \\ Y_{A_i} - Y_{B_i} & Y_{B_i} - Y_{D_i} & Y_{D_i} - Y_E & 0 \\ X_{B_i} - X_{A_i} & X_{D_i} - X_{B_i} & X_E - X_{D_i} & 0 \end{bmatrix}, \quad (83)$$

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \varphi'_{3i} \\ \varphi'_{4i} \\ \varphi'_{5i} \\ u_{P_i} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (84)$$

(81) теңдеулер жүйесін жалпыланған координатаға S_{Q_i} қатысты дифференциалдаңыз

$$\left. \begin{aligned} -l_{AB} \cos \varphi_{3i} \cdot \varphi'^2_{3i} - l_{AB} \sin \varphi_{3i} \cdot \varphi''_{3i} + l_{CB} \cos \varphi_{4i} \cdot \varphi'^2_{4i} + l_{CB} \sin \varphi_{4i} \cdot \varphi''_{4i} - w''_{P_i} &= 0 \\ -l_{AB} \sin \varphi_{3i} \cdot \varphi'^2_{3i} + l_{AB} \cos \varphi_{3i} \cdot \varphi''_{3i} + l_{CB} \sin \varphi_{4i} \cdot \varphi'^2_{4i} + l_{CB} \cos \varphi_{4i} \cdot \varphi''_{4i} &= 0 \\ -l_{AB} \cos \varphi_{3i} \cdot \varphi'^2_{3i} - l_{AB} \sin \varphi_{3i} \cdot \varphi''_{3i} + l_{DB} \cos(\varphi_{4i} - \alpha_4) \cdot \varphi'^2_{4i} + \\ + l_{DB} \sin(\varphi_{4i} - \alpha_4) \cdot \varphi''_{4i} + l_{ED} \cos \varphi_{5i} \cdot \varphi'^2_{5i} + l_{ED} \sin \varphi_{5i} \cdot \varphi''_{5i} &= 0 \\ -l_{AB} \sin \varphi_{3i} \cdot \varphi'^2_{3i} - l_{AB} \cos \varphi_{3i} \cdot \varphi''_{3i} + l_{DB} \sin(\varphi_{4i} - \alpha_4) \cdot \varphi'^2_{4i} - \\ - l_{DB} \cos(\varphi_{4i} - \alpha_4) \cdot \varphi''_{4i} + l_{ED} \sin \varphi_{5i} \cdot \varphi'^2_{5i} - l_{ED} \cos \varphi_{5i} \cdot \varphi''_{5i} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (85)$$

(85) теңдеулер жүйесінен үдеулердің аналогтарын анықтаймыз

$$\mathbf{w} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{c}, \quad (86)$$

мұндағы

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \varphi''_{3i} \\ \varphi''_{4i} \\ \varphi''_{5i} \\ w_{P_i} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{bmatrix} (X_{B_i} - X_{A_i}) \cdot \varphi'^2_{3i} + (X_{C_i} - X_{B_i}) \cdot \varphi'^2_{4i} \\ (Y_{B_i} - Y_{A_i}) \cdot \varphi'^2_{3i} + (Y_{C_i} - Y_{B_i}) \cdot \varphi'^2_{4i} \\ (X_{B_i} - X_{A_i}) \cdot \varphi'^2_{3i} + (X_{D_i} - X_{B_i}) \cdot \varphi'^2_{4i} + (X_{E_i} - X_{D_i}) \cdot \varphi'^2_{5i} \\ (Y_{B_i} - Y_{A_i}) \cdot \varphi'^2_{3i} + (Y_{D_i} - Y_{B_i}) \cdot \varphi'^2_{4i} + (Y_{E_i} - Y_{D_i}) \cdot \varphi'^2_{5i} \end{bmatrix}. \quad (49)$$

Мұндағы \overline{OB} вектордың модулі мен бағыты өрнектермен анықталады

$$l_{(OB)_i} = (X_{B_i}^2 - Y_{B_i}^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (87)$$

$$\varphi_{(OB)_i} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_{B_i}}{X_{B_i}}. \quad (88)$$

OXY абсолюттік координаталар жүйесінің OX және OY осьтеріндегі векторлық теңдеулерді (88) проекциялау арқылы аламыз.

$$\varphi_{3i} = \cos^{-1} \frac{l_{AQ'} + l_{(OB)_i} \cos \varphi_{(OB)_i}}{l_{AB}}, \quad (89)$$

$$l_{(OQ')} = l_{(OB)_i} \sin \varphi_{(OB)_i} - l_{AB} \sin \varphi_{3_i}. \quad (90)$$

$l_{(OQ')}$ мәнін біле отырып, біз гидравликалық цилиндр плунжерінің жүрісін анықтаймыз

$$S_{Q_i} = l_{(OQ')} - y_A^{(1)}. \quad (91)$$

мұндағы $y_A^{(1)}$ координаттар жүйесіндегі A буынының координатасы $Qx_1 y_1$ плунжерге қатаң қосылған.

3.4 ПМ2 сандық нәтижелері және 3D модельдеу

5-кестеде $OXYZ$ абсолютті координаттар жүйесіндегі қосырғақты ПМ кіріс s_{Q_i} және s_{P_i} шығыс сырғытпаларының $N = 11$ позициясы көрсетілген.

Кесте 5 - Кіріс және шығыс сырғытпаларының позициялары

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$s_{Q_i},$ mm	0	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0	42.0	48.0	54.0	60
$s_{P_i},$ mm	-97.88	-87.86	-80.29	-73.46	-66.8	-59.97	-52.63	-44.31	-34.18	-19.99	0

6 және 7 кестелерде сәйкесінше пассивті ТКТ ABC және теріс ТКТ DE синтез параметрлерінің алынған мәндері көрсетілген.

Кесте 6 - Пассивті ТКТ ABC синтезінің параметрлері

$x_A^{(1)},$ mm	$y_A^{(1)},$ mm	$x_C^{(2)},$ mm	$y_C^{(2)},$ mm	$l_{AB},$ mm	$l_{BC},$ mm
-7.5012	2.0817	-2.5335	1.7562	60.0174	100.0207

Кесте 7 - Теріс ТКТ DE синтезінің параметрлері

$x_D^{(4)},$ mm	$y_D^{(4)},$ mm	$X_E,$ mm	$Y_E,$ mm	$l_{ED},$ mm
50.0628	-20.0408	-69.5361	67.9353	60.7365

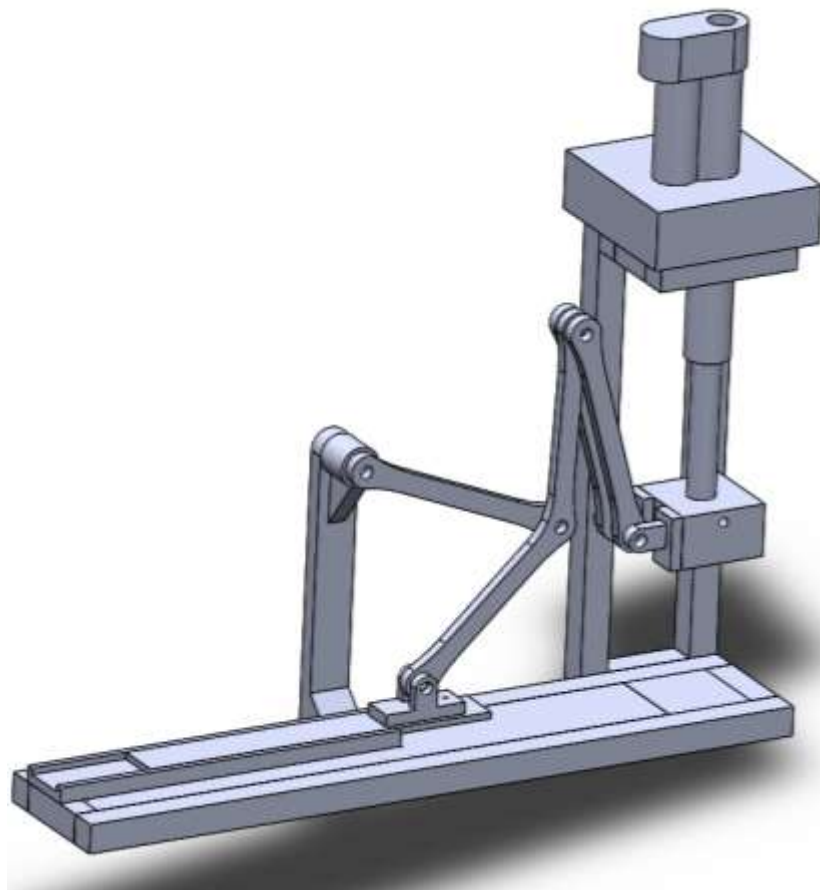
8 - кестеде P шығыс сырғытпасының сызықтық жылдамдықтары u_{P_i} мен сызықтық үдеулерінің w_{P_i} позициялары s_{P_i} мен аналогтарының алынған мәндері көрсетілген.

Кесте 8 - Шығыс сырғытпасының P сызықтық жылдамдықтары мен үдеулерінің позициялары мен аналогтары

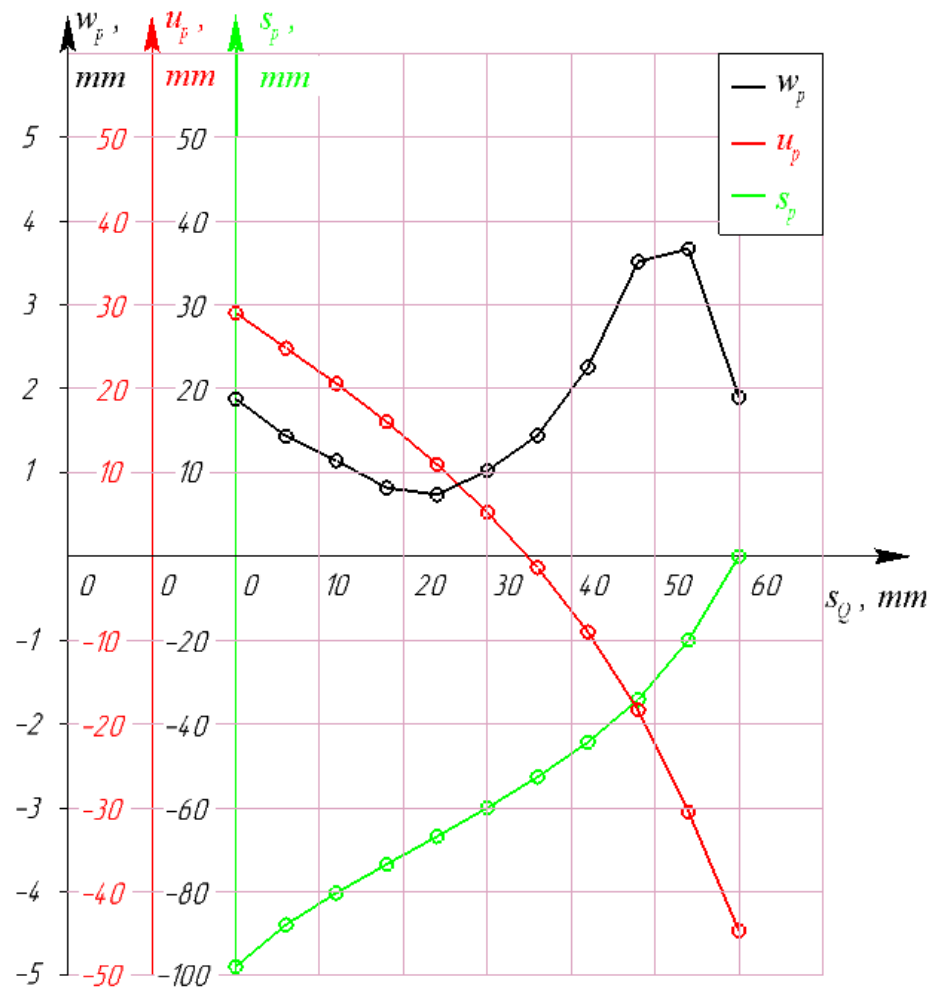
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
s_{P_i} , mm	-97.88	-87.86	-80.29	-73.46	-66.8	-59.97	-52.63	-44.31	-34.18	-19.99	0
u_{P_i} , mm	29.03	24.83	20.61	16.04	10.97	5.243	-1.331	-9.024	-18.33	-30.47	-44.63
w_{P_i} , mm	1.8788	1.4345	1.1417	08.18	07.36	1.021	1.4427	2.255	3.5165	3.6692	1.9001

s_{P_i} , u_{P_i} , w_{P_i} параметрлерінің графигі 29 - суретте көрсетілген.

Синтезделген қосырғақты ПМ-нің 3D CAD моделі 28- суретте көрсетілген

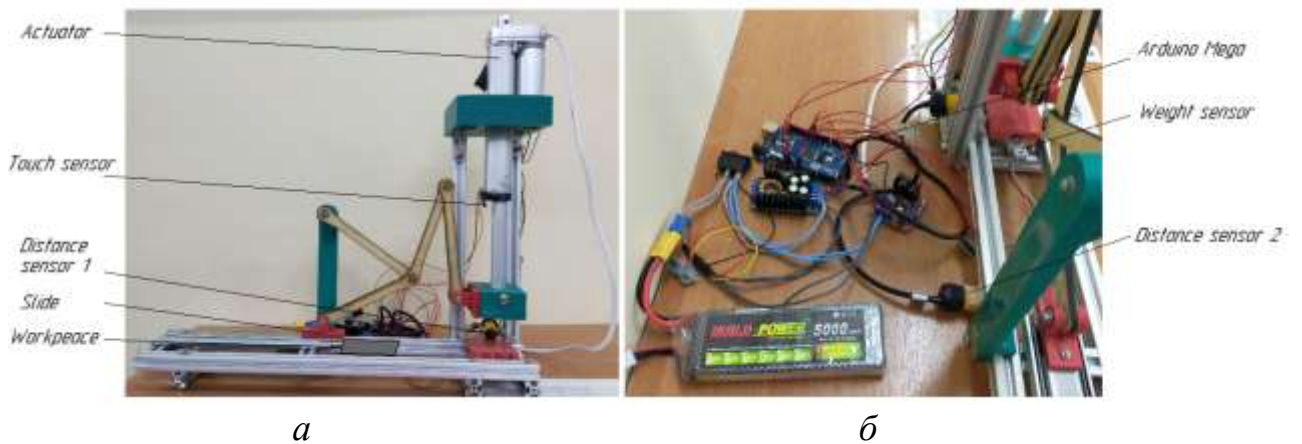


Сурет 28 – Қосырғақты ПМ 3D CAD моделі

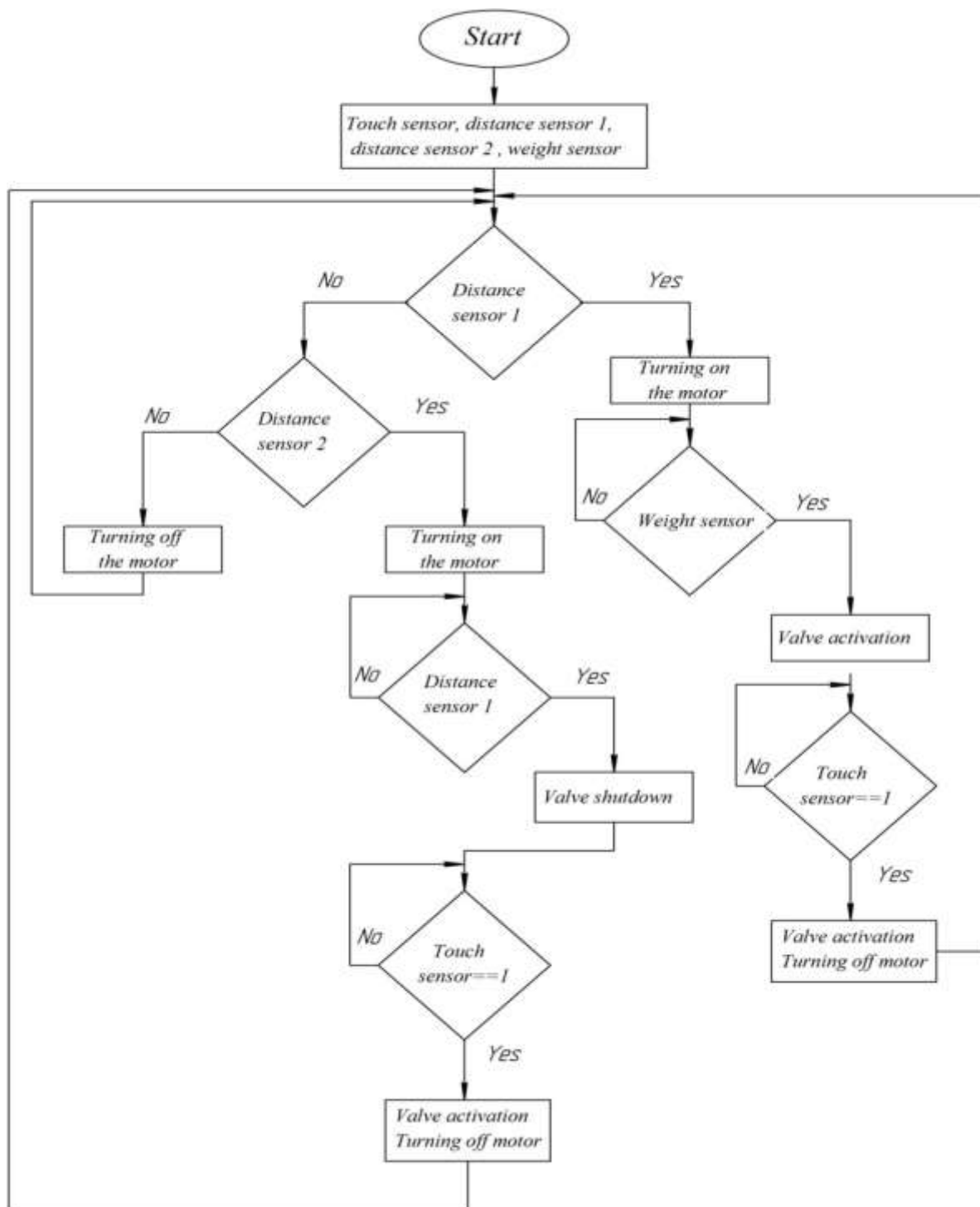


Сурет 29 – $s_{p_i}, u_{p_i}, w_{p_i}$ параметрлердің графигі

Қосырғақты ПМ прототипі және оның блок схемасы 29 және 31 - суреттерде көрсетілген.



Сурет 30 – Қосырғақты ПМ прототипі:
(а) бірінші позиция (б) екінші позиция

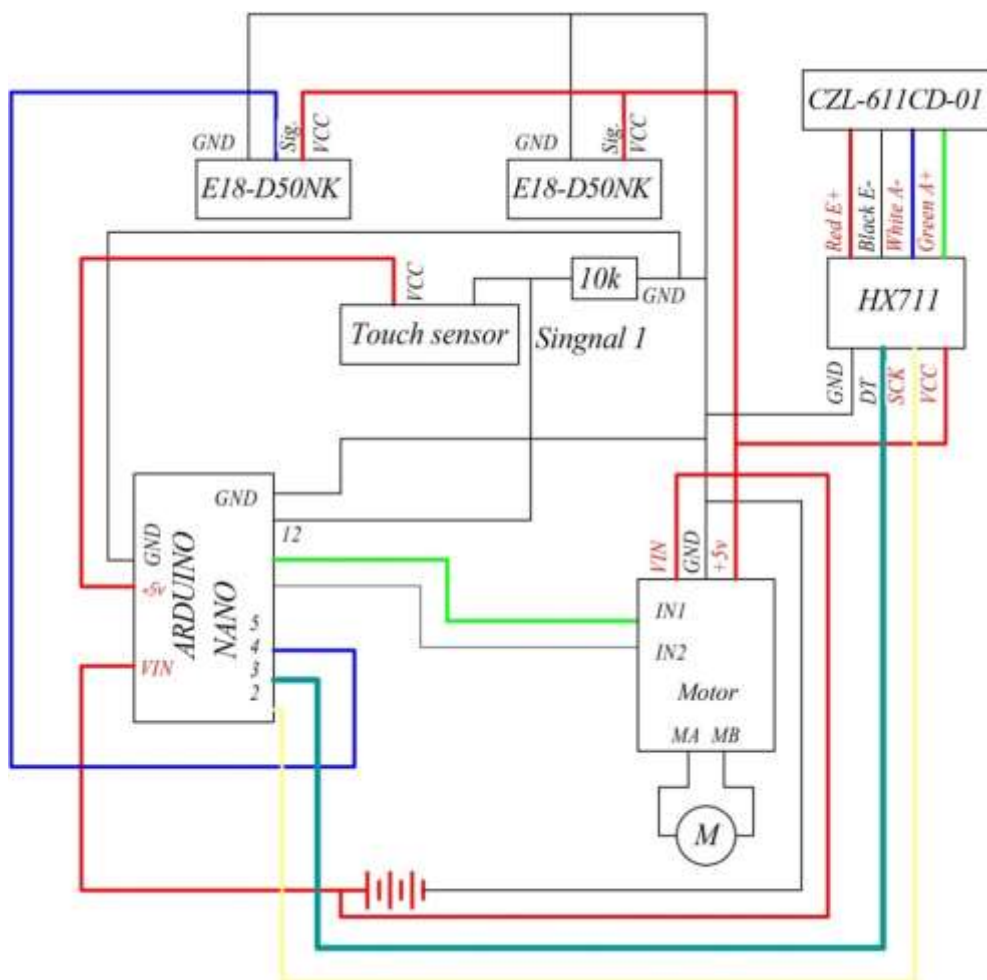


Сурет 31 - Қос сырғақты ПМ блок схемасы

Бастапқыда гидравликалық цилиндрдің пуансоны жоғарғы шеткі күйде орналасады, ал қашықтық датчигі 1 жұмыс аймағында штамптау үшін дайындаманың болуын тексереді. Егер дайындама жоқ болса, онда дайындаманың дайындама жинақтау дүкенінде болуын қашықтық датчигі 2 арқылы тексеріледі. Дүкенде дайындама жоқ болса, қозғалтқыш қосылмайды. Дүкенде дайындама бар болса, қозғалтқыш қосылып, пуансон төменгі жұмыс күйіне ауысады. Осы уақытта ПМ сырғытпасы келесі дайындамаға сол жақ шеткі позицияға жылжиды (дайындаманы беру).

Пансонның бірінші соққысы бос болады. Пунсонның төменгі шеткі жағдайына жеткеннен кейін қашықтық сенсоры 1 гидравликалық цилиндр клапанына ауысу командасын береді, ал пуансон тиу датчигіне (датчик касания) жеткенше көтеріледі. Сол кезде гидравликалық цилиндр клапаны ауыстырылады, гидроцилиндр қозғалтқышы өшіріледі, ал екінші дайындаманы беру сырғағы дайындаманы матрицаға (жұмыс аймағына) жеткізеді. Әрі қарай қашықтық датчигі 1 қалыптағы дайындаманың болуын тексереді.

Дайындаманы матрицаға жеткізгеннен кейін қозғалтқыш қосылады және дайындаманы штамптау үшін шток төменгі позицияға түседі. Штампталған дайындама жоғары сапалы штампталуы үшін жұмыс аймағының астына салмақ датчигі яғни тензодатчик орналастырылған. Осы датчик арқылы біз қандай салмақпен басу керек соны реттей аламыз. Гидравликалық цилиндр клапаны керекті штамптау күшіне жеткеннен кейін ауысады, ал штамп сенсорлық сенсорға жеткенше көтеріледі. Содан кейін гидравликалық цилиндр клапаны ауыстырылады және оның қозғалтқышы өшіріледі. Бұл цикл дүкендегі дайындамалар аяқталғанша қайталанады. Егер жұмыс аймағында да дүкенде де дайындама болмаса қоссырғақты ПМ тыныштық күйінде яғни қосылмай тұрады. Датчиктер мен қозғалтқышты қосу схемасы 32 - суретте көрсетілген.



Сурет 32 – Датчиктер мен қозғалтқышты қосу схемасы

3.5 Қолдану перспективалары

Қазақстан дамушы ел, мұнда ұсақ бөлшектер мен бұйымдарды шығаратын көптеген шағын машина жасау кәсіпорындары мен цехтары жұмыс істейді. Қосырғақты ПМ өндірушінің брендин көрсететін таңбалау тақталарын штамптау үшін арнайы пайдаланылуы мүмкін.

3-тарау бойынша қорытынды

Екі сырғақты ПМ құрылымдық-параметрлік синтезі (ҚПС) жүргізілді, ол бір пассивті және бір теріс тұйық кинематикалық тізбектің көмегімен екі шығыс объектісін (сырғақтарды) тірекпен қосу арқылы қалыптасады. Бұл ПМ-ның шығыс объектілері претстің штогы және дайындаманы преске беруге арналған құрылғының сырғымасы болып табылады.

Сондай ақ екі сырғақты ПМ кинематикасы және сандық нәтижелері, жұмыс істеуінің блок схемасы, датчиктер мен қозғалтқышты қосу схемасы мен 3D моделі жасалды. Қосырғақты ПМ-ды кіші машина жасау өндірістерінде штамптау жұмыстарын автаматандыруға пайдалануға ұсыныс береміз.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертацияның нәтижелері бойынша қысқаша қорытындылар:

1. Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін және қосырғақты ПМ-дың құрылымдық параметрлік синтезі жасалды.

2. RoboMesh класты параллель манипуляторлар деп манипуляциялық роботтар секілді жұмыс органдары (қармауыштары) берілген қозғалу заңдарын орындай алу қасиеттеріне ие және механизмдердегі секілді кіру буындарының (жетектердің) қозғалыс заңдылығын бере алу қасиеттеріне ие параллель манипуляторларды (ПМ) айтады. RoboMesh класты ПМ қолданыстағы ПМ-мен салыстырғанда қарапайым басқару жүйесіне ие.

3. Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ шығыс (жұмыс) нүктесі тірекпен бір пассивті және екі активті ТКТ көмегімен байланысу арқылы қалыптасады. Қосырғақты ПМ бір пассивті және бір теріс ТКТ көмегімен екі сырғақтың (кіріс және шығыс) қосылуынан пайда болады.

4. Активті және теріс ТКТ шығыс объектілерінің қозғалысына геометриялық байланыстар орнатады және олар байланыстардың белгілі бір геометриялық параметрлерінде жұмыс істейді. Параметрлік синтез, яғни активті және теріс ТКТ звеноларының геометриялық параметрлерін анықтау квадраттық жуықтау негізінде жүргізілді.

5. Цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін және қосырғақты ПМ-дың кинематикасының тура және кері есептері және қосырғақты ПМ-дың кинематикасының тура есебі есептелді. Екі ПМ-дың 3D моделі және қосырғақты ПМ-дың прототипі жасалды.

6. Орындалған зерттеулердің нәтижелері бойынша Scopus және WoS деректер базасына кіретін 4 мақала жарияланды және ҚР 2 патенті алынды.

Қойылған міндеттерді шешудің толықтығын бағалау:

Қойылған мақсатқа жету үшін қойылған тапсырмалардың барлығы орындалды:

- 1) ПМ-лардың құрылымдық синтезі;
- 2) ПМ-лардың параметрлік синтезі;
- 3) ПМ-лардың кинематикалық анализі;
- 4) ПМ-ларды беріктікке есептеу.

Нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар мен бастапқы деректер:

RoboMesh класты параллель манипуляторды ALATAU ЖШС “DOC Co.LTD” пресс форма шығарумен айналысатын заводтағы салмағы 50-100 кг болатын дайындаманы цилиндрлік координаталар жүйесі бойынша HAAS VM-3 ЧПУ тік фрезерлік өңдеу центрінің жұмыс аймағына беру және алу үшін пайдаланамыз.

Қосырғақты ПМ өндірушінің брендин көрсететін таңбалау тақталарын штамптау үшін арнайы пайдаланылуға ұсыныс береміз.

Іске асырудың техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау:

Әзірленген ПМ тиімділігі мен маңыздылығы олардың өнімділігінің артуымен және өзіндік құнының төмендеуімен анықталады.

Атқарылған жұмыстың ғылыми деңгейін осы саладағы үздік жетістіктермен салыстыра отырып бағалау: Жобаланған RoboMesh класты ПМ бар манипуляциялық роботтармен салыстырғанда қарапайым басқару жүйесі мен жоғары өнімділікке ие. Қосырғақты ПМ конструкциясы және цилиндрлік координаттар жүйесінде жұмыс істейтін ПМ ҚР екі патентімен қорғалған.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Merlet J. P. Parallel robots. – 2nd edn. – Springer Science: Business Media, 2006. – Т. 128. – 422 p.
2. Gogu G. Structural Synthesis of Parallel Robots: Part 2. Translational Topologies with Two and Three Degrees of Freedom. – Netherlands: Dordrecht, Springer, 2008.- Т. 706. – 757 p.
3. Bonev I. The true origins of parallel robots //ParalleMIC. – 2003. – P. 1-6.
4. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. – 3rd edn. – Pearson Education International, 2005. – Т.408. – 387 p.
5. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. – Москва: Наука, 1991. – 95 с.
6. Shahinpoor M. Kinematics of a parallel-serial (Hybrid) manipulator //Journal of Robotic Systems. – 1992. – Т. 9, №. 1. – С. 17-36.
7. Gough V. E. Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, control and tyre performance //Proc. of Auto Div. Inst. Mech. Eng. – 1957. – Т. 171. – P. 392-395.
8. Stewart D. A platform with six degrees of freedom //Proceedings of the institution of mechanical engineers. – 1965. – Т. 180, №. 1. – P. 371-386.
9. Dasgupta B., Mruthyunjaya T. S. The Stewart platform manipulator: a review // Mechanism and machine theory. – 2000. – Т. 35, №. 1. – P. 15-40.
10. Fichter E. F. A Stewart platform-based manipulator: general theory and practical construction // The international journal of robotics research. – 1986. – Т. 5, №. 2. – P. 157-182.
11. Patent No. 3,295,224, Motion simulator / Cappel, K.L.; Pub. US January 3, 1967.
12. Husty M. L. An algorithm for solving the direct kinematics of general Stewart-Gough platforms // Mechanism and Machine Theory. – 1996. – Т. 31, №. 4. – P. 365-379.
13. Fichter E. F. A Stewart platform-based manipulator: general theory and practical construction // The international journal of robotics research. – 1986. – Т. 5, №. 2. – P. 157-182.
14. Gan D. Type synthesis, kinematics analysis and dynamic modelling of metamorphic parallel mechanisms: Doctoral dissertation. / King's College: London, 2018. – 266 p.
15. Clavel R. A fast robot with parallel geometry //Proc. Int. Symposium on Industrial Robots. – 1988. – P. 91-100.
16. Gosselin C., Angeles J. The optimum kinematic design of a spherical three-degree-of-freedom parallel manipulator. // Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design. – American Society of Mechanical Engineers, 1989. - P. 202–207.
17. Assur L. V. Investigation of plane hinged mechanisms with lower pairs from the point of view of their structure and classification (in Russian): Part I, II //Bull. Petrograd Polytech. Inst. – 1914. – Т. 20. – P. 187-283.

18. Yang T. L., Sun D. J. A general degree of freedom formula for parallel mechanisms and multiloop spatial mechanisms // *Journal of Mechanisms and Robotics*. - 2012. –Vol. 4(1)/011001-1. – P. 1-17.
19. Yang T. L. et al. On the correctness and strictness of the position and orientation characteristic equation for topological structure design of robot mechanisms // *Journal of Mechanisms and Robotics*. – 2013. – T. 5, №. 2. 021009. – P. 1-18.
20. Gogu G. *Structural Synthesis of Parallel Robots. Part 2: Translational Topologies with Two and Three Degrees of Freedom*. – Springer Science, Dordrecht.BV, 2009. – 106 p.
21. Kutzbach K. Einzelfragen aus dem Gebiet der Maschinenteile. – *Zeitschrift der Verein Deutscher Ingenieur*, 1933. – T. 77, №. 1. –168 p.
22. Gibson C. G., Hunt K. H. Geometry of screw systems – 1: Screws: genesis and geometry // *Mechanism and Machine theory*. – 1990. – T. 25, №. 1. – P. 1-10.
23. Gibson C. G., Hunt K. H. Geometry of screw systems – 2: Classification of screw systems // *Mechanism and Machine Theory*. – 1990. – T. 25, №. 1. – P. 11-27.
24. Martínez J. M. R., Duffy J. Classification of screw systems – I. One-and two-systems // *Mechanism and Machine Theory*. – 1992. – T. 27, №. 4. – P. 459-470.
25. Martínez J. M. R., Duffy J. Classification of screw systems – II. Three-systems // *Mechanism and Machine Theory*. – 1992. – T. 27, №. 4. – P. 471-490.
26. Dai, J S ; Huang, Z ; Lipkin, H. Mobility of Overconstrained Parallel Mechanisms // In: *Journal of Mechanical Design*. – 2006. - Vol. 128, №.1. - P. 220 - 229.
27. Kong X., Gosselin C. M., Richard P. L. Type synthesis of parallel mechanisms with multiple operation modes // Springer, Heidelberg. – 2007. – Vol. 33. – P. 595-601.
28. Hervé J. M. The Lie group of rigid body displacements, a fundamental tool for mechanism design // *Mechanism and Machine theory*. – 1999. – T. 34, №. 5. – P. 719-730.
29. Selig J. M. *Geometric fundamentals of robotics*. – New York: Springer, 2005. – T. 128. – 398 p.
30. Meng J., Liu G., Li Z. A geometric theory for analysis and synthesis of sub-6 DoF parallel manipulators // *IEEE Transactions on Robotics*. – 2007. – T. 23, №. 4. – C. 625-649.
31. Gogu G. *Structural synthesis of parallel robots. Part 1: Methodology*. – Netherlands, Dordrecht: Springer., 2008. – 706 p.
32. Gogu G. *Structural Synthesis of Parallel Robots: Part 2: Translational Topologies with Two and Three Degrees of Freedom*. – Netherlands, Dordrecht: Springer. – 2009. – 762 p.
33. Gogu G. *Structural Synthesis of Parallel Robots: Part 3: Topologies with Planar Motion of the Moving Platform*. – Netherlands, Dordrecht: Springer. 2010. – T. 173 – 686 p.

34. Rico J. M., Ravani B. On mobility analysis of linkages using group theory // International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. – American Society of Mechanical Engineers. – 2002. – T. 36533. – P. 429-446.
35. Yang T. L. et al. Position and orientation characteristic equation for topological design of robot mechanisms // Journal of Mechanical Design. – 2009. – T. 131, №. 2. 021001. – P. 1-17.
36. Gao F., Zhang Y., Li W. Type synthesis of 3-DOF reducible translational mechanisms // Robotica. – 2005. – T. 23. №. 2. – P. 239-245.
37. Gao F., Yang J., Ge Q. J. Type synthesis of parallel mechanisms having the second class GF sets and two dimensional rotations // Journal of Mechanisms and Robotics, Trans ASME. – 2011. – Vol. 3(1): 011003 – P. 1-8.
38. Burmester L. Lehrbuch der Kinematik. – Leipzig: Felix Verlag, 1888. – T.1. – 942 p.
39. Schoenflies A. Geometric der Bewegung in Synthesische Darstellung. – Leipzig : B.G. Teubner, 1886 – 194 p.
40. Freudenstein F., Sandor G. N. On the Burmester points of a plane // Trans. ASME. – 1961. - Series E, Vol. 28, No. 1. - P.41-49.
41. Bottema O., Roth B. Theoretical kinematics. – New York, North-Holland publishing company.1990. – T. 24. –578 p.
42. Wilson III J. T. Analytical kinematic synthesis by finite displacements // ASME, Series B – 1965. – Vol. 87, No. 2. – P. 161-169.
43. Suh C. H. Design of space mechanisms for rigid body guidance // Trans. ASME, Series B – 1968. – Vol. 90, No. 3. – P. 499-506.
44. Suh C. H. On the duality in the existence of RR links for three positions // Trans. ASME, Series B. – 1969. – Vol. 91, No. 1. – P. 219-293.
45. Chen P., Roth B. A unified theory for the finitely and infinitesimally separated position problems of kinematic synthesis // Trans. ASME, Series B. – 1969. – Vol. 91, No. 1. – P. 203-208.
46. Roth B. The design of binary cranks with revolute, cylindric, and prismatic joints // Journal of Mechanisms. – 1968. – T. 3, №. 2. – P. 61-72.
47. Tsai L. W., Roth B. Design of dyads with helical, cylindrical, spherical, revolute and prismatic joints //Mechanism and Machine Theory. – 1972. – T. 7, №. 1. – P. 85-102.
48. Chebyshev P. L. Sur les parallélogrammes composés de trois éléments quelconques // Mémoires de l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg. – 1879. – T. 36. – P. -777-780.
49. Левитский Н.И. Проектирование плоских механизмов с низшими парами. – М.Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – 183 с.
50. Sarkisyan Y. L., Gupta K. C., Roth B. Kinematic geometry associated with the least-square approximation of a given motion.// Trans. ASME, Series B. – 1973. – Vol. 95, No. 2 – P. 503-510.

51. Sarkissyan Y. L., Gupta K. C., Roth B. Spatial least square approximations of a given motion // Proceedings of IFToMM International Symposium Linkages and Computer Design Methods, Bucharest. – 1973. – P. 7-13.
52. Sarkisyan Y. L., Gupta K. C., Roth B. Chebychev approximations of finite point sets with application to planar kinematic synthesis // Trans. ASME, J. of Mech. Des. – 1979. – Vol. 101, No. 1. – P. 32-40.
53. Sarkisyan Y. L., Gupta K. C., Roth B. Chebychev Approximations of Spatial Point Sets Using Spheres and Planes // Trans. ASME, J. of Mech. Des. – 1979. - Vol. 101, No. 3. – P. 499-503.
54. Sarkissyan, Y. L., Gupta, K. C., & Roth, B. Chebychev approximations of finite sets of lines as a tool kinematic synthesis // Proc. Of the 5th World Congress on the TMM. - Montreal, Canada. – 1979. - P.13-16.
55. McCarthy J. M. A parameterization of the central axis congruence associated with four positions of a rigid body in space // Trans. ASME, J. of Mech. Des. – 1993. – Vol.115(3). - P. 547-551.
56. McCarthy, J. M. The Synthesis of Planar RR and Spatial CC Chains and the Equation of a Triangle // Trans. ASME, J. of Mech. Des. and J. of Vibr. And Acoustics. – 1995. – Vol.117 (B). – P. 101-106.
57. McCarthy J. M., Bodduluri R. M. Avoiding singular configurations in finite position synthesis of spherical 4R linkages //Mechanism and Machine Theory. – 2000. – T. 35, №. 3. – C. 451-462.
58. Plecnik M. M., McCarthy J. M. Kinematic synthesis of Stephenson III six-bar function generators // Mechanism and Machine Theory. – 2016. – T. 97. – P. 112-126.
59. Plecnik M. M., Michael McCarthy J. Computational design of Stephenson II six-bar function generators for 11 accuracy points // Journal of Mechanisms and Robotics. – 2016. – T. 8, №. 1. 011017 – P. 1-9.
60. Plecnik M. M., Michael McCarthy J. Numerical synthesis of six-bar linkages for mechanical computation //Journal of Mechanisms and Robotics. – 2014. – T. 6, №. 3. 031012 – P. 1-9.
61. Plecnik M. M., McCarthy J. M. Design of Stephenson linkages that guide a point along a specified trajectory //Mechanism and Machine Theory. – 2016. – T. 96. – P. 38-51.
62. Franke R. Vom Aufbau der Getriebe: eine neue, die Getriebe aller technischen Gebiete einheitlich zusammenfassende Lehre für Konstrukteure und Studenten. – VDI-Verlag GMBH, 1958. – T. 1. – 205 p.
63. Heap B. R. The Product of Graphs by Computer // In R. C. Read, editor, Graph Theory and Computing. Academic Press. – New York, 1972. – P. 47-62.
64. Farrell E. J. On graphical partitions and planarity (метод Мельбурна (Melbourne)) // Discrete Mathematics. – 1977. – T. 18, №. 2. – P. 149-153.
65. Tischler C. R., Samuel A. E., Hunt K. H. Kinematic chains for robot hands—II. Kinematic constraints, classification, connectivity, and actuation //Mechanism and machine theory. – 1995. – T. 30, №. 8. – P. 1217-1239.

66. Tischler C. R., Samuel A. E., Hunt K. H. Kinematic chains for robot hands—I. Orderly number-synthesis //Mechanism and Machine Theory. – 1995. – T. 30, №. 8. – P. 1193-1215.
67. Sunkari R. P., Schmidt L. C. Structural synthesis of planar kinematic chains by adapting a Mckay-type algorithm //Mechanism and machine theory. – 2006. – T. 41, №. 9. – P. 1021-1030.
68. Mruthyunjaya T. S. Kinematic structure of mechanisms revisited //Mechanism and machine theory. – 2003. – T. 38, №. 4. – P. 279-320.
69. Tsai L. W., Norton R. L. Mechanism design: Enumeration of kinematic structures according to function //Applied Mechanics Reviews. – 2001. – T. 54, №. 5. – P. B85.
70. Notash L., Zhang J. Structural synthesis of kinematic chains and mechanisms // Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. – Springer. – Dordrecht, 2002. – P. 391-398.
71. Simoni R., Martins D. Criteria for structural synthesis and classification of mechanism //th Proceedings of COBEM. – Brasília–DF, 2007. – T. 19. – P. 5-9.
72. Burmester L. E. H. Atlas zu Lehrbuch der Kinematik: für Studirende der Maschinentechnik, Mathematik und Physik geometrisch dargestellt. – Verlag von Arthur Felix, 1888. – 941 p.
73. Beyer R. Kinematic Synthesis of Mechanisms. – New York: McGraw-Hill, 1963. – 353 p.
74. Murray A. P., McCarthy J. M. Determining Burmester points from the analysis of a planar platform // ASME Journal of Mechanical Design. – 1995. – Vol. 117, № 2(A), – P. 303-307.
75. Mccarthy J. M. Geometric Design of Linkages // Transactions of the ASME-R-Journal of Mechanical Design. – 2000. – T. 122, №. 4. – P. 583.
76. Sarkisyan Y. L., Gupta K. C., Roth B. Kinematic geometry associated with the least-square approximation of a given motion // ASME Journal of Engineering for Industry. – 1973. – Vol. 95, № 2, 1973. - P. 503-510.
77. Angeles J., Bai S. Some special cases of the burmester problem for four and five poses //International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. – 2005. – T. 47446. – P. 307-314.
78. Hartenberg R., Danavit J. Kinematic synthesis of linkages. – New York: McGraw-Hill, 1964. –452 p.
79. Arthur G., Erdman, George N., Sandor, Kota S. Mechanism design: analysis and synthesis. – Prentice Hall, 2001. – 666 p.
80. Саркисян Ю.Л. Аппроксимационный синтез механизмов. - М.: Наука, 1982. - 304 с.
81. Tsai L. W. Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators. – John Wiley & Sons, Inc. New York 1999. – 520 p.
82. Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. – Springer, Dordrecht, 2004. – P. 73-240.

83. Jorge Angeles. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. Theory, Methods, and Algorithm. – Fourth Edition. Springer International Publishing. – Switzerland, 2014. – 589 p.
84. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. Механика промышленных роботов. В трех книгах. – М.: Высш. шк. , 1988. – 304 с.
85. Jean - Pierre Merlet. Parallel Robots. – Kluwer Academic Publishers. – Dordrecht/Boston/London, 2000. – 355 p.
86. Fu K. S., Gonzalez R., Lee C. S. G. Robotics: Control Sensing. Vis. – Tata McGraw-Hill Education, 1987. – 580 p.
87. С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. Основы управления манипуляционными роботами. - М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 480 с.
88. Yoshikawa T. Foundations of robotics: analysis and control. – MIT press, 1990. – 297 p.
89. K.C. Gupta. Mechanics and Control of Robots. Springer – Verlag, New York, 1997. – 52 p.
90. Spong M.W., Hutchinson S., and Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. – John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 407 p.

ҚОСЫМША А

Жарияланған ғылыми жұмыстар тізімі

№	Жұмыстардың шығыс деректері	Сілтеме
1	2	3
Жарияланған жұмыстар		
<i>Шетелдік басылымдар:</i>		
1	Baigunchekov Z., Mustafa A., Sobh T., Patel S., Utenov M. A robomech class parallel manipulator with three degrees of freedom. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 3(1-105), (2020), pp.44-56, (Scopus: Percentile 55).	https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203746663
2	Zhumadil Baigunchekov, Med Amine Laribi, Azamat Mustafa. Kinematic Synthesis and Analysis of the RoboMech Class Parallel Manipulator with Two Grippers. Robotics, 2021, 10(3), 99, 16p (Q 2, Percentile 67, Cite score 3,5).	https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203746663 https://www.mdpi.com/2218-6581/10/3/99 https://doi.org/10.3390/robotics10030099
3	Zhumadil Baigunchekov, Med Amine Laribi, Giuseppe Carbone, Azamat Mustafa, Bekzat Amanov, Yernar Zholdassov. Structural-Parametric Synthesis of the RoboMech Class Parallel Mechanism with Two Sliders. Applied Sciences, 2021, 11(21), 9831; 18 p. (Q 2, Percentile 71, Cite score 3.0, WoS IF 2.679).	https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203746663 https://www.mdpi.com/2076-3417/11/21/9831 https://doi.org/10.3390/app11219831
4	Baigunchekov, Z., Tarek, S., Patel, S., Mustafa, A. Structurally Parametric Synthesis of a RoboMech Class Parallel Manipulator with Three DOF. Mechanisms and Machine Science, 84, (2020), pp. 371-379, (Scopus: Percentile 23).	https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203746663
Патент		
5	Байгунчеков Ж.Ж., Мустафа А.К., Кадыров Ж.Н., Параллельный манипулятор класса РобоМех с тремя степенями свободы. Патент № 34390 на изобретение.	
6	Байгунчеков Ж.Ж., Мустафа А.К., Кадыров Ж.Н., Кривошипно-двухползуный механизм. Патент № 34380 на изобретение.	



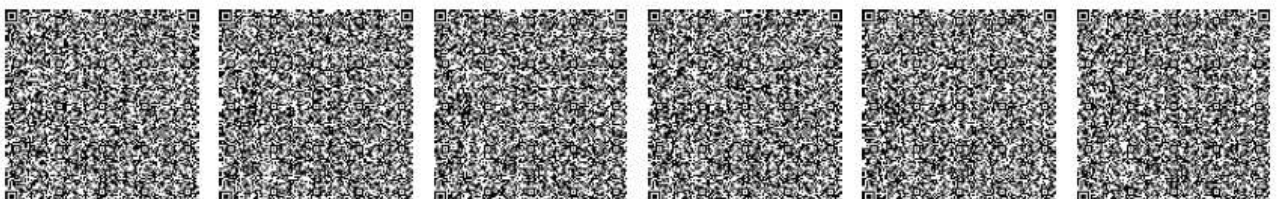
ВЫПИСКА ИЗ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕЕСТРА ИЗОБРЕТЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РГП "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ"
МИНИСТЕРСТВА ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Статус: Действует

(11) № охранного документа	34390
(12)	Патент на изобретение
(21) Номер заявки	2019/0328.1
(22) Дата подачи заявки	08.05.2019
(51) МПК	B25J 3/00, B25J 9/00
(54) Название	Параллельный манипулятор класса робомех с тремя степенями свободы
(73) Патентообладатель	Кадыров Жаннат Нургалиевич (KZ)
(72) Автор(-ы)	Байгунчеков Жумадил Жанабаевич Baigunchekov Zhumadil Zhanabayevich (KZ); Мустафа Азамат Қойшықұлұлы Мустафа Азамат Қойшықұлұлы Mustafa Azamat Koishyqululy (KZ); Кадыров Жаннат Нургалиевич Кадыров Жаннат Нургалиевич Kadyrov Zhannat Nurgaliyevich (KZ)
(45) Номер и дата бюллетеня	№ 23 - 12.06.2020
Срок действия	12.02.2021

Дата формирования выписки: 30.11.2021





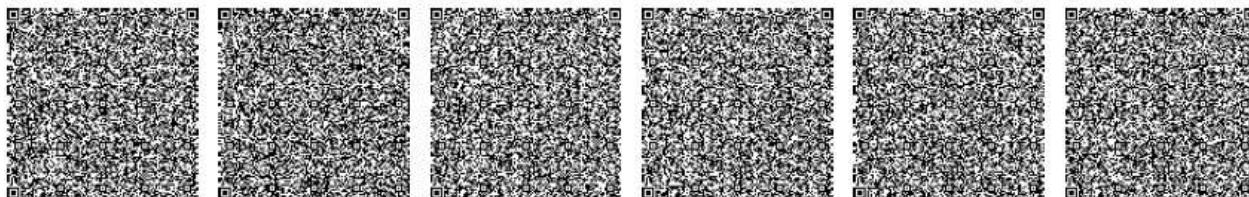
ВЫПИСКА ИЗ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕЕСТРА ИЗОБРЕТЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РГП "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ"
МИНИСТЕРСТВА ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Статус: Действует

(11) № охранного документа	34380
(12)	Патент на изобретение
(21) Номер заявки	2019/0327.1
(22) Дата подачи заявки	08.05.2019
(51) МПК	F16H 21/00 (2006.01), F16H 21/16 (2006.01)
(54) Название	Кривошипно-двухползунный механизм
(73) Патентообладатель	Кадыров Жаннат Нургалиевич (KZ)
(72) Автор(-ы)	Кадыров Жаннат Нургалиевич Kadyrov Zhannat Nurgaliyevich(KZ); Мустафа Азамат Қойшықұлұлы Мустафа Азамат Қойшықұлұлы Mustafa Azamat Koishykululy(KZ); Байгунчев Жумадил Жанабаевич Baigunchekov Zhumadil Zhanabayevich(KZ)
(45) Номер и дата бюллетеня	№ 22 - 05.06.2020
Срок действия	05.02.2021

Дата формирования выписки: 11.12.2021



ҚОСЫМША Ә

MATLAB бағдарламасында сандық нәтижелер есептелді (Цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс істейтін үш еркіндік дәрежесі бар ПМ-дің ҚПС)

К о д п р о г р а м м ы:

```
clc, clear all, close all
```

```
format long
```

```
hold on
```

```
Pi_4 = - 14;
```

```
Pi_6 = - 56;
```

```
Axy = [0 0];
```

```
Cxy = [0 - 27.54];
```

```
Hxy = [- 31.03 - 4.8];
```

```
a_3 = 16;
```

```
a_2 = 15.5;
```

```
L_hg = 16.750;
```

```
L_gf = 46.5570;
```

```
L_cd = 24.9190;
```

```
L_de = 123.7530;
```

```
L_fe = 109.9870;
```

```
L_df = 14.480;
```

```
L_ab = 98.670;
```

```
L_bp = 108.6910;
```

```
L_be = 24.50;
```

```
L_ep = 85.1010;
```

```
figure;
```

```
while(Pi_4 < 40)
```

```
    CS_P_4 = [cosd(Pi_4), sind(Pi_4)];
```

```
    Dxy = Cxy + L_cd * CS_P_4;
```

```
    CS_Pi_6 = [cosd(Pi_6), sind(Pi_6)];
```

```
    Gxy = Hxy + L_hg * CS_Pi_6;
```

```
    L_gd = sqrt((Dxy(1) - Gxy(1))^2 + (Dxy(2) - Gxy(2))^2);
```

```
    x_1 = (Dxy(2) - Gxy(2));
```

```
    y_1 = (Dxy(1) - Gxy(1));
```

```

Pi_gd = atan2d(x_1,y_1);
% Pi_gd = atand((Dxy(2) - Gxy(2)) / (Dxy(1) - Gxy(1)));

x = (L_gf^2 + L_gd^2 - L_df^2) / (2 * L_gf * L_gd);
if x <= 2
    Pi_5 = Pi_gd + acosd(x);
    CS_Pi_5 = [cosd(Pi_5), sind(Pi_5)];
    Fxy = Gxy + L_gf * CS_Pi_5;
    x_2=(Fxy(2) - Dxy(2));
    y_2=(Fxy(1) - Dxy(1));
    Pi_3 = atan2d(x_2,y_2);
%Pi_3 = atand((Fxy(2) - Dxy(2)) / (Fxy(1) - Dxy(1)));

    CS_Pi_3_a_3 = [cosd(Pi_3 - a_3), sind(Pi_3 - a_3)];
    Exy = Dxy + L_de * CS_Pi_3_a_3;
L_ae = sqrt( (Exy(1) - Axy(1))^2 + (Exy(2) - Axy(2))^2);
    x_3=(Exy(2) - Axy(2));
    y_3=(Exy(1) - Axy(1));
    Pi_ae = atan2d(x_3,y_3);
% Pi_ae = atand((Exy(2) - Axy(2)) / (Exy(1) - Axy(1)));

else
    disp('Oh! x > 2')
    break;
end

y = (L_ab^2 + L_ae^2 - L_be^2) / (2 * L_ae * L_ab);
if y <= 2
    Pi_1 = Pi_ae + acosd(y);
    CS_Pi_1 = [cosd(Pi_1), sind(Pi_1)];
    Bxy = Axy + L_ab * CS_Pi_1;
    x_4=(Exy(2) - Bxy(2));
    y_4=(Exy(1) - Bxy(1));
    Pi_2 = atan2d(x_4,y_4);
%Pi_2 = atand(Exy(2) - Bxy(2)) / (Exy(1) - Bxy(1));
    CS_Pi_2_a_2 = [cosd(Pi_2 - a_2), sind(Pi_2 - a_2)];
    Pxy = Bxy + L_bp * CS_Pi_2_a_2;
else
    disp('Oh! y > 2')
    break;
end

```



```

plot([Cxy(1) Dxy(1)],[Cxy(2) Dxy(2)],'r- ', [Cxy(1) Dxy(1)],[Cxy(2)
Dxy(2)],'bo', ...
     [Hxy(1) Gxy(1)],[Hxy(2) Gxy(2)], 'r- ', [Hxy(1) Gxy(1)],[Hxy(2)
Gxy(2)], 'bo', ...
     [Fxy(1) Gxy(1)],[Fxy(2) Gxy(2)], 'r- ', [Fxy(1) Gxy(1)],[Fxy(2)
Gxy(2)], 'bo', ...
     [Fxy(1) Dxy(1)],[Fxy(2) Dxy(2)], 'b- ', [Fxy(1) Dxy(1)],[Fxy(2)
Dxy(2)], 'bo', ...
     [Fxy(1) Exy(1)],[Fxy(2) Exy(2)], 'b- ', [Fxy(1) Exy(1)],[Fxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
     [Axy(1) Bxy(1)],[Axy(2) Bxy(2)], 'k- ', [Axy(1) Bxy(1)],[Axy(2)
Bxy(2)], 'bo', ...
     [Bxy(1) Exy(1)],[Bxy(2) Exy(2)], 'g- ', [Bxy(1) Exy(1)],[Bxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
     [Dxy(1) Exy(1)],[Dxy(2) Exy(2)], 'b- ', [Dxy(1) Exy(1)],[Dxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
     [Bxy(1) Pxy(1)],[Bxy(2) Pxy(2)], 'g- ', [Bxy(1) Pxy(1)],[Bxy(2)
Pxy(2)], 'bo', ...
     [Pxy(1) Exy(1)],[Pxy(2) Exy(2)], 'g- ', [Pxy(1) Exy(1)],[Pxy(2)
Exy(2)], 'ro')

```

```

xlim([- 30 260]);
ylim([- 30 260]);
pause(0.2)

```

Pxy

```

%param = [L_df, L_gf, L_gd, L_fe, L_df , L_de]
Pi_4 = Pi_4 + 1;
plot(Pxy)

```

end

```

clc, clear all, close all
format long
hold on

```

```

fi3= 30;
fi5= 120;

```

```

Cxy(0;0)
Axy(- 1,83;18,25)
Fxy(- 38.03;20.7)

```

```

Lfg=11.188;
Lgh=50.825;
Lcd=15.995;
Ldh=14.106;
Lhe=98.386;
Lab=96.198;
Lbe=17.695;
Lep=83.767;

```

```
% П р я м а я з а д а ч а к и н е м а т и к и
```

```

Xg=Xf+Lfg*cos(fi5);
Yg=Yf+Lfg*sin(fi5);

```

```

Xd=Xc+Lcd*cos(fi3);
Yd=Yc+Lcd*sin(fi3);

```

```
Lgd=((Xd- Xg)^2+(Yd- Yg)^2)^(1/2);
```

```
figd=atan2((Yd- Yg),(Xd- Xg));
```

```
%GHD
```

```

%lgh*e6- ldh*e4- lgd*egd=0;
%lgh*e6- lgd*egd=ldh*e4;

```

```

lgh^2+lgd^2- 2*lgh*lgd*cos(fi6- figd)=ldh^2;
2*lgh*lgd*cos(fi6- figd)=lgh^2+lgd^2- ldh^2;

```

```
fi6=figd+acos((lgh^2+lgd^2- ldh^2),(2*lgh*lgd));
```

```

Xh=Xg+Lgh*cos(fi6);
Yh=Yg+Lgh*sin(fi6);

```

```
fi4=atan2((Yh- Yd),(Xh- Xd));
```

```

Xe=Xd+Lde*cos(fi4);
Ye=Yd+Lde*sin(fi4);

```

```
Lae=((Xe- Xa)+(Ye- Ya))^(1/2);
```

```
fiae=atan2((Ye- Ya),(Xe- Xa));
```

```

%ABE
%lab*e1+lbe*e2-lae*eaе=0;
%lbe*e2=lae*eaе-lab*e1;

lbe^2=lae^2+lab^2-2*lae*lab*cos(fiae-fi1);
fi1=fiae+acos((lae^2+lab^2-lbe^2)/(2*lae*lab));

Xb=Xa+Lab*cos(fi1);
Yb=Ya+Lab*sin(fi1);

fi4=atan2((Yb-Ya),(Xb-Xa));

Xp=Xb+Lbp*cos(fi2);
Yp=Yb+Lbp*sin(fi2);

plot(Xp,Yp, 'r- ')
end

```

Г о р и з о н т а л ь х о д П М

```
clc
```

```
clear
```

```
Pi_4 = 45;
```

```
Pi_6 = 236;
```

```
Cxy = [0 0];
```

```
Hxy = [- 26 16];
```

```
Axy = [0 25];
```

```
Dxy = [43.5 - 3];
```

```
Gxy = [7 - 8];
```

```
Fxy = [44 - 11];
```

```
Exy = [82 119];
```

```
a_3 = 16;
```

```
a_2 = 15.5;
```

```
L_ab = 88.5;
```

```
L_bp = 96.5;
```

```
L_cd = 22;
```

```
L_de = 110;
```

```
L_ep = 76;
```

```
L_be = 21.5;
```

```
L_hg = 11;
```

```

L_ge = 42;
L_df = 13;
L_gf = 41.5;
L_fe = 98;

figure;
while(Pi_6 < 283)

    CS_P_4 = [cosd(Pi_4), sind(Pi_4)];
    Dxy = Cxy + L_cd * CS_P_4;

    CS_Pi_6 = [cosd(Pi_6), sind(Pi_6)];
    Gxy = Hxy + L_hg * CS_Pi_6;
    L_gd = sqrt((Dxy(1) - Gxy(1))^2 + (Dxy(2) - Gxy(2))^2);
    x_1=(Dxy(2) - Gxy(2));
    y_1=(Dxy(1) - Gxy(1));
    Pi_gd = atan2d(x_1,y_1);
    % Pi_gd = atand((Dxy(2) - Gxy(2)) / (Dxy(1) - Gxy(1)));

    x = (L_gf^2 + L_gd^2 - L_df^2) / (2 * L_gf * L_gd);
    if x <= 2
        Pi_5 = Pi_gd + acosd(x);
        CS_Pi_5 = [cosd(Pi_5), sind(Pi_5)];
        Fxy = Gxy + L_gf * CS_Pi_5;
        x_2=(Fxy(2) - Dxy(2));
        y_2=(Fxy(1) - Dxy(1));
        Pi_3 = atan2d(x_2,y_2);
        %Pi_3 = atand((Fxy(2) - Dxy(2)) / (Fxy(1) - Dxy(1)));

        CS_Pi_3_a_3 = [cosd(Pi_3 - a_3), sind(Pi_3 - a_3)];
        Exy = Dxy + L_de * CS_Pi_3_a_3;
        L_ae = sqrt( (Exy(1) - Axy(1))^2 + (Exy(2) - Axy(2))^2);
        x_3=(Exy(2) - Axy(2));
        y_3=(Exy(1) - Axy(1));
        Pi_ae = atan2d(x_3,y_3);
        % Pi_ae = atand((Exy(2) - Axy(2)) / (Exy(1) - Axy(1)));

    else
        disp('Oh! x > 2')
        break;
    end
end

```

```

y = (L_ab^2 + L_ae^2 - L_be^2) / (2 * L_ae * L_ab);
if y <= 2
    Pi_1 = Pi_ae + acosd(y);
    CS_Pi_1 = [cosd(Pi_1), sind(Pi_1)];
    Bxy = Axy + L_ab * CS_Pi_1;
    x_4=(Exy(2) - Bxy(2));
    y_4=(Exy(1) - Bxy(1));
    Pi_2 = atan2d(x_4,y_4);
    %Pi_2 = atand(Exy(2) - Bxy(2)) / (Exy(1) - Bxy(1));
    CS_Pi_2_a_2 = [cosd(Pi_2 - a_2), sind(Pi_2 - a_2)];
    Pxy = Bxy + L_bp * CS_Pi_2_a_2;
else
    disp('Oh! y > 2')
    break;
end

    plot([Cxy(1) Dxy(1)],[Cxy(2) Dxy(2)],'r- ', [Cxy(1) Dxy(1)],[Cxy(2)
Dxy(2)],'bo', ...
    [Hxy(1) Gxy(1)],[Hxy(2) Gxy(2)], 'r- ', [Hxy(1) Gxy(1)],[Hxy(2)
Gxy(2)], 'bo', ...
    [Fxy(1) Gxy(1)],[Fxy(2) Gxy(2)], 'r- ', [Fxy(1) Gxy(1)],[Fxy(2)
Gxy(2)], 'bo', ...
    [Fxy(1) Dxy(1)],[Fxy(2) Dxy(2)], 'b- ', [Fxy(1) Dxy(1)],[Fxy(2)
Dxy(2)], 'bo', ...
    [Fxy(1) Exy(1)],[Fxy(2) Exy(2)], 'b- ', [Fxy(1) Exy(1)],[Fxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
    [Axy(1) Bxy(1)],[Axy(2) Bxy(2)], 'k- ', [Axy(1) Bxy(1)],[Axy(2)
Bxy(2)], 'bo', ...
    [Bxy(1) Exy(1)],[Bxy(2) Exy(2)], 'g- ', [Bxy(1) Exy(1)],[Bxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
    [Dxy(1) Exy(1)],[Dxy(2) Exy(2)], 'b- ', [Dxy(1) Exy(1)],[Dxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
    [Bxy(1) Pxy(1)],[Bxy(2) Pxy(2)], 'g- ', [Bxy(1) Pxy(1)],[Bxy(2)
Pxy(2)], 'bo', ...
    [Pxy(1) Exy(1)],[Pxy(2) Exy(2)], 'g- ', [Pxy(1) Exy(1)],[Pxy(2)
Exy(2)], 'ro')

    xlim([- 30 250]);
    ylim([- 30 250]);
    pause(0.2)

Pxy
%param = [L_df, L_gf, L_gd, L_fe, L_df , L_de]

```

```
Pi_6 = Pi_6 + 1;  
plot(Pxy)  
end
```

```
Вертикаль ход ПМ  
clc, clear all, close all  
format long  
hold on
```

```
Pi_4 = - 14;  
Pi_6 = - 56;
```

```
Axy = [0 0];  
Cxy = [0 - 27.54];  
Hxy = [- 31.03 - 4.8];  
%Dxy = [43.5 - 3];
```

```
%Gxy = [7 - 8];  
%Fxy = [44 - 11];  
%Exy = [82 119];
```

```
a_3 = 16;  
a_2 = 15.5;
```

```
L_hg = 16.750;  
L_gf = 46.5570;  
L_cd = 24.9190;  
L_de = 123.7530;  
L_fe = 109.9870;  
L_df = 14.480;  
L_ab = 98.670;  
L_bp = 108.6910;  
L_be = 24.50;  
L_ep = 85.1010;
```

```
figure;  
while(Pi_4 < 40)  
    CS_P_4 = [cosd(Pi_4), sind(Pi_4)];  
    Dxy = Cxy + L_cd * CS_P_4;  
  
    CS_Pi_6 = [cosd(Pi_6), sind(Pi_6)];  
    Gxy = Hxy + L_hg * CS_Pi_6;
```

```

L_gd = sqrt((Dxy(1) - Gxy(1))^2 + (Dxy(2) - Gxy(2))^2);
    x_1=(Dxy(2) - Gxy(2));
    y_1=(Dxy(1) - Gxy(1));
Pi_gd = atan2d(x_1,y_1);
% Pi_gd = atand((Dxy(2) - Gxy(2)) / (Dxy(1) - Gxy(1)));
x = (L_gf^2 + L_gd^2 - L_df^2) / (2 * L_gf * L_gd);
if x <= 2
    Pi_5 = Pi_gd + acosd(x);
    CS_Pi_5 = [cosd(Pi_5), sind(Pi_5)];
    Fxy = Gxy + L_gf * CS_Pi_5;
    x_2=(Fxy(2) - Dxy(2));
    y_2=(Fxy(1) - Dxy(1));
    Pi_3 = atan2d(x_2,y_2);
    %Pi_3 = atand((Fxy(2) - Dxy(2)) / (Fxy(1) - Dxy(1)));

    CS_Pi_3_a_3 = [cosd(Pi_3 - a_3), sind(Pi_3 - a_3)];
    Exy = Dxy + L_de * CS_Pi_3_a_3;
    L_ae = sqrt( (Exy(1) - Axy(1))^2 + (Exy(2) - Axy(2))^2);
    x_3=(Exy(2) - Axy(2));
    y_3=(Exy(1) - Axy(1));
    Pi_ae = atan2d(x_3,y_3);
    % Pi_ae = atand((Exy(2) - Axy(2)) / (Exy(1) - Axy(1)));
else
    disp('Oh! x > 2')
    break;
end

y = (L_ab^2 + L_ae^2 - L_be^2) / (2 * L_ae * L_ab);
if y <= 2
    Pi_1 = Pi_ae + acosd(y);
    CS_Pi_1 = [cosd(Pi_1), sind(Pi_1)];
    Bxy = Axy + L_ab * CS_Pi_1;
    x_4=(Exy(2) - Bxy(2));
    y_4=(Exy(1) - Bxy(1));
    Pi_2 = atan2d(x_4,y_4);
    %Pi_2 = atand(Exy(2) - Bxy(2)) / (Exy(1) - Bxy(1));
    CS_Pi_2_a_2 = [cosd(Pi_2 - a_2), sind(Pi_2 - a_2)];
    Pxy = Bxy + L_bp * CS_Pi_2_a_2;
else
    disp('Oh! y > 2')
    break;
end

```

```

    plot([Cxy(1) Dxy(1)],[Cxy(2) Dxy(2)],'r- ', [Cxy(1) Dxy(1)],[Cxy(2)
Dxy(2)],'bo', ...
        [Hxy(1) Gxy(1)],[Hxy(2) Gxy(2)], 'r- ', [Hxy(1) Gxy(1)],[Hxy(2)
Gxy(2)], 'bo', ...
        [Fxy(1) Gxy(1)],[Fxy(2) Gxy(2)], 'r- ', [Fxy(1) Gxy(1)],[Fxy(2)
Gxy(2)], 'bo', ...
        [Fxy(1) Dxy(1)],[Fxy(2) Dxy(2)], 'b- ', [Fxy(1) Dxy(1)],[Fxy(2)
Dxy(2)], 'bo', ...
        [Fxy(1) Exy(1)],[Fxy(2) Exy(2)], 'b- ', [Fxy(1) Exy(1)],[Fxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
        [Axy(1) Bxy(1)],[Axy(2) Bxy(2)], 'k- ', [Axy(1) Bxy(1)],[Axy(2)
Bxy(2)], 'bo', ...
        [Bxy(1) Exy(1)],[Bxy(2) Exy(2)], 'g- ', [Bxy(1) Exy(1)],[Bxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
        [Dxy(1) Exy(1)],[Dxy(2) Exy(2)], 'b- ', [Dxy(1) Exy(1)],[Dxy(2)
Exy(2)], 'bo', ...
        [Bxy(1) Pxy(1)],[Bxy(2) Pxy(2)], 'g- ', [Bxy(1) Pxy(1)],[Bxy(2)
Pxy(2)], 'bo', ...
        [Pxy(1) Exy(1)],[Pxy(2) Exy(2)], 'g- ', [Pxy(1) Exy(1)],[Pxy(2)
Exy(2)], 'ro')

    xlim([- 30 260]);
    ylim([- 30 260]);
    pause(0.2)

Pxy
    %param = [L_df, L_gf, L_gd, L_fe, L_df , L_de]
    Pi_4 = Pi_4 + 1;
plot(Pxy)

end

```


ҚОСЫМША Б

Матлаб бағдарламасындағы есептеу бағдарламасы (Қоссырғақты ПМ-дің ҚПС)

```
clc, clear all, clear
```

```
format short g
```

```
XE=- 69.5361; YE=67.9353;
```

```
IAB=60.0174; IBC=100.0207; ICD=47; IBD=47; IED=60.7365;
```

```
xA=- 7.5012; yA=2.0817;
```

```
xC=- 2.5553;yC=1.7562;
```

```
xD=50.0628;yD=- 20.0408;
```

```
%xE(4)=45; yE(4)=- 13.5647;
```

```
% XD=- 46.09; YD=40.07;
```

```
YA=[yA+0 yA+6 yA+12 yA+18 yA+24 yA+30 yA+36 yA+42 yA+48  
yA+54 yA+60];
```

```
XA=[xA xA xA xA xA xA xA xA xA xA xA];
```

```
YC=[yC yC yC yC yC yC yC yC yC yC yC];
```

```
XC=[- 97.88+xC - 87.8615+xC - 80.2895+xC - 73.4561+xC -  
66.8010+xC - 59.9717+xC - 52.6287+xC - 44.3120+xC - 34.1764+xC -  
19.9298+xC - 0+xC];
```

```
YD=[12.2289 16.8936 21.2473 25.6225 30.1103 34.7424 39.5123  
44.3620 48.0000 53.1744 52.9410];
```

```
XD=[- 45.2853 - 36.5721 - 30.6452 - 25.9220 - 21.9749 - 18.6321 -  
15.8214 - 13.5222 - 11.7486 - 10.5829 - 10.6418];
```

```
YB=[57.7579 64.8416 71.1562 77.1822 82.9831 88.4872 93.4959  
97.6026 99.9160 97.7563 83.3333];
```

```
XB=[- 16.2489 - 11.7329 - 10.0271 - 9.87230 - 10.9995 - 13.3883 -  
17.1530 - 22.5466 - 30.0787 - 41.0534 - 55.2771];
```

```
% syms Fi3w Fi4w Fi5w UP
```

```
b=[0 - 1 0 0]';
```

```
% u=[Fi3w Fi4w Fi5w UP]';
```

```
names = {'A1' 'A2' 'A3' 'A4' 'A5' 'A6' 'A7' 'A8' 'A9' 'A10' 'A11'};
```

```
names2 = {'u1' 'u2' 'u3' 'u4' 'u5' 'u6' 'u7' 'u8' 'u9' 'u10' 'u11'};
```

```
names3 = {'c1' 'c2' 'c3' 'c4' 'c5' 'c6' 'c7' 'c8' 'c9' 'c10' 'c11'};
```

```
names4 = {'w1' 'w2' 'w3' 'w4' 'w5' 'w6' 'w7' 'w8' 'w9' 'w10' 'w11'};
```

```

for i = 1:length(names)
    s.(names{i}) = [YA(i) - YB(i) YB(i) - YC(i) 0 - 1;
        XB(i) - XA(i) XC(i) - XB(i) 0 0;
        YA(i) - YB(i) YB(i) - YD(i) YD(i) - YE 0;
        XB(i) - XA(i) XD(i) - XB(i) XE - XD(i) 0;];

    s.(names2{i})=s.(names{i})*b;
    Fi3w(i)=s.(names2{i})(1);
    Fi4w(i)=s.(names2{i})(2);
    Fi5w(i)=s.(names2{i})(3);
    UP(i)=s.(names2{i})(4);

end

for i = 1:length(names3)
    s.(names3{i}) = [(XB(i) - XA(i))*Fi3w(i)^2+(XC(i) - XB(i))*(Fi4w(i))^2
;
    (YB(i) - YA(i))*(Fi3w(i))^2+(YC(i) - YB(i))*(Fi4w(i))^2;
    (XB(i) - XA(i))*(Fi3w(i))^2+(XD(i) - XB(i))*(Fi4w(i))^2+(XE -
XD(i))*(Fi5w(i))^2;
    (YB(i) - YA(i))*(Fi3w(i))^2+(YD(i) - YB(i))*(Fi4w(i))^2+(YE -
YD(i))*(Fi5w(i))^2;];

    s.(names4{i})=s.(names{i})*s.(names3{i})
    Fi3ww(i)=s.(names4{i})(1);
    Fi4ww(i)=s.(names4{i})(2);
    Fi5ww(i)=s.(names4{i})(3);
    wP(i)=s.(names4{i})(4);
end

%Analogus and velocities
clc, clear all, clear
format short g
XE=- 69.5361; YE=67.9353;
IAB=60.0174; IBC=100.0207; ICD=47; IBD=47; IED=60.7365;

xA=- 7.5012; yA=2.0817;
xC=- 2.5553;yC=1.7562;
xD=50.0628;yD=- 20.0408;

%xE(4)=45; yE(4)=- 13.5647;

```

```
% XD=- 46.09; YD=40.07;
```

```
YA=[yA+0 yA+6 yA+12 yA+18 yA+24 yA+30 yA+36 yA+42 yA+48  
yA+54 yA+60];
```

```
XA=[xA xA xA xA xA xA xA xA xA xA xA];
```

```
YC=[yC yC yC yC yC yC yC yC yC yC yC];
```

```
XC=[- 97.88+xC - 87.8615+xC - 80.2895+xC - 73.4561+xC -  
66.8010+xC - 59.9717+xC - 52.6287+xC - 44.3120+xC - 34.1764+xC -  
19.9298+xC - 0+xC];
```

```
YD=[12.2289 16.8936 21.2473 25.6225 30.1103 34.7424 39.5123  
44.3620 48.0000 53.1744 52.9410];
```

```
XD=[- 45.2853 - 36.5721 - 30.6452 - 25.9220 - 21.9749 - 18.6321 -  
15.8214 - 13.5222 - 11.7486 - 10.5829 - 10.6418];
```

```
YB=[57.7579 64.8416 71.1562 77.1822 82.9831 88.4872 93.4959  
97.6026 99.9160 97.7563 83.3333];
```

```
XB=[- 16.2489 - 11.7329 - 10.0271 - 9.87230 - 10.9995 - 13.3883 -  
17.1530 - 22.5466 - 30.0787 - 41.0534 - 55.2771];
```

```
% syms Fi3w Fi4w Fi5w UP
```

```
b=[0 - 1 0 0]';
```

```
% u=[Fi3w Fi4w Fi5w UP]';
```

```
names = {'A1' 'A2' 'A3' 'A4' 'A5' 'A6' 'A7' 'A8' 'A9' 'A10' 'A11'};
```

```
names2 = {'u1' 'u2' 'u3' 'u4' 'u5' 'u6' 'u7' 'u8' 'u9' 'u10' 'u11'};
```

```
names3 = {'c1' 'c2' 'c3' 'c4' 'c5' 'c6' 'c7' 'c8' 'c9' 'c10' 'c11'};
```

```
names4 = {'w1' 'w2' 'w3' 'w4' 'w5' 'w6' 'w7' 'w8' 'w9' 'w10' 'w11'};
```

```
for i = 1:length(names)
```

```
    s.(names{i}) = [YA(i)- YB(i) YB(i) - YC(i) 0 - 1;
```

```
        XB(i)- XA(i) XC(i)- XB(i) 0 0;
```

```
        YA(i)- YB(i) YB(i)- YD(i) YD(i)- YE 0;
```

```
        XB(i)- XA(i) XD(i)- XB(i) XE- XD(i) 0;];
```

```
    s.(names2{i})=s.(names{i})*b;
```

```
    Fi3w(i)=s.(names2{i})(1);
```

```
    Fi4w(i)=s.(names2{i})(2);
```

```
    Fi5w(i)=s.(names2{i})(3);
```

```
    UP(i)=s.(names2{i})(4);
```

```
end
```

```

for i = 1:length(names3)
    s.(names3{i}) = [(XB(i) - XA(i))*Fi3w(i)^2 + (XC(i) - XB(i))*(Fi4w(i))^2
;
    (YB(i) - YA(i))*(Fi3w(i))^2 + (YC(i) - YB(i))*(Fi4w(i))^2;
    (XB(i) - XA(i))*(Fi3w(i))^2 + (XD(i) - XB(i))*(Fi4w(i))^2 + (XE -
XD(i))*(Fi5w(i))^2;
    (YB(i) - YA(i))*(Fi3w(i))^2 + (YD(i) - YB(i))*(Fi4w(i))^2 + (YE -
YD(i))*(Fi5w(i))^2];

    s.(names4{i}) = s.(names{i}) * s.(names3{i})
    Fi3ww(i) = s.(names4{i})(1);
    Fi4ww(i) = s.(names4{i})(2);
    Fi5ww(i) = s.(names4{i})(3);
    wP(i) = s.(names4{i})(4);
end

```

ҚОСЫМША В

Үш еркіндік дәрежесі бар цилиндрлік координаталар жүйесінде жұмыс жасайтын ПМ-ды беріктікке есептегендегі Solid Works бағдарламасындағы есептеуі



Description

No Data

Simulation of ++++++

Date: пятница, 28 января 2022 г.

Designer: Solidworks

Study name: Static 2

Analysis type: Static

Table of Contents

Description 93

Assumptions 94

Model Information 94

Study Properties 101

Units 101

Material Properties 102

Loads and Fixtures 103

Connector Definitions 103

Contact Information 104

Mesh information 104

Sensor Details 105

Resultant Forces 105

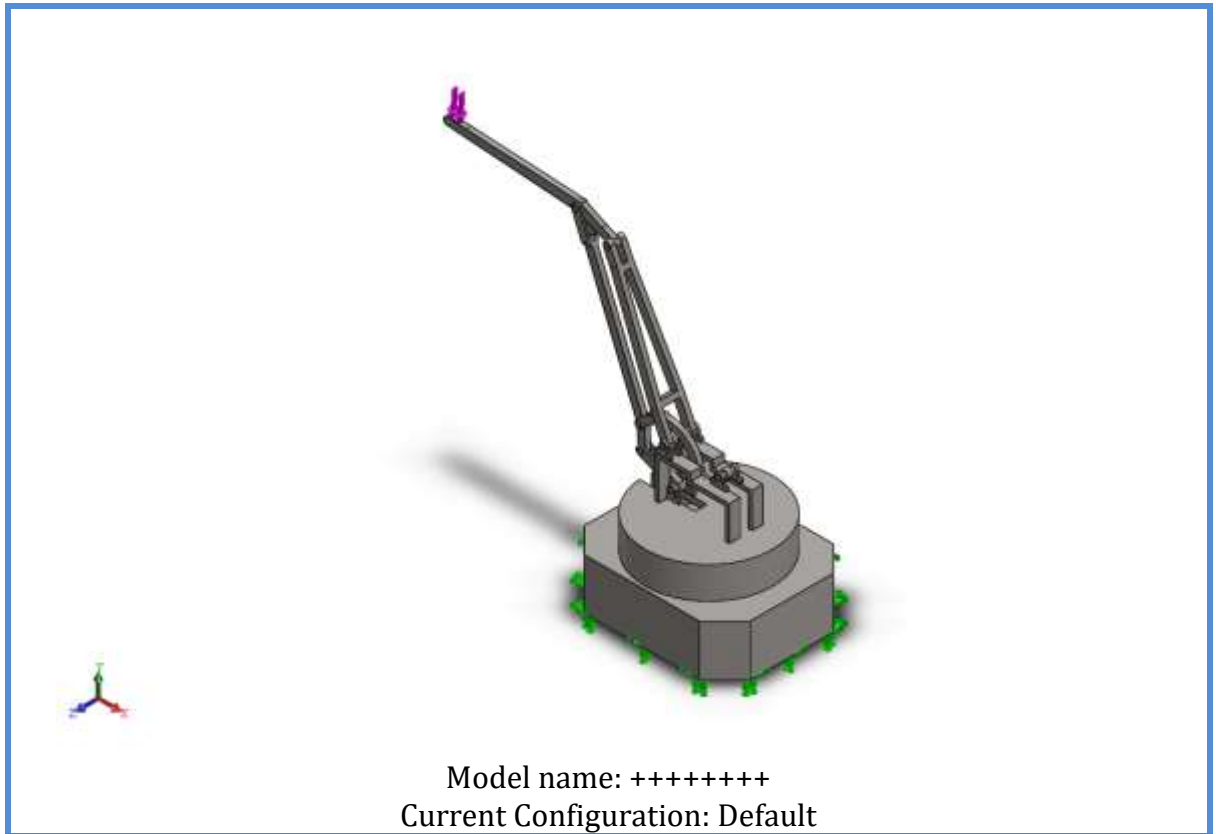
Beams Ошибка! Закладка не определена.


Study Results 106





Conclusion Ошибка! Закладка не определена.





Appendix Ошибка! Закладка не определена.


Assumptions
Model Information







Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Бобышка-Вытянуть2 	Solid Body	Mass:13,9666 kg Volume:0,001790 58 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:136,872 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\123+.SLD PRT

<p>Вырез-Вытянуть1</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:48,3011 kg Volume:0,00619245 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:473,351 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\AB.SLDPRT</p>
<p>Скругление1</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:5,43966 kg Volume:0,000697392 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:53,3086 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\CD - 149.5.SLDPRT</p>
<p>Вырез-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:12,7713 kg Volume:0,00163735 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:125,159 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\DHE -660 - 87.SLDPRT</p>
<p>Скругление1</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:3,74131 kg Volume:0,000479655 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:36,6648 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\FG.SLDPRT</p>

<p>Бобышка-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:0,604953 kg Volume:7,75581e-05 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:5,92854 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 41.SLDPRT</p>
<p>Бобышка-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:0,604953 kg Volume:7,75581e-05 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:5,92854 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 41.SLDPRT</p>
<p>Бобышка-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:0,604953 kg Volume:7,75581e-05 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:5,92854 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 41.SLDPRT</p>
<p>Бобышка-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:0,604953 kg Volume:7,75581e-05 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:5,92854 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 41.SLDPRT</p>

<p>Бобышка-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:0,679998 kg Volume:8,71792e-05 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:6,66398 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 53.SLDPRT</p>
<p>Бобышка-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:0,679998 kg Volume:8,71792e-05 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:6,66398 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 53.SLDPRT</p>
<p>Бобышка-Вытянуть3</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:0,980177 kg Volume:0,000125 664 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:9,60573 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 62.SLDPRT</p>
<p>Бобышка-Вытянуть4</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:1,05522 kg Volume:0,000135 285 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:10,3412 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 89.SLDPRT</p>

<p>Бобышка-Вытянуть4</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:1,05522 kg Volume:0,000135 285 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:10,3412 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Вал 89.SLDPRT</p>
<p>Скругление5</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:12,5774 kg Volume:0,001612 49 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:123,259 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Деталь1.S LDPRT</p>
<p>Вырез-Вытянуть8</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:578,5 kg Volume:0,074166 7 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:5 669,3 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Основа.SL DPRT</p>
<p>Вырез-Вытянуть1</p> 	<p>Solid Body</p>	<p>Mass:1 053,05 kg Volume:0,135007 m³ Density:7 800 kg/m³ Weight:10 319,9 N</p>	<p>C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Основани е.SLDPRT</p>

Вырез-Вытянуть2[1]	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129 032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронште йн двойной.SLDPRT
Вырез-Вытянуть2[2]	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129 032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронште йн двойной.SLDPRT
Вырез-Вытянуть2[1]	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129 032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронште йн двойной.SLDPRT
Вырез-Вытянуть2[2]	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129 032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop \Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронште йн двойной.SLDPRT

Бобышка-Вытянуть1	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронштейн.SLDPRT
Бобышка-Вытянуть1	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронштейн.SLDPRT
Бобышка-Вытянуть1	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронштейн.SLDPRT
Бобышка-Вытянуть1	Solid Body	Mass:1,00645 kg Volume:0,000129032 m ³ Density:7 800 kg/m ³ Weight:9,86321 N	C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау\Кронштейн.SLDPRT


Study Properties


Study name	Static 2
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SOLIDWORKS document (C:\Users\Азамат Мустафа\Desktop\Большой - Чертеж картезиан манипулятор — копия\Прототип Алатау)

Units

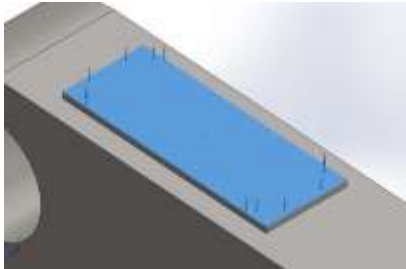
Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	<p>Name: Простая углеродистая сталь</p> <p>Model type: Linear Elastic Isotropic</p> <p>Default failure criterion: Unknown</p> <p>Yield strength: 2,48168e+08 N/m²</p> <p>Tensile strength: 4,82549e+08 N/m²</p> <p>Elastic modulus: 2e+11 N/m²</p> <p>Poisson's ratio: 0,32</p> <p>Mass density: 7 800 kg/m³</p> <p>Shear modulus: 7,6e+10 N/m²</p> <p>Thermal expansion coefficient: 1,2e-05 /Kelvin</p>	<p>SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть2)(123+-1), SolidBody 1(Вырез-Вытянуть1)(AB-1), SolidBody 1(Скругление1)(CD -129.5-1), SolidBody 1(Вырез-Вытянуть3)(DHE -660 -87-1), SolidBody 1(Скругление1)(FG-2), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть3)(Вал 41-1), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть3)(Вал 41-2), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть3)(Вал 41-3), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть3)(Вал 41-4), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть3)(Вал 53-1), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть3)(Вал 53-2), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть3)(Вал 62-1), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть4)(Вал 89-1), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть4)(Вал 89-2), SolidBody 1(Скругление5)(Деталь1-1), SolidBody 1(Вырез-Вытянуть2[1])(Сборка основания — копия-1/Кронштейн двойной-2), SolidBody 2(Вырез-Вытянуть2[2])(Сборка основания — копия-1/Кронштейн двойной-2), SolidBody 1(Вырез-Вытянуть2[1])(Сборка основания — копия-</p>

		1/Кронштейн двойной-4), SolidBody 2(Вырез-Вытянуть2[2])(Сборка основания — копия-1/Кронштейн двойной-4), SolidBody 1(Бобышка-Вытянуть1)(Сборка основания — копия-1/Кронштейн-10), SolidBody 1(Бобышка-
Curve Data:N/A		
	Name: Простая углеродистая сталь Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Unknown Yield strength: 2,20594e+08 N/m^2 Tensile strength: 3,99826e+08 N/m^2 Elastic modulus: 2,1e+11 N/m^2 Poisson's ratio: 0,28 Mass density: 7 800 kg/m^3 Shear modulus: 7,9e+10 N/m^2 Thermal expansion coefficient: 1,3e-05 /Kelvin	SolidBody 1(Вырез-Вытянуть8)(Основание-1), SolidBody 1(Вырез-Вытянуть1)(Основание-1)
Curve Data:N/A		

Loads and Fixtures

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 1 000 N

Connector Definitions

No Data

Contact Information

Contact	Contact Image	Contact Properties
Global Contact		Type: Bonded Component 1: component(s) Options: Compatible mesh

Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	67,2087 mm
Tolerance	3,36043 mm
Mesh Quality Plot	High
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off

Mesh information - Details

Total Nodes	26932
Total Elements	14071
Maximum Aspect Ratio	89,784
% of elements with Aspect Ratio < 3	68,9
% of elements with Aspect Ratio > 10	7,16
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:11
Computer name:	



Sensor Details

No Data

Resultant Forces

Reaction forces

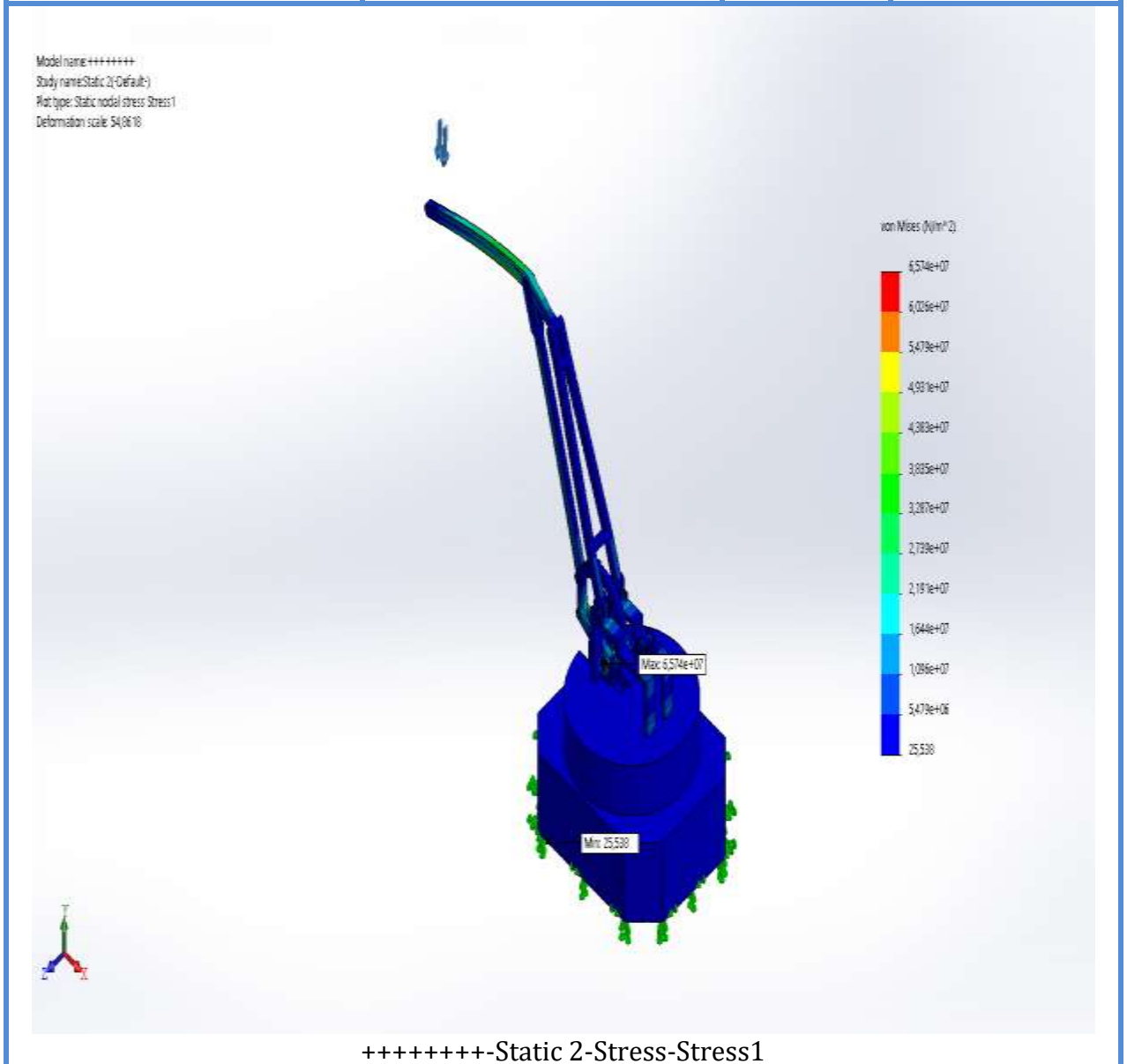
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	72,0645	990,866	0,0350747	993,483

Reaction Moments

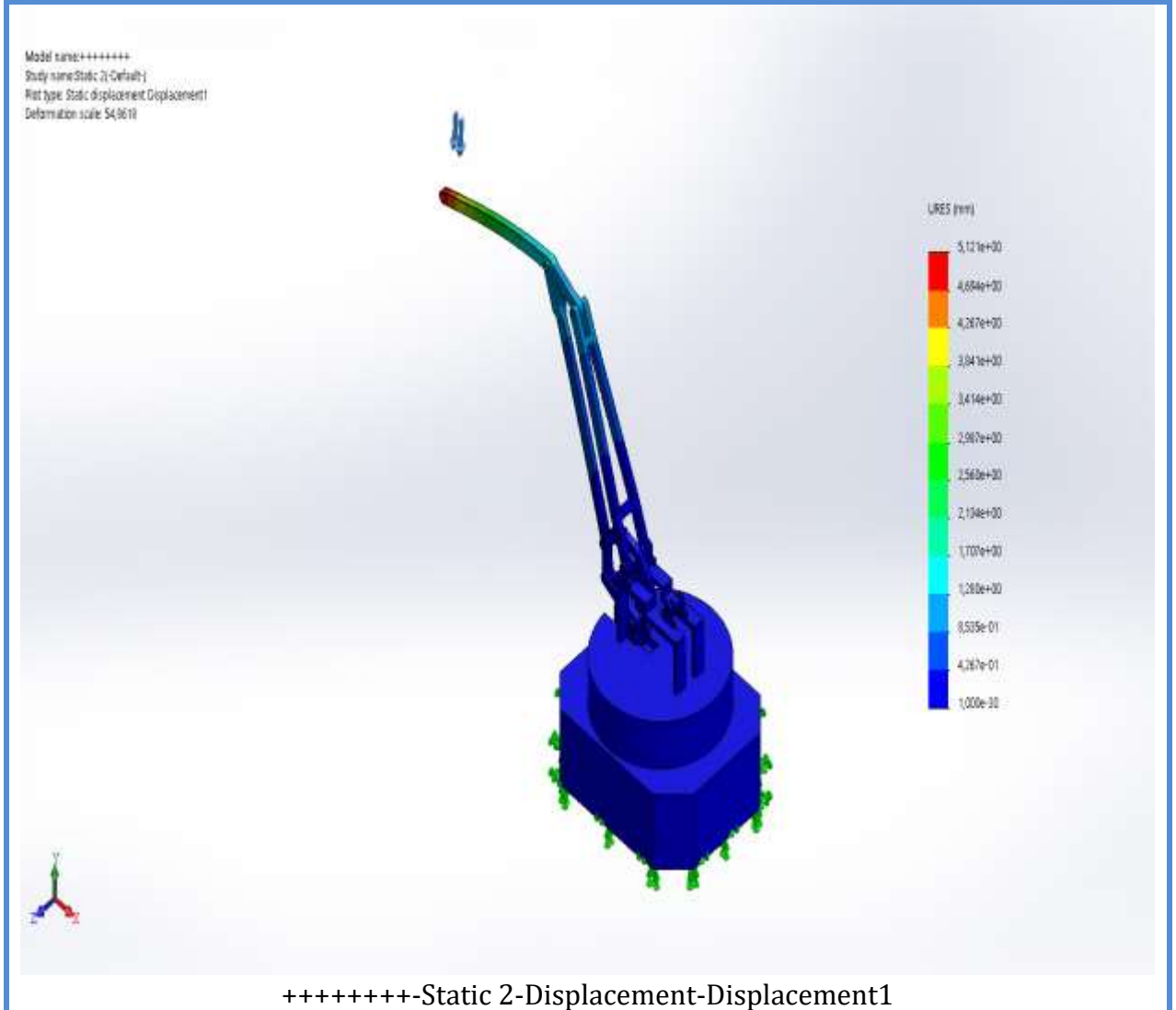
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

Study Results

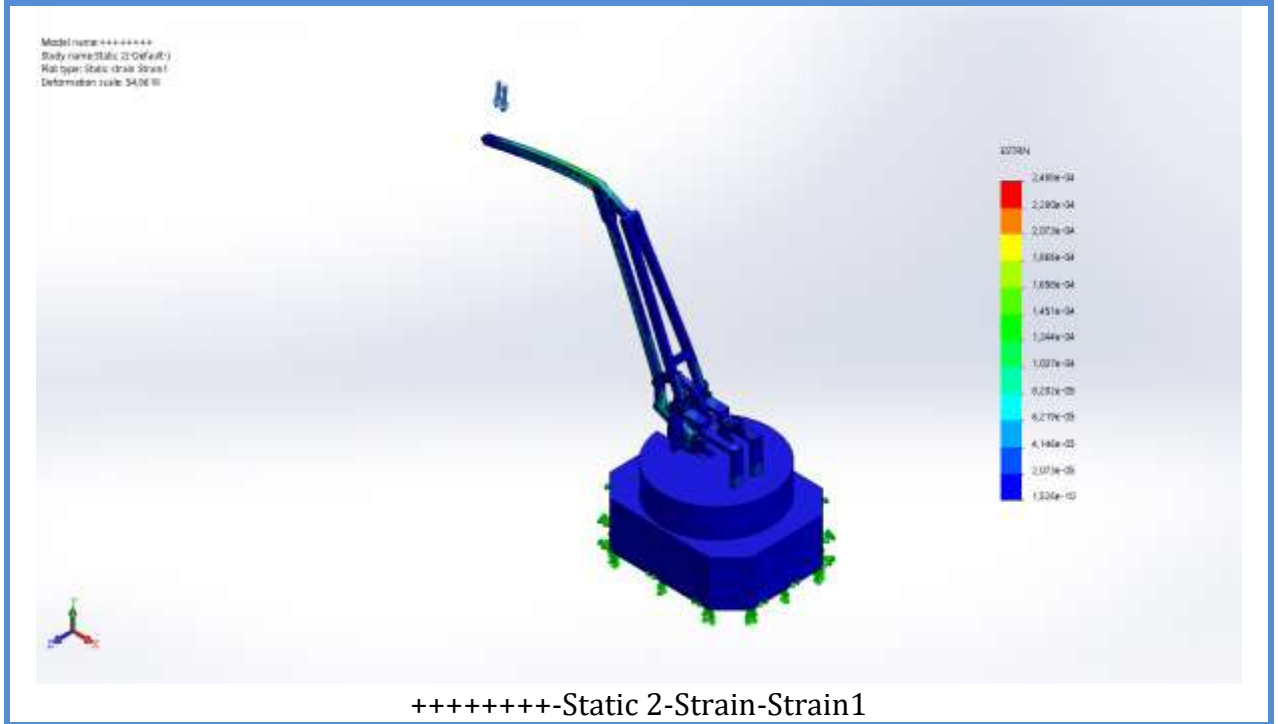
Name	Type	Min	Max
Stress1 Напряженное состояние	VON: von Mises Stress	25,538 N/m ² Node: 23558	6,574e+07 N/m ² = 65,7МПА Node: 10684 Предел текучести - 235 Мега паскальдан аспауы керек



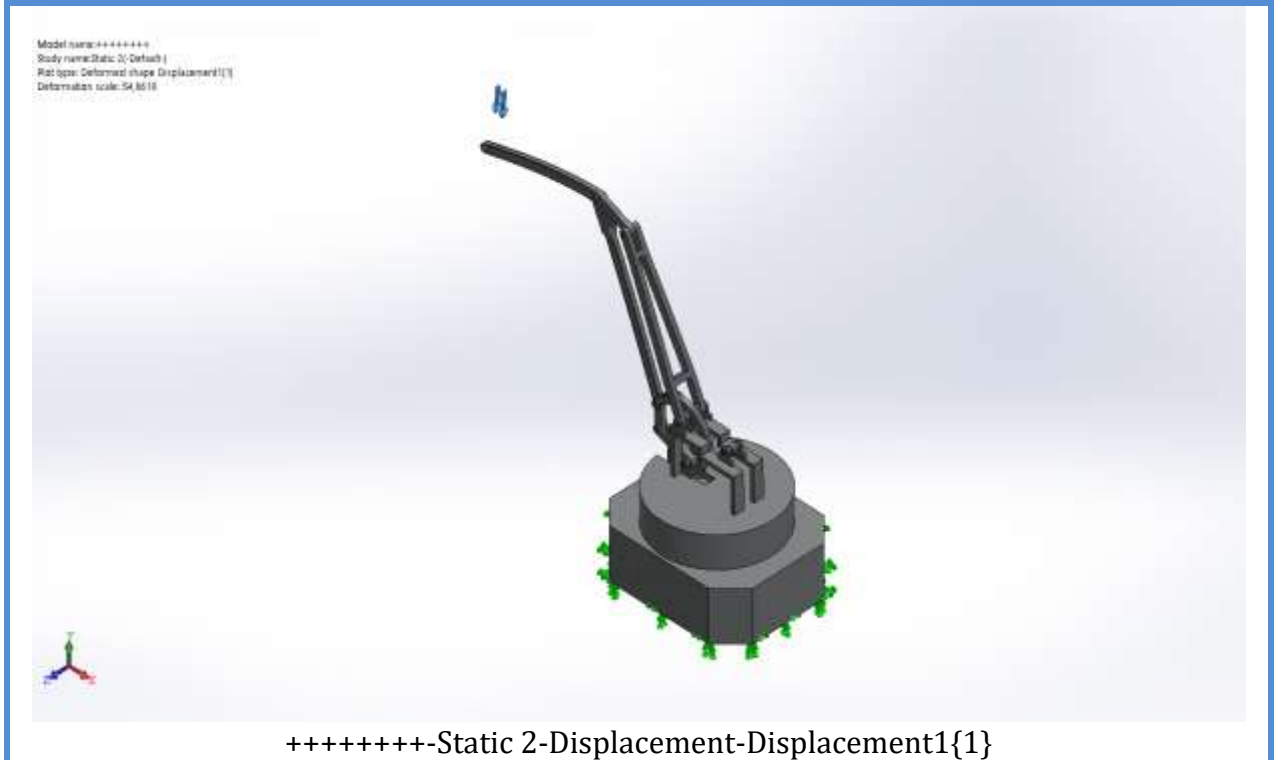
Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement Орын ауыстыру канша болу керек	0,000e+00 mm Node: 12259	5,121e+00 mm Node: 1182



Name	Type	Min	Max
Strain1 Эквивалентная деформация -	ESTRN: Equivalent Strain	1,526e-10 Element: 12713	2,488e-04 Element: 430



Name	Type
Displacement1{1}	Deformed shape



Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Automatic	3,775e+00	8,638e

	Мынау макс мин неше болу керек сталь 3	Node: 10684	+06 Node: 23558
--	--	-------------	-----------------------



Name	Type	Min	Max
Equation1	"VON: von Mises Stress"	2,554e+01 SI Node: 23558	6,574e+07 SI Node: 10684

