ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
«Ғ. Дәукеев атындағы АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»
Электроника және робот техника кафедрасы

«ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ»
Кафедра меңгерушісі
к.т.н., доцент Чигамбаев Т.О.
(ғылыми дәрежесі, атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2020 ж.
(қолы)

ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА

Тақырыбы:____Икемді робот қозғалысын теңгеру және оларды талдау_____
Мамандығы ___5В071600 – Аспап жасау_____
Орындаған ____Джумагулов Даулет Кажимуратович ___ Тобы _ПСк-16-1____
(Т.А.Ж.)
Ғылыми жетекшісі _____доктор PhD, доцент Жауыт Әлғазы_____
(ғылыми дәрежесі,атағы, Т.А.Ж.)
Кеңесшілер:
экономикалық бөлім бойынша:
_____доцент АУЭС Боканова Г.Ш._____
(ғылыми дәрежесі,атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2020 ж.
(қолы)
өміртіршілігі қауіпсіздігі бойынша:
_____к.т.н., доцент Абикенова А.А._____
(ғылыми дәрежесі,атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2020 ж.
(қолы)
есептеу техникасын қолдану бойынша:
_____доктор PhD, доцент Жауыт Әлғазы_____
(ғылыми дәрежесі,атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2020 ж.
(қолы)
Нормобақылаушы:_____аға оқытушы Нұрғизат Е.С._____
(ғылыми дәрежесі,атағы, Т.А.Ж.)
_____ «__14_» ____06_____2020 ж.
(қолы)
Пікір беруші:_____к.т.н., аға оқытушы Ожикенов К.А._____
(ғылыми дәрежесі,атағы, Т.А.Ж.)
_____ «____» _____2020 ж.
(қолы)

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
«Ғ. Дәукеев атындағы АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»
Ғарыштық инженерия және
телекоммуникация институты факультеті

Электроника және робот техникасы
кафедрасы

Мамандығы 5В071600 – Аспап жасау

Дипломдық жобаны орындауға берілген

ТАПСЫРМА

Студент Джумагулов Даулет Кажимуратович
(Т.А.Ж.)
Жобаның тақырыбы: Икемді робот қозғалысын теңгеру және оларды талдау әдістері

2020 ж. «_ _» _____ №_____ университет бұйрығымен бекітілді.
Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «_____»_____2020 ж.

Жобаға алғашқы деректер (талап етілетін зерттеу (жоба) нәтижелерінің параметрлері және зерттеу нысанының алғашқы деректері):
1 MatLab бағдарламасында тепе-теңдіктін параметрлерін ПИД регуляторларын есептеужұмыстары
2 Робототехника құралдарының икемділігін анықтауын презентацияда көрсету
3 Proteus бағдарламасында электронды сұлба тұрғызылған
4 Манипулятор моделін орнату және оны бағдарлау
5 Берілген деректерге сәйкес манипулятордың ауырлық центірін анықтап, есептеу және тепе-теңдіктің сақталуын қадағалау

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

Берілген дипломдық жобада икемді робот қозғалысын теңгеру және оларды талдау әдістерін анықтауда есептеулер жүргізілді. Электроника тұрғысыныда, потенциометр және акселерометр тәрізді тепе-теңдікті сақтаудың құралдарды пайдаланып, Proteus бағдарламасында электронды сұлба тұрғызылды. Matlab бағдарламасында робот тепе-теңдігін сақтау формулаларын келтіріп, есептеулер жүргізілді

Графикалық материалдардың (міндетті түрде дайындалатын сызбаларды көрсету)тізімі:

1 Механизмдердің кинематикалық сұлбалары
2 Механизмдерді синтездеу сұлбалары
3 Механизм түрлері
4 Жазық графиктер
5 Көлемді графиктер
6 Қозғалыс циклограммалары
7 Талдау нәтижелері
8 Басқару жүйесінің блок сұлбасы

Негізгі ұсынылатын әдебиеттер:

1 Клочев В.И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1985. 560б.
2 Клочев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: МЭИ, 1971. - 224 б.
3 Соколов М. М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. - М.: Энергия, 1976. - 488 б.
4 Ибраев С.М., Нурмагамбетова А.Т. (2007) Қозғалыс байланыстарының салыстырмалы қозғалысы бар екі тізбекті механизмнің киностатикалық талдау әдісі. - ҚазБСҚА бюллетені, № 2 (20), 163-169 бет.

Жоба бойынша жобаның бөлімдеріне қатысты белгіленген кеңесшілер

Бөлімдері	Кеңесшілері	Мерзімі	Қолы
Өмір тіршілік қауіпсіздік бөлімі	Абикенова А.А.		
Техникалық-экономикалық есептеу бөлімі	Боканова Г.Ш.		
Есептің қойылымы	Жауыт Әлғазы		
Matlab бағдарламасында есептеулер жүргізу	Жауыт Әлғазы		
DUAL-V манипулятордың тепе-теңдігін сақтауда есептеулер қолдану	Жауыт Әлғазы		
Proteus бағдарламасында тепе-теңдікті сақтау моделінің сұлбасын тұрғызу	Жауыт Әлғазы		
DUAL-V және 4RRR манипуляторларының тепе-теңдік және икемділік коэффициенттерін салыстыру.	Жауыт Әлғазы		

Диплом жобасын дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, әзірленетін мәселелердің тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Есептің қойылымы		
Matlab бағдарламасы		
DUAL-V манипулятордың тепе-теңдігін сақтау есептеулері		
Proteus бағдарламасында сұлба құру		
DUAL-V және 4RRR манипуляторларын салыстыру.		
Өмір тіршілік қауіпсіздік бөлімі		
Техникалық-экономикалық есептеу бөлімі		

Тапсырманың берілген уақыты «___» _____ 202___ж.

Кафедра меңгерушісі _____ (Чигамбаев Темырбай Отарбаевич)
(қолы) (Т.А.Ж.)

Жобаның
ғылыми жетекшісі _____ (Жауыт Әлғазы)
(подпись) (Ф.И.О.)

Орындалатын тапсырманы
қабылдаған студент _____ (Джумагулов Даулет Кажимуратович)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Берілген дипломдық жобада икемді робот қозғалысын теңгеру және оларды талдау әдістеріне зерттеу жұмыстары жүргізілген. Берілген деректерге сай, өндірісте қолданылатын икемді робототехника аспаптарын ескере отыра, механикалық тұрғыда есептеулер жүргізілді. Электроника тұрғысыныда, потенциометр және акселерометр тәрізді тепе-теңдікті сақтаудың құралдарды пайдаланып, Proteus бағдарламасында электронды сұлба тұрғызылған.

Дипломдық жұмыстың негізгі бағыттарын растау үшін есептеулер жүргізілді.

Берілген мәліметтердің нәтижесінде қайта тұйықтау және берілген жобаны жүзеге асыру үшін кететін қаржының қорын есептелінді.

Аннотация

В данной дипломной работе проведено исследование балансировки движении гибкого робота и их методы анализа. Согласно исходным данным, были выполнены механические расчеты с учетом инструментов гибкой робототехники, используемых в производстве. По части электроники, была построена электронная схема в программе Proteus с использованием приборов равновесия, таких как потенциометры и акселерометры.

В подтверждение основным направлениям дипломной работы были выполнены расчеты .

На основании предоставленных данных были рассчитаны повторное заземление и средства на реализацию данного проекта.

Annotation

In this thesis, a study is conducted of balancing the movement of a flexible robot and their analysis methods. According to initial data, mechanical calculations were performed taking into account the tools of flexible robotics used in production. For electronics, an electronic circuit was built in the Proteus program using balancing devices such as potentiometers and accelerometers.

In support of the main directions of the thesis work calculations were performed.

Based on the data provided, re-grounding and funds for the implementation of this project were calculated.

Мазмұны

Кіріспе.....7
1. Техникалық бөлім 9
1.1 Икемділікті және тепе-теңдікті анықтауда қолданылатын приципте
және параметрлер.....9
1.2 Шапшаңдық қағидалары және моменттен ауытқу принциптері. 9
1.3 Динамикалық теңгерімді қолдану.....12
2. Конструкторлық бөлім.....18
2.1 Сызықтық серпілістегі берілген тетіктердің күштік моменті. 18
2.2 Кинематикалық тізбекті ашыңыз 18
2.3 Ашық тізбек әдісімен жабық кинематикалық тізбектер. 20
2.3.1 4R төртбұрышты байланыс 20
2.3.2 Кронштейн-жүгірткі механизмі 22
2.3.3 Дельта робот манипуляторы. 23
2.4 Циклды жабу қатынастарын қоса алғанда, кинематикалық жабық
тізбектер.....25
2.4.1 4R төртбұрыш байланысы. 25
2.4.2 Параллелограмма және пантографты байланыстыру. 31
2.4.3 4-RRR параллель манипуляторы. 33
2.5 Талқылау және қорытынды. 36
2.6 Ерекше шайқау үшін негізгі векторлық байланыстар сәтте баланс.....37
2.7 Ашық тізбектегі негізгі вектордың уақытша тепе-теңдік шарттары
байланыстар.....38
2.7.1 2-DoF пантографының моменттік балансы. 38
2.7.2 Момент балансының шешімдері. 44
2.7.3 Сериядағы төрт негізгі элементтің моменттік балансы.....45
2.8 Жабық тізбектегі негізгі вектордың тепе-теңдік жағдайлары
байланыстар.....47
2.9 Талқылау және қорытынды. 48
2.10 Динамикалық теңдестірілген резервтік 4-RRR параллельді
манипуляторды эксперименттік бағалау. 50
2.11 Теңгерімді манипуляторды бағалау мен салыстыру тәсілдері. 51
2.12 DUAL-V манипуляторын жобалау.....52
2.13 Модельдеу моделімен кері динамикалық модель және валидация.....54
2.13.1 Платформаның қозғалысы үшін қозғалтқыштың сәттілігі τ_I 54
2.13.2 i1 сілтемелерінің қозғалысы үшін қозғалтқыштың τ II мәні. 55
2.13.3 i2 сілтемелерінің айналмалы қозғалысы үшін қозғалтқыштың τ
мәні. 56
2.13.4 Кері динамикалық модельді модельдеу және валидациялау. 56
2.14 Эксперименттік қондырғы. 57
2.15 Эксперименттер және тәжірибелік нәтижелер.....58
2.16 Соққылау күші мен сілкіну сәттері. 61
3. Техникалық-экономикалық есептеу бөлімі 62
3.1 Экономикалық бөлімнің мақсаты 62

3.2 Жұмыста қолданылатын қондырғылар.....62
3.3 Жобаны іске асыру мерзімі 63
3.4 Бағдарламалық қамсыздандыру шығынының есебі.....63
3.5 Бағдарламалық қамсыздандыру шығынының есебі.....66
3.6 Электр энергиясының шығындарын есептеу 67
3.7 Жүзеге асыру құны 69
4. Өмір тіршілігінің қауіпсіздігі негізгі бөлім. 71
4.1 Электр тогының адам ағзасына әсері.....71
4.2 Тоқтың соғу дәрежесіне әсер ететін факторлар 73
4.3 Кәсіпорында қауіпсіздікті сақтауға арналған құрылғылар. 74
4.4 Қайта тұйықтауды есептеу 75
Қорытынды.....78
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі.....79

Кіріспе

Қазіргі заманда, робототехниканың қарқынды дамуы кезінде, олардың сапасын және тұрақтылығын қадалауға міндеттіміз. Сол үшін қазіргі жаңа технологияларға сай, икемді және тепе-теңдікті сақтауға арналған роботтардың жаңартылуын, есептеулер арқылы алға тарта аламыз. Менің дипломдық жобам икемді робот қозғалысын теңгерудә және оларды талдау әдістерін зерттеу болып табылады. Мысалға DUAL-V манипулятор прототипін алсақ, ол белгілі келтірілген параметрлерге сәйкес жасалған. Сол параметрлерін анықтау үшін біз математикалық тұрғыда есептеулер жүргізіп, механикалық моделін құру арқылы, біз манипулятордың нәтижесін аламыз.

Көптеген роботтар, мысалы, дөңгелекті роботтардың барлығы дерлік тұрақты және тоқтаған кезде құлап кетпейді. Кейбіреулері тұрақсыз дизайнға ие, сондықтан олар үнемі тепе-теңдікті сақтау керек. Мысалы, көптеген екі аяқты роботтар тұрақсыз. Мұндай роботтардағы теңдестіру міндеті бұрыннан зерттелген және шешілген, алайда теңдестіру алгоритмдері әрқашан роботтың жағдайын бір уақытта тұрақтандыруға және оның көмегімен басқа тапсырманы орындауға мүмкіндік бермейді. Екі тапсырманы да орындай алатын алгоритмдер мұны екі бөлек сатыда жасайды, бұл оларды өте тұрақсыз роботтарда, мысалы, Rezero шар тепе-теңдігі роботында нашар қолдануға мүмкіндік береді.

Машинаның немесе қозғалыс механизмінің қозғалысы нәтижесінде оның негізіне әсер ететін инерция күші шапшаңдық күші деп аталады және оның базасында пайда болатын инерция моменті шағылыс сәті деп аталады. Механизмді негізде пайда болатын инерция күші нөлге тең болады, ол үшін ол күш-жігердің теңгерімделуіне немесе қысқа мерзімде күш теңгеріміне ие болады. Сондай-ақ, базада пайда болған инерция моменті нөлге тең болатын механизмді жобалауға болады, ол үшін ол теңгерімді немесе кез келген сәтте баланcталған күйде жылжиды. Механизм күш пен мезгіл теңдестірілген болған кезде динамикалық теңдестірілген деп аталады.

1. Техникалық бөлім

1.1 Икемділікті және тепе-теңдікті анықтауда қолданылатын приципттер және параметрлер

Теңдестіру әдістері бірқатар белгілерге байланысты жіктеледі:

– мақсатына қарай - бөлшектерді, қатаң, квазимемикалық және икемділікті құрастыруды, орнату орнында параметрлерді теңгеру;

– теңдестіру кезіндегі жылдамдыққа сәйкес - бөліктің айналуынсыз, төмен жиілікті және жоғары жиілікті теңдестіру;

– түзету ұшақтарының саны бойынша - бір, екі және көп ұшақты теңдестіру;

– теңдестіру кезінде өлшенген параметр бойынша - қозғалыс амплитудасын, фазасын, амплитудасы мен фазасын, діріл жылдамдығын, діріл үдеуін, тірек күштерін, кернеулерді өлшеу арқылы;

– теңдестіру кезіндегі өлшенген параметрлер саны бойынша - бір, екі, екі параметрден көп;

– массаны реттеу әдісіне сәйкес - түзету массаларын қосу, азайту немесе жылжыту арқылы;

– түзету жазықтықтарындағы теңгерімсіздіктердің өлшенген параметрлерге тәуелділігін табу әдісімен - эксперименттік (сынақ іске қосу әдісі), есептелген, эксперименттік-есептік.

1.2 Шапшаңдық қағидалары және моменттен ауытқу принциптері.

Іс-әрекеттегі проблема оның реакциясы. Роботтар сияқты жоғары жылдамдықты машиналарда олар қозғалатын элементтерді жылдам үдету үшін керемет күштер мен сәттерді жасайды. Нәтижесінде үлкен инерция күштері мен инерция моменттері қозғалмалы бөліктерге және машинаның негізіне әсер етеді. Машинаның динамикасы динамикалық реакцияларды қажет етеді, бірақ негізді зерттегенде олар айтарлықтай жағымсыз реакциялар туғызады [1]. Бұл суреттер 1.2a және 1.2b суреттерінде көрсетілген, мұнда манипулятордың динамикалық реакциясы машинаның дірілінің негізін құрайды.

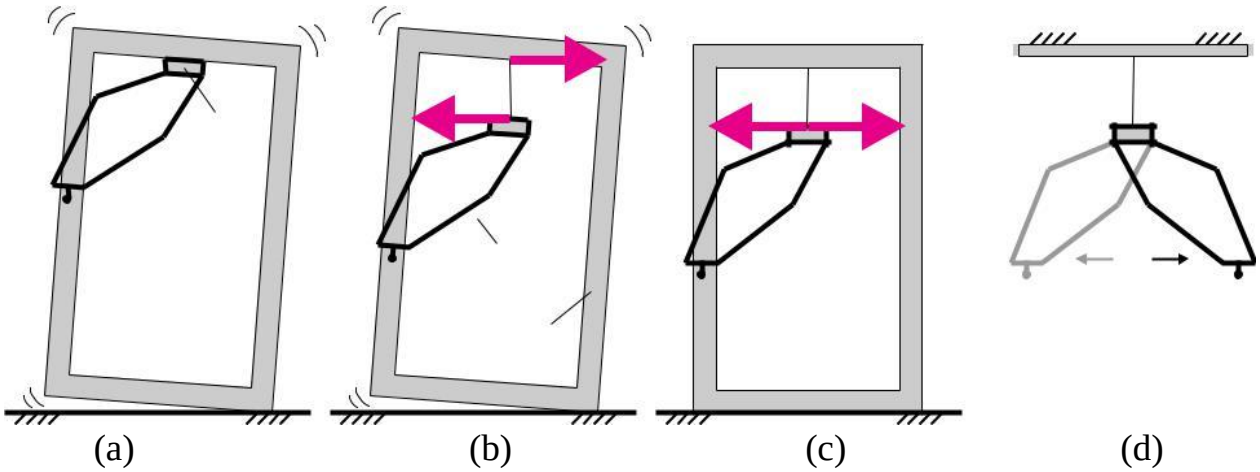
1.1 сурет – роботты манипуляторларды жоғары жылдамдықта орнату үшін үлкен аяқтары бар ауыр тіректер негізінде жоғары дыбыстық әсерлерге және шу сәттеріне қарсы тұру қажет. (ABB Flexpicker Delta Robot)

Тербелістердің, күрделі командалардың немесе базаның тербелістерінің әсерін азайтуға арналған негізгі массаның орнына динамикалық теңдестіру оның дірілін болдырмауға бағытталған: оны негіз әсер етпейтін етіп жобалау арқылы дірілдемеңіз. Бұл 1.2с суретте көрсетілген, онда инерция күштері мен инерция моменттері механизм ішінде қалады. Динамикалық теңдестіру машинасы гравитациялық реакция ретінде тек бір сымды қажет етеді, олар жоғары жылдамдықпен жоғары дәлдікте жұмыс істей алмайды және жерге немесе басқа бөліктерге әсер етпейді. сол жүйеде және басқа жүйелерде орнатылады.

Динамикалық тепе-теңдік принциптері классикалық механикаға негізделген және князьдегі Ньютонның толық массалық центрінің (ауырлық орталығы) және импульстің (қозғалыстардың санын) сипаттайды:

Екі немесе одан да көп ауырлық орталықтарының өзара әрекеттесуіне байланысты қозғалыс немесе демалу шарттары өзгермейді; сондықтан барлық өзара әрекеттесетін ағзалардың ауырлық ортасы (сыртқы әсерлер мен кедергілерді қоспағанда) тыныштықта немесе бірқалыпты түзу бойымен қозғалады. Екі немесе одан да көп ауырлық орталықтарының өзара әрекеттесуіне байланысты қозғалыс немесе демалу шарттары өзгермейді; сондықтан барлық өзара әрекеттесетін ағзалардың ауырлық ортасы (сыртқы әсерлер мен кедергілерді қоспағанда) тыныштықта немесе бірқалыпты түзу бойымен қозғалады.

Қозғалыс саны бір бағытта қозғалыстардың қосылуымен анықталады, ал екінші бағыттағы денелердің әсерінен қарама-қарсы бағыттағы қозғалыстардың азайуы өзгермейді.



1.2 сурет – (a) теңгерімделмеген манипулятор (b) динамикалық теңдестіру арқылы жойылатын базаға (c) динамикалық жауап береді. г) теңдестірілген манипулятор минималды қолдауды қажет етеді, мысалы: ол дәл сыммен жұмыс істейді, қоршаған ортаға, жүйенің басқа бөліктеріне және басқаларға әсер етпестен жоғары жылдамдықта жұмыс істей алады. жүйелер.

Инерциялық тірек жақтауына бекітілген базаның арқасында қозғалатын элементтер жүйесінің біртұтас центрі (СМ) тек жүйе мен базаның өзара

әрекеттесуімен жеделделе алады. Егер бұл жалпы ҚҚ тұрақты немесе жылдамдыққа қатысты болса, онда бұл күштер нөлге тең болады және жүйе теңдестіріледі. Толық КМ механизмінің тұрақты жылдамдығы мүмкін болмаса да [2], теңдестірілген күштің жалпы КМ механизмі негізге қатысты тұрақты болады.

Жылжымалы элементтер мен негізгі жүйе арасында күш немесе момент болмаған кезде салыстырмалы қозғалыс үшін жүйенің қозғалысы мен бұрыштық моменті тұрақты болады. Бұл бүкіл қозғалыс негізіне және тұрақты бұрыштық импульске қатысты тұрақты қозғалысқа ие динамикалық теңдестірілген механизмнің жалпы сипаттамасы.

Көбінесе база механизмнің бөлігі болып табылады, мысалы 1.2а суретте, негізге мықтап бекітілген механикалық анизм элементі негізгі қосылыс болып саналады. Ішкі күштер мен қозғалыс элементтері арасында әрекет ететін ішкі моменттер де механизмнің қозғалысын анықтайды, осылайша негізгі күшке сүйенеді. Ішкі күштер мен инерция моменттері және жекелеген элементтердің инерция моменттері, қозғаушы күштер мен күштер мен моменттер, үйкеліс (жанасу немесе фокус), ішкі соқтығысу (механикалық байланыстар немесе түйіспелер жанасуы) база), ұялы байланыс немесе негізгі сілтеме арасындағы ішкі көздер) және басқалар. Қозғалатын элементтер жүйесінің импульсі ішкі күш пен моментке тәуелсіз болғандықтан, олардың реакциясы да ішкі болады, олар динамикалық тепе-теңдікке әсер етпейді. Осылайша, негізгі тапсырмадағы барлық ішкі күштер мен моменттердің мәні нөлге тең.

Механизмнің динамикалық тепе-теңдігіне жағдай жасау әдісі осы қағидаларға негізделеді және негізгі анықтамадағы күштер мен моменттерді есептейді және олардың қосындысы нөлге тең, КМ мен оның тұрақты күйін анықтайды (тек тепе-теңдікте күштер) және сызықтық және бұрыштық импульс және олардың тұрақты шарттары [2].

Динамикалық теңдестірілген механизм оның негізінен динамикалық бөлінгендіктен, базаның динамикалық әрекеті механикалық анизмнің салыстырмалы қозғалысына әсер етпейді. Базалық немесе айналмалы түрде жеделдету кезінде, мысалы: басқа құрылғы арқылы немесе сыртқы тербелістерге байланысты динамикалық теңдестірілген механизм негізмен бірге ақаулы қатты зат ретінде әрекет етеді. Бұл сонымен қатар теңдестірілген тартылыс күші механизмі элементтерінің салыстырмалы қозғалысына әсер етпейді. Гравитациялық күш барлық элементтерге әсер етеді, бірақ элементтердің жалпы КМ негізіндегі бекітілген нүкте, өйткені тартылыс күші базаның және механизмнің қатты ретінде үдеуіне әсер етеді.

Сығымдау күші мен статикалық тепе-теңдік арасындағы айырмашылықты арттыру үшін соңғы механизмге, мысалы механизмнің потенциалдық энергиясын сақтай отырып серіппелермен қол жеткізуге болады [3]. Демек, балқытылған ерітіндінің ерітінділері статикалық тепе-теңдік шешімдерінің жиынтығы, яғни күштер тепе-теңдігінің механизмдері де теңдестірілген. Алайда соққы күштері статикалық күштерден айтарлықтай ерекшеленетіндіктен, күштер тепе-теңдігі мен статикалық тепе-теңдікті

бұзатын терминдерді шатастыруға болмайды. Мұнда қуат балансы немесе шу күші балансы пайдаланылады, ал тұрақты потенциалды энергияны теңестіру үшін статикалық тепе-теңдік сақталады.

1.3 Динамикалық теңгерімді қолдану

Динамикалық теңдестіруді қолдану машинаның жұмысын жақсартудың көптеген артықшылықтарына ие. Мысалы, динамикалық теңдестірілген механизмдер шуды азайтады және тозуды және шаршауды азайтады. Телескоптарда динамикалы тепе-теңдік жоғары жиілікте айнаны дәл ауыстыру үшін маңызды. Роботтарда динамикалық тепе-теңдік циклдің уақытын азайтады және дәлдікті жақсартады. Динамикалық теңдестірілген екі сатылы параллель манипулятордың реттелетін уақыты тербелістерді жою үшін күту уақытын қысқартуға байланысты теңгерілмеген күймен салыстырғанда бірнеше есе азайтылатындығы көрсетілген [4]. Бұл бөлімде таңдалған мысалдармен бірнеше бағдарламалар бөлісілген.

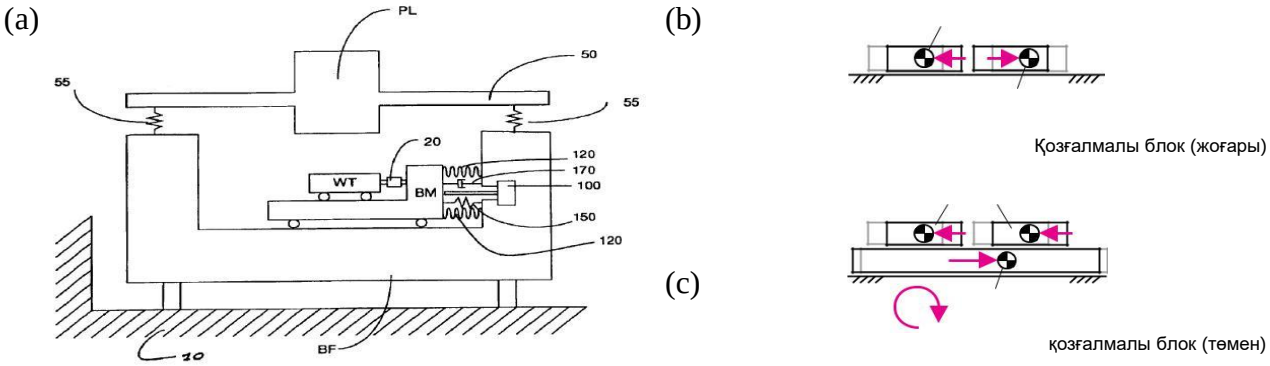
Twinscan-тің ASML литографиялық жүйесі, 1.3-суретте көрсетілген, шығыс жылдамдығын жоғарылату арқылы өнімнің өзіндік құнын төмендету үшін жоғары дәлдіктегі, төмен циклдық кезеңдерге динамикалық теңдеуді қолданудың мысалы болып табылады [5]. Негізге орнатылған сезімтал метрология құралдарымен дәл өлшеу үшін дымқыл дірілдің қажеті жоқ және дымқыл діріл арқылы ерітінділердің шығынын азайтуға мүмкіндік береді [5]. Бұл машинада вафли темірін түбіне және баспа өнімдерінің жоғарғы жағына орналастырудың жылжымалы кезеңдері бар. Жылжымалы қадамдар 1.4 А суретте көрсетілгендей, масштабтың салмағымен әрекеттескенде тездетіледі.

1.3 сурет – AMSL Twinscan XT

1.3 сурет AMSL Twinscan XT: литографиялық сканерлеу жүйесі 1000h, 248nm және қысқа цикл уақыты және жоғары дәлдіктегі тепе-теңдікпен

қозғалатын қадамдар, және тепе-теңдік массасы көлденең жазықтықтағы қозғалтқышпен қарама-қарсы бағытта үздіксіз қозғалады. Содан кейін динамикалық күштер ішкі күйінде қалады, ал базаға діріл күштері әсер етпейді. Сонымен қатар, серіппемен зақымдалған құрылғының күштері қарсы салмақ пен негіз арасындағы үйкеліс күштерін өтеу үшін ішкі болып табылады.

Егіздердің жоғарғы жағында қозғалатын көрініс толық динамикалық тепе-теңдікке әкелетін 1.4-суретте көрсетілген тепе-теңдік массасымен бірдей жазықтықта орналасқан. Сурет. 1.4 машинаның төменгі жағындағы тепе-теңдіктен жоғары екі сатыдан тұрады. Алайда, олар күште теңестірілген және периодтар тепе-теңдік массаларынан өзгеше болатындықтан, динамикалық күштер базада шудың моменттерін жасайды.



1.4 сурет – a) Базадан тербелісті алып тастау үшін жүйенің тепе-теңдік принципі мынада: b) сахнада теңдестірілген масса әсерлеседі, базада ешқандай күштер болмайды; c) Кездейсоқ моменттер период пен тепе-теңдік массалары бір жазықтықта болмаған кезде пайда болады.

1.5 суретте көрсетілген ABB IRB760 паллетизаторы бірізді роботты манипулятордың тепе-теңдік күші болып табылады. Ол манипулятордың инерция күштері мен жүктеме қозғалысын тепе-теңдікке теңестіретін массаға параллелограммен байланысты. Пайдалы жүктеме тұрақты емес болғандықтан, күштердің тепе-теңдігі әдетте идеалды емес. Бірақ робот жылдам қозғалғанда базадағы діріл күші салыстырмалы түрде төмен болып қалады. Күштердің тепе-теңдігіне байланысты манипулятордың жүктемесі әлдеқайда жоғары немесе қозғалыс жылдамдығын едәуір жылдамдатуы мүмкін, жүргізу моменті аз, калибрлеу дәлдігі жоғары. Жетек механизмдері - бұл ішкі сәттер, олар динамикалық тепе-теңдікті қамтымайды, олардың азаюы статикалық тепе-теңдікке байланысты. Қуат теңдестірілген кезде, қуатты белгілі бір күйде ұстап тұру үшін жетектер белсенді болмауы керек. Осының арқасында қуаттылығы тепе-тең робот энергияны үнемді және қауіпсіз етеді.

1.5 сурет – ABB IRB 760 - манипулятор күштерінің тепе-теңдігі және тепе-теңдік жүктеме массасы бар, базада төмен динамикалық күштері бар, жүктеме көлемін арттыратын, тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыратын паллетизациялық манипулятор.

1.6-сурет сияқты жоғары жылдамдықты қол құралдары үшін эргономиканы жақсарту үшін динамикалық тепе-теңдік маңызды. Дірілді төмендететін материалдар, мысалы тұтқалар, дірілді азайту үшін тиімді емес. Динамикалық теңдестірілген тізбекке жүргізілген зерттеулер тамырлы бұзылулар сияқты жарақат алу қаупінің айтарлықтай төмендегенін көрсетті [6]. Дірілді азайту арқылы жұмыс сапасы жақсарады.

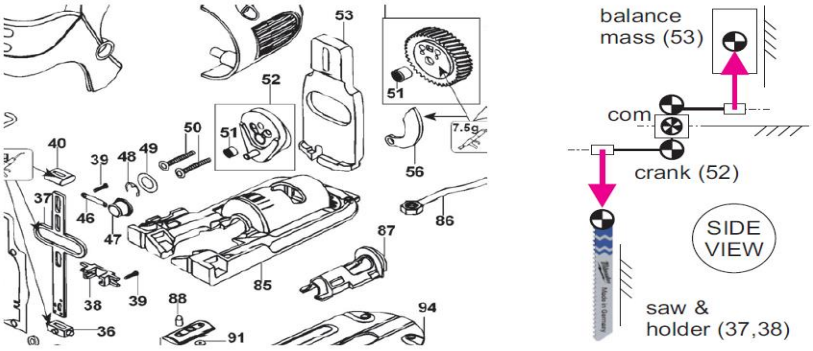
1.7-суретте күректер арасындағы жарықтар бар көрініс көрсетілген. 2-бөлім - бұл қозғалтқышты қозғаушы және арқанның қарама-қарсы жағында теңгерімді салмағы бар кран, ол редукторды бұрын-соңды болмаған күшпен тартады. 53 және 38 бастары арасындағы 53-бөлік араны және оның байланыс бөліктерін қарама-қарсы бағытта жылжыту үшін муфталармен байланысты тепе-теңдік массасын құрайды. Бұл осы бөліктердің жалпы КМ-нің айналу осіне бекітілген нүктесінде екенін білдіреді. Бөлшектердің ықшам жиынтығының арқасында олар бірдей жазықтықта және шу жылдамдығы төмен, өйткені қозғалтқыш жылдамдығы тұрақты.

Кескіш қосқыш - адамның қолы мен қолына зақым келтірмеу үшін теңдестірілген манипулятордың тиімді мысалы. Керісінше, 1.8-суреттегі Steadicam теңдестірілген және манипулятормен қорқытпаудың көлденең мысалы болып табылады. Камераны сапалы түрде жазу үшін үнемі ұстап тұру кезінде камераны кез келген бағытқа жылдам жылжыту үшін камера жүйесі қолмен айла-шарғы жасау үшін қолданылған нүктеден жоғары теңдестірілген. Содан кейін камераның жалпы см және тепе-теңдік массасы осында болады.

1.9-суретте Skycam роботты камера жүйесі көрсетілген, оны Steadicam жетілдірілген және автоматтандырылған нұсқасы деп санауға болады [6]. Ол динамикалық теңдестірілген камера жүйесінен тұрады, ол параллель кабельді манипулятордың соңғы эффектісі ретінде қолданылады, ол кеңістікті камера жүйесіне жылжытады.

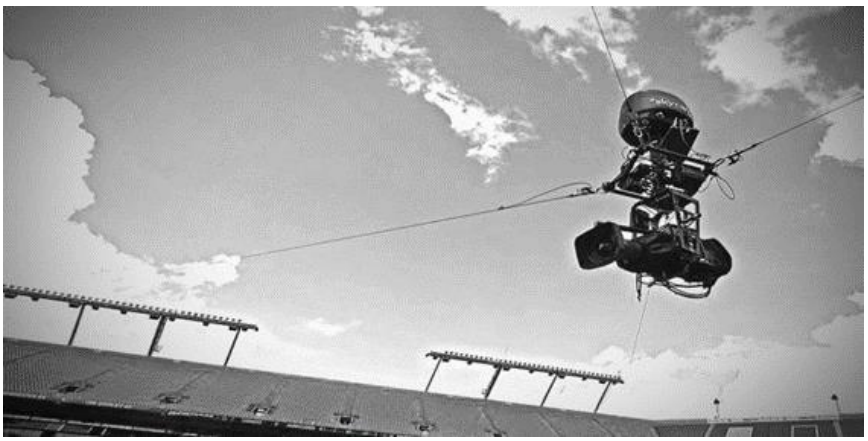
1.6 сурет – Жоғары жылдамдықты қол құралдары үшін динамикалық тепе-теңдік эргономиканы жақсартады, жарақат алу қаупін азайтады және жұмыс сапасын жақсартады.

Мысалы, толыққанды спорт алаңы. Екі себеп бойынша камераны жақсы басқару үшін динамикалық тепе-теңдік маңызды. Камера жүйесі манипулятордың қозғалысына, сондай-ақ камера жүйесінің қозғалысына байланысты желдеткіш кабельдің қаттылығына байланысты болғандықтан, ол өз бағытын оңай жоғалтады және манипулятор айналу, айналу және айналумен шектеледі (маятник)). Динамикалық теңдестіру кезінде камера жүйесі манипулятор кабелінен динамикалық түрде ажыратылады және керісінше.

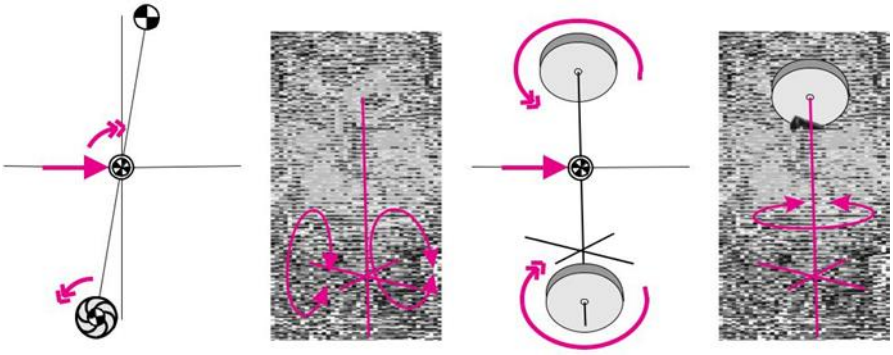


1.7 сурет – Қуатты теңестіретін қол (52) және мойынтірек пен қосылатын бөліктердің өзара қозғалысын теңестіру үшін салмақты теңдестіру (37е және 38е)

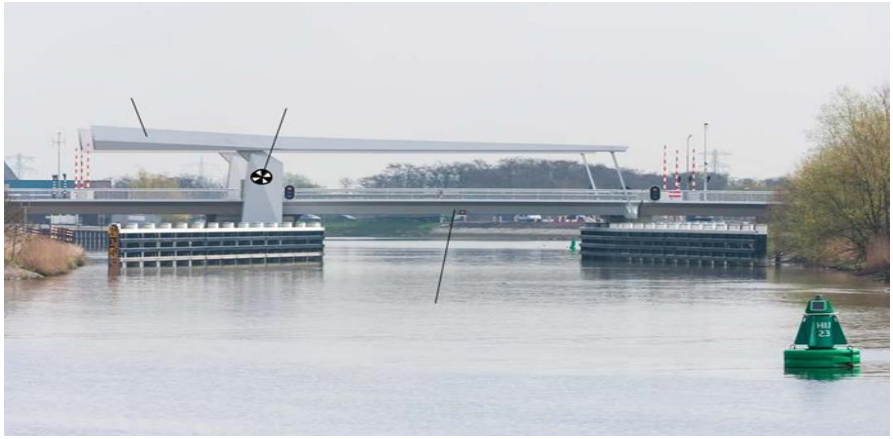
1.8 сурет – Steadicam - қолмен басқарылған кезде шатастырмау үшін күш теңестірілген.



1.9 сурет – Skycam роботты камера жүйесі тұрақтылық үшін динамикалық теңдестірілген соңғы нәтиже ретінде камера жүйесіне параллель манипулятордан тұрады.



1.10 сурет – а) Skycam - жоғарыда аталған жүйе, мұнда КМ төменгі камерасы бар қуат және кабель манипуляторы қолданылады. Камераның қуыс және жылжымалы қозғалыстары арасындағы тепе-теңдік құрылғыны өзінің СМ-ге қайта қою арқылы қол жеткізіледі; В) Камераның қозғалу кезіндегі моменттің тепе-теңдігі айналу инерциясымен алынады [6].



1.11 сурет – Көпірдің күші балансы қауіпсіздікті күшейтіп, жұмыс күші мен динамикалық күштерді азайтады. (2012 жылы салынған Гоуда (Нидерланды), Голландиядан келген Hollandse IJssel)

1.10 a-суретте көрсетілгендей, Skycam-ның қуаты төмендегі камераның жалпы СМ және электроника кабельдік манипулятор қолданылатын жерде орналасқан кезде теңдестірілген. Камера үш бағытта айнала алады. Камераның қозғалу моменттері мен қозғалыс қозғалысының дірілдері камераны қолдау жүйесінің кері айналуымен теңестіріледі. Бұл кабельдік манипулятор қолданылатын жазықтықтағы көлденең осьтердің айналуы. Камераны қолдау жүйесінің инерциясы камераның инерциясынан әлдеқайда көп болғандықтан, бұл айналу шамалы. Фотокамераның қозғалыс тепе-теңдігі 1.10 b суретте көрсетілгендей, ағымдағы көлденең ось кезіндегі айналу инерциясын қолдана отырып, камера жүйесінің жоғарғы жағында көрінеді. Бұл айналу инерциясының кері әсері төмен массалар мен төмен инерциялардың тиімді тепе-теңдік шешімі ретінде белгілі болған противовращающейся противомассасы деп саналады, өйткені ол күш тепе-теңдігін ұстап тұру үшін де, күш ретінде де қолданылады инерцияның суреті.

Жылдам қозғалыстағы қол механизмдерінен айырмашылығы, 1.11-суретте жылжымалы базальды көпір сияқты сәулеттік жүйелердің баяу қозғалысы көрсетілген. Мұнда тепе-теңдік салмағы көпірді ашу және жабу кезінде теңгеру үшін қолданылады. Механизмнің бұл түрі үшін қуаттың тепе-теңдігі энергияны аз тұтыну, аз қозғалмалы қуат және қолмен басқаруға мүмкіндік беретін және қауіпсіздікті қамтамасыз ететін сәттерге арналған. Төтенше аялдау кезінде динамикалық күштер айтарлықтай болуы мүмкін, бірақ теңдестірілген кезде олардың төменгі жағында нөл болады. Сонымен қатар, жер сілкінісі сияқты сыртқы күштер көпірдің қозғалысына әсер етпейді.

2. Конструкторлық бөлім

2.1 Сызықтық серпілістегі берілген тетіктердің күштік моменті.

Осы тарауда қорытындылай келе, сызықтық импульстік теңдеулер арқылы берілген механизмдерге жалпы және жүйелік тепе-теңдік тепе-теңдік шешімдерін табуға болады. Алғашқы кинематикалық тізбектер зерттелді, содан кейін ашық кинематикалық тізбектерден тұратын жабық кинематикалық тізбектер зерттелді. Жабық кинематикалық тізбектердің жабық қосылыстары ашық тізбектер болып саналмайды. Бірнеше тұйық ілмектері бар механизмнің сызықты импульсі үшін теңдеулерге күштің жалпы тепе-теңдік шарттары ғана емес, жиындар түріндегі күштер тепе-теңдігінің механизмдерінің жалпы және арнайы конфигурациялары кіреді.

2.2 Кинематикалық тізбекті ашыңыз

Ашық кинематикалық тізбек дегеніміз бірнеше элементтер тізбегі, олардың біреуі негізге қосылған. Жалпы, бұл тізбектердің күштерінің тепе-теңдігі PUMA 760 дәйекті манипуляторды қолдана отырып, тек КМ-дің орналасуын талдай отырып, екі элементтің көзқарасы тұрғысынан зерттеледі. Бұл бөлімде ашық кинематикалық тізбектердің күштің тепе-теңдік күйі сызықтық импульс теңдеулерімен қалай анықталатындығы көрсетілген. Бұл тәсіл теңдеулерді кейін қарастырған кезде оның әлеуетін көрсетеді.

2.1-сурет A0-де жұп төңкерістер арқылы негізге жалғанған қосылыс бар. Оның бағыты негізге қатысты θ1 бұрышпен сипатталады. Контактінің массасы m1 болады, оның коэффициенті көрсетілгендей e1 және f1 параметрлерімен анықталады. CoM сілтемесінің орны 0-де пайда болатын x y координаталар жүйесіне қатысты жазылуы мүмкін.

2 Сызықтық бұзылу кезіндегі осы механизмнің инерция күштерінің тепе-теңдігі.

$$r_1 = \begin{bmatrix} r_{1x} \\ r_{1y} \end{bmatrix} = A0 + \begin{bmatrix} e1\cos\theta1 - f1\sin\theta1 \\ e1\sin\theta1 + f1\cos\theta1 \end{bmatrix}. \quad (2.1)$$

Сілтемедегі сызықтық импульс L кейінірек жазылуы мүмкін.

$$L = m1r1 = \begin{bmatrix} -m_1e_1\sin\theta_1 - m_1f_1\cos\theta_1 \\ m_1e_1\cos\theta_1 - m_1f_1\sin\theta_1 \end{bmatrix}\theta_1 = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

C1 және C2 тұрақты мәндерге ие. Тепе-теңдік қозғалысы бүкіл қозғалыс үшін тұрақты сызықтық импульс береді, бұл уақыттың θ1 және θ1 уақытына байланысты параметрлердің кез келген мәнін білдіреді. Бұл жағдайда тұрақты сызықты импульс C1 = C2 = 0 болғанда және екі күш тепе-теңдікте болғанда ғана мүмкін болады:

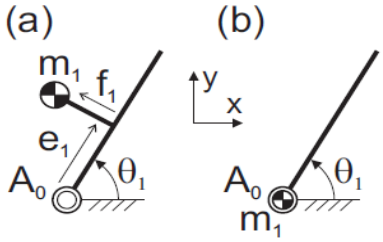
$$m_1e_1 = 0 \qquad m_1f_1 = 0. \quad (2.3)$$

Бұл шарттар 2.1 В суретте көрсетілгендей А0 айналмалы Q0 In A0 орналасуы кезіндегі күштердің тепе-теңдігі.

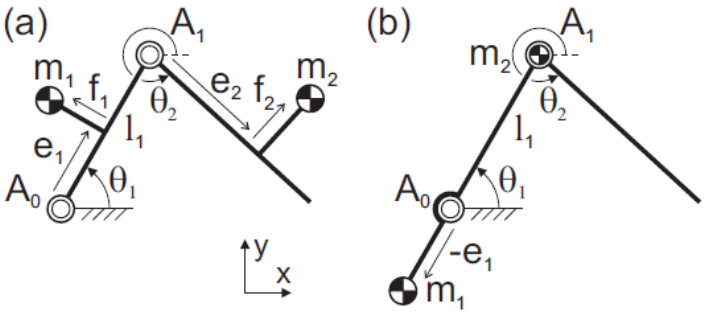
2-суретте екі тізбекпен бүктелген ашық тізбек көрсетілген. Мұнда Анықтамада 1 А0 базасында база бар, ал 1 және 2-сілтеме А1-дегі революциялық жұппен байланысқан. А0 және А1 арасындағы қашықтық - 1 жолдың ұзындығы. Осыған байланысты 2-DoF қозғалысы сәйкесінше 1 және 3 бұрыштарымен сипатталады. 2-сілтеменің массасы 2 м2 құрайды, дәлірек е2 және f2 параметрлерімен анықталады, 2-сілтеменің 2-суретте көрсетілген.

$$r_2 = \begin{bmatrix} r_{2x} \\ r_{2y} \end{bmatrix} = A_0 + \begin{bmatrix} l_1 \cos\theta_1 + e_2 \cos\theta_2 - f_2 \sin\theta_2 \\ l_1 \sin\theta_1 + e_2 \sin\theta_2 + f_2 \cos\theta_2 \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

Сонымен бірге (2.1) осы байланысдың сызықты импульсы ретінде жазылуы мүмкін



2.1 сурет – а) коды Е1 және f1 қосылымымен анықталатын а 0 және массасы m1 негізгі кабельмен бір реттік қосылыс; В) тепе-теңдік күші К0 А0-қа тең болған кезде алынады



2.2 сурет – А) 2 DoF үшін ашық жалпы тізбек және А0 және А1 кең таралған айналу жұбы; В) Қуаттың тепе-теңдігі үшін екінші қосылыстың КМ коэффициенті А1 және С1-С А0 және А1-ден А0-ге дейінгі сызықтардан белгілі бір қашықтықта орналасқан.

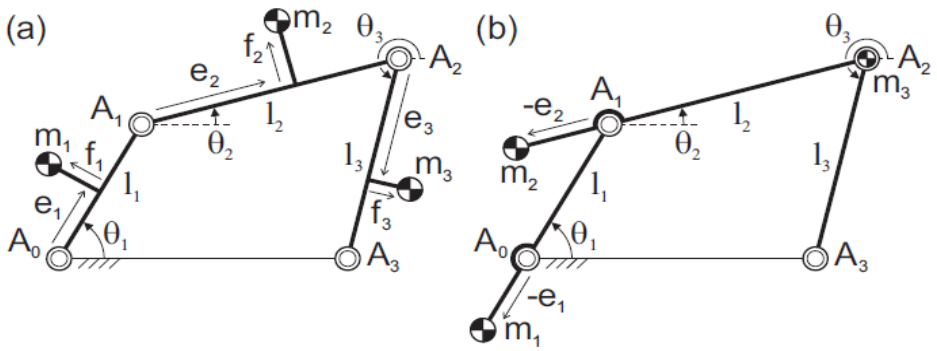
$$\begin{bmatrix} -m_1 e_1 \sin\theta_1 - m_1 f_1 \cos\theta_1 \\ m_1 e_1 \cos\theta_1 - m_1 f_1 \sin\theta_1 \end{bmatrix} \theta_1 = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix}. \quad (2.5)$$

Уақытқа тәуелді параметрлердің кез-келген мәні үшін (яғни θ1, θ2, θ1 және θ2) С1 = С2 = 0 үшін және төрт күш үшін тепе-теңдік күші:

$$m_1 e_1 + m_2 l_1 = 0. \qquad m_1 f_1 = 0. \quad (2.6)$$

2.3 Ашық тізбек әдісімен жабық кинематикалық тізбектер.

Біріктіру әдісі мен секцияның кезең-кезеңді әдісінде айтылғандай, теңдестірілген жабық кинематикалық тізбектерді құрудың жалпы әдістері теңдестірілген ашық кинематикалық тізбектерді құрудан тұрады. Бұл теңдестірілген жабық кинематикалық тізбектердің ашық тізбектерін жобалау әдісі деп аталады. Әрі қарай, циклдің тығыз байланыстары қарастырылмайды. Теңдестірілген ашық ілмектерден тұратын теңдестірілген жабық циклдің әртүрлі жолдары нәтижесінде пайда болған күш балансының шешімдерін анықтайды. Мысалы, ашық тізбектерді қосатын нүктелер айналасындағы байланыстардың массасын модельдеудің бірнеше тәсілдері бар [7]. Циклды жабу коэффициенттерін қарастыру арқылы алынған қуат балансының шешімдерін салыстыру үшін келесі бөлімде ашық тізбек әдісін қолдану шартты күштердің тепе-теңдік шешімдеріне қалай әсер ететіні түсіндіріледі.

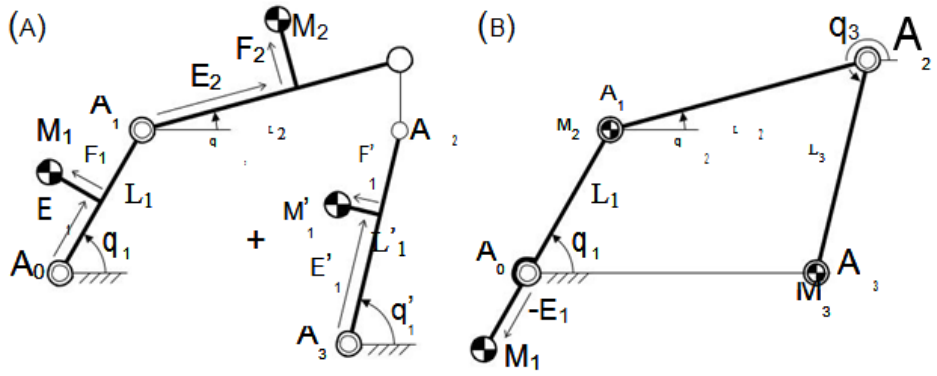


2.3 сурет – а) бірінші және үшінші қосылыстардың астында орналасқан төрт арна бар үш байланыс тізбегінің ашық тізбегі; В) ол күшпен теңестіріледі.

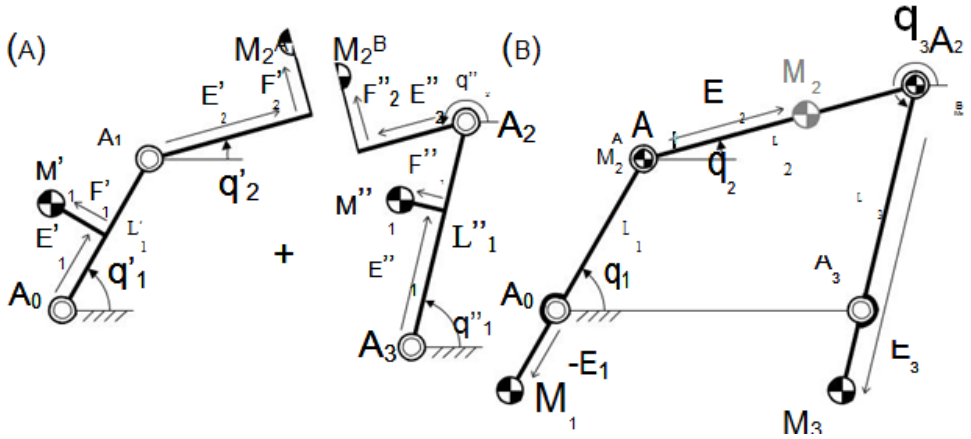
2.3.1 4R төртбұрышты байланыс

Суреттегі 4А тікбұрышты қосылыстар 2А-3А суреттегі үш қосылыстың ашық тізбегінен тұрады, үшінші байланысы А3-де негізгі шпалы бар. Содан кейін, күріш ерітіндісінде. 2-суретте. 2 тіктөртбұрыштың қосылыстары суретте көрсетілгендей (2.9) жағдайға сәйкес келтірілген. 2.3.

Сонымен қатар, 2.2-суретте көрсетілгендей, төртбұрышты 4R қосылысының екі қосылысының ашық тізбегі және а-суреттің 2.1 а ілмекті қосылымы да қарастырылуы мүмкін. Екі ашық тізбек негізге айналады және А2-ге қосылады. 2.4 формулаларында суреттелген қуат балансының шешімі 2.1 және 2.2-суреттердегі осы шешімдердің жиынтығы. Мұнда А3-те 3 байланыс коды анықталған, ал 1 және 2 (2.6) анықтамалық кодтар анықталған, онда 2 байланыс коды А1-де.



2.4 сурет – а) 4R тікбұрышты сілтемелер екі байланыстың және айналмалы байланыстың ашық тізбегінің қосындысы болып саналады, содан кейін В) шешімдер комбинациясын күшейтеді. 2.1 және 2.2.



2.5 сурет – а) 4R төртжақты байланыстары дегеніміз - екі ашық тізбектің қосалқы қосылыстары бір-біріне қосылған қосылыс, б) ол 2-суретте көрсетілген ерітіндіге сәйкес келеді, әрбір ашық тізбектегі ma2 тең массаларға тең бөлінеді. мб2.

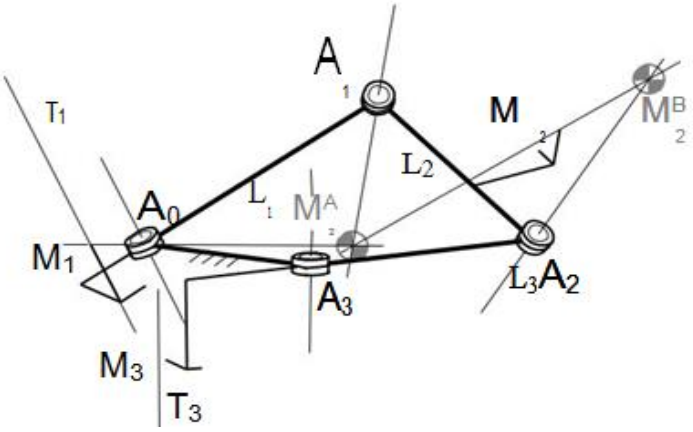
Тағы бір мүмкіндік - тік төртбұрышты 4R қосылысын 2 суретте көрсетілгендей, екі қосылыстың екі ашық тізбегінің қосындысы ретінде қарастыру. Әр тізбектің қайталама түйіспелері қатаң байланысқан деп саналады. ma2 және mb2 массаға екі эквивалентті масса, ол ма2 + mb2 = m2, әр тізбектің күші 2,2 b-ге теңестіріледі, мұндағы ma2 A1-де, mb2-де A2-де. 2-тің Co22-ге қатынасының ma2e2 = mb2 (L2 - e2) ара қашықтығы f2 = 0 кезінде E2 болып табылады, ал эквиваленттік массалар ma2 = m2 (L2 - e2) = l2 және mb2 = m2e2 = L2 болып есептеледі.

Күректердің теңдестірілген күш қосылыстары. 2 әр түрлі қосылымдармен, мысалы сфералық қосылыстармен. 2.3 b, 2.4 B және 2.5 B бірдей күш тепе-теңдік шешімдерімен кеңейтілген тепе-теңдік күш қатынастарына ие бола алады. Беннеттің байланысын 4R тікбұрышты кеңістікте немесе революциялық жұпта анықтау бірнеше жолмен ұқсас болуы мүмкін. 2.6 суретте 2.5 B-суретте көрсетілгендей екі қосылыстың екі ашық тізбегінің тіркесімі болған кезде қуат тепе-теңдігі шешімі көрсетілген. Бұл

жағдайда қосылыс 2 код бойынша жолдың жоғарғы жағында орналасқан А2 және А2 топсаларын М2 және М2 ілмектерінің осьтері бойымен СМ 2-ге қатысты кез келген нүктеде айналдыруға байланысты, оның ерекше шешімі жоқ. Күштердің тепе-теңдігі үшін 1 және 3 диаграммалардағы АМ Т1 және t3 түзулерінде кез-келген жерде болуы мүмкін, сәйкесінше А0 және А3 қосылыстардың айналу осіне параллель.

2.3.2 Кронштейн-жүгірткі механизмі

2-суретте көрсетілгендей жылжымалы механизмді үш қатардан тұратын ашық тізбек ретінде қарастыруға болады, мұнда үшінші байланыс негізге қатысты айналмайтын курсор болып табылады. Егер θ3 = 0 болса, сызықтық импульс теңдеуі (2.6) төмендейді.



2.6 сурет – Беннеттің жоғары теңдестірілген сілтемелерін сәйкесінше А1 және А2 арқылы айналу осьтері бойымен 2 және Mb2 эквивалентті массалары бар екі байланыстың теңдестірілген ашық тізбектерінің жиынтығы ретінде қарастыруға болады.

Байланыстың 2-коды сілтемедегі кез келген нүктеде болуы мүмкін.

$$L = \begin{bmatrix} l_1 \cos\theta_1 + e_2 \cos\theta_2 - f_2 \sin\theta_2 \\ l_1 \sin\theta_1 + e_2 \sin\theta_2 + f_2 \cos\theta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -m_1 e_1 \sin\theta_1 - m_1 f_1 \cos\theta_1 \\ m_1 e_1 \cos\theta_1 - m_1 f_1 \sin\theta_1 \end{bmatrix} \theta_1 = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$

Ал кранк-жүгірткі механизмінің төрт күш тепе-теңдік шарттары келесідей болады:

$$m_1 e_1 + m_2 l_1 + m_3 l_1 = 0. \qquad m_2 f_1 = 0.$$
$$m_2 e_2 + m_3 l_2 = 0. \qquad m_2 f_2 = 0. \quad (2.8)$$

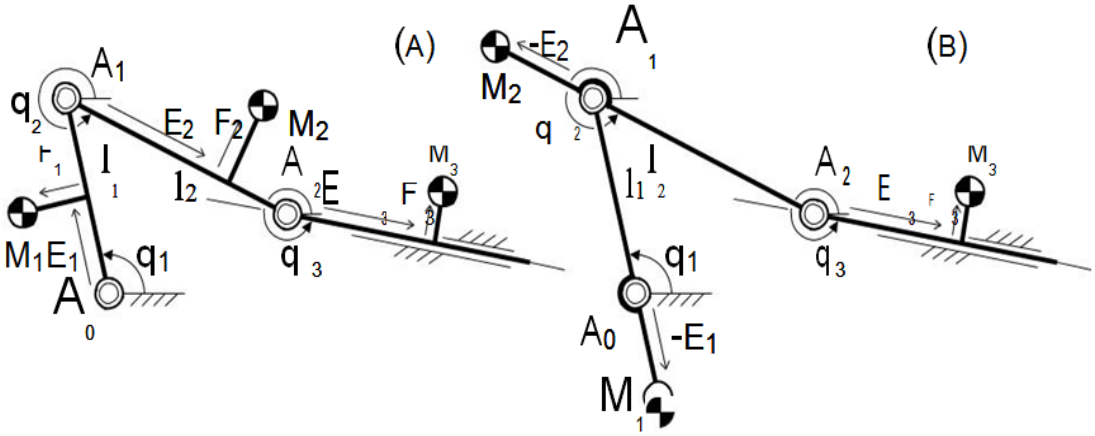
Бұл шешімдер сызықтық импульстік теңдеуден оңай алынады, егер қарапайым см позициясынан (2.7) алынған болса, тұрақты аяқ-қолдарды емдеуге көп күш жұмсалады. Қатты тепе-теңдік шешімі 2.7 суретте келтірілген, онда 3 КМ коды анықталмаған және сілтемені кез-келген жерде орналастыруға болады. Меңзердің орны мен бағыты 1 және 2 сілтемелердің массивтік параметрлеріне әсер етпестен еркін таңдалуы мүмкін. Сілтеме 3 екі

бағытта да курсор бола алады. 2.4-суреттегі шарлы қосылыстардың көмегімен 2.7-суреттегі кранның сырғыту механизмі күшке негізделген кеңістіктік сырғу механизміне айналады. Содан кейін сіз үш слайдты үш бағытта кез-келген бекітілген бағдармен байланыстыра аласыз, 1 және 2 массивтік анықтамалық параметрлерді мұқият зерттеместен.

2.3.3 Дельта робот манипуляторы.

2.7-суретте Delta манипулятор роботы 1.1-суретте көрсетілген, ол 3-DoF трансляциялық қозғалысы бар жылжымалы платформаның кеңістіктік-параллельді механизмі болып табылады.

Платформа негізге жоғарғы бағанның үш қолымен қосылады



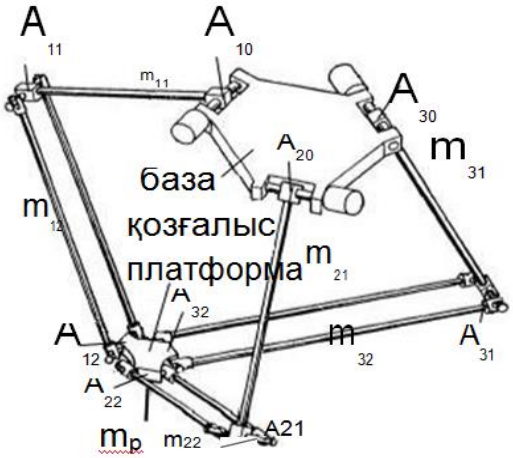
2.7 сурет – а) көрсетілген бағыттаушы механизмді үш байланыстың ашық тізбегі ретінде қарастыруға болады, мұнда 3 сілтеме тек негізге ғана аударылады; б) 3 байланыс күштердің тепе-теңдігін қамтамасыз ету үшін айналмайды, 3-сілтеме КМ 3 байланысының кез келген нүктесінде болуы мүмкін, ал 1 және 2-сілтемелер

А10, А20 және А30 - бұл төменгі және төменгі қосылыстардағы А11, А21 және А31 қосалқы бөліктерінде шынтақтары бар параллелограммдар, ал жоғарғы бөлігінде сфералық қосылыстары бар және 12, А22 және А32 ұялы платформамен сфералық қосылыстары бар.

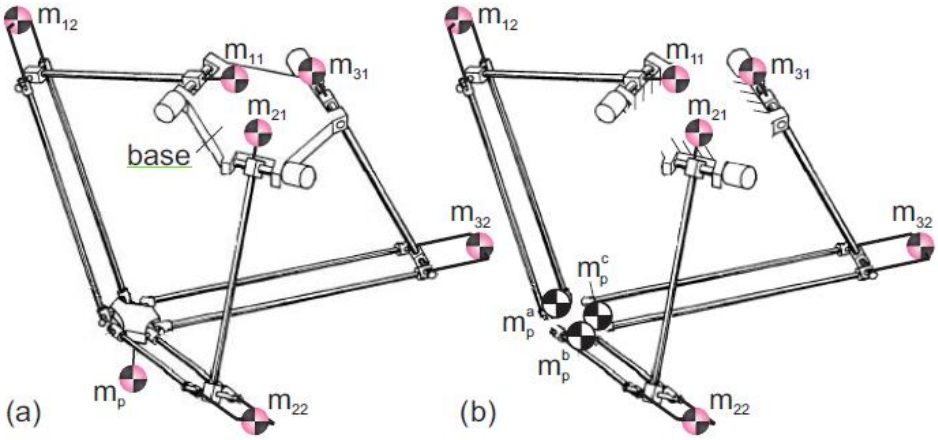
Баланс үшін әр тұтқаны үш қосылыстың кеңістікте ашылған тізбегі ретінде қарастыруға болады, әр параллелограм қосылым және платформаға қатаң қосылған әрбір тізбектің үшінші байланысы деп қарастырылады. Жалғыз қисайған платформа, платформа массасы мен жүктеме МП платформаның кез-келген нүктесінде, сонымен қатар 2.7 b суреттегі жылжымалы механизмде орналасуы мүмкін. Содан кейін mp = map + p + mcp, А12 А22 А32 қосылыстарында массивтік карталардың үш нұсқасы бар, mbp және mcp, 2.8 а суреттің манипулятор күшінің теңгерімі әрқайсысына тең 2.8.b суретте көрсетілгендей күштер.

Эквиваленттік массалардың шамаларын олардың қосындысы mp болғанша еркін таңдауға болады.

Мысалы үшін $m^a_p = m_p + m^b_{22} + m^b_{32}$, $m^b_p = -m^b_{22}$, және $m^c_p = -m^b_{32}$,



2.8 сурет – Дельта роботы - қозғалыстағы платформаға 3-DoF аударымдық қозғалысы бар кеңістіктік параллельді механизм.



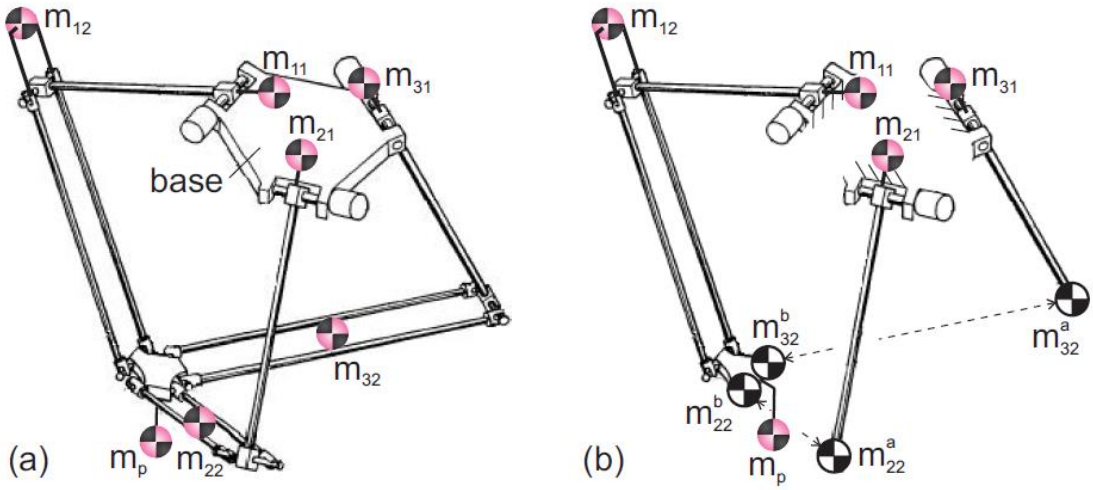
2.9 сурет - a) теңдестірілген дельта роботы (b) үш күшпен теңдестірілген қару.

Сонда m^b 22 және 32 m^b параллелограммның массасына эквивалент 2 және 3 суреттерде көрсетілгендей болады және 2.9 суретте көрсетілгендей күштер тепе-теңдігінің шешімі болады. -де. Осы шешімдердің көмегімен 2 және 3 сынып оқушыларын массаны және m^b 22 және m^b 32 параллелограммдарының эквиваленттерін 2.2-суреттегі екі байланыс тізбегінің ашық теңдестірілген күші деп санауға болады.

Delta роботы соңғы ротордың қосымша айналуы үшін шыбықпен жабдықталған кезде, шыбықтың массасы да болуы мүмкін. Пинк платформаның ортасына, платформаның ортасына және ұзындығы өзгеретін курсорға қосылады. Шыбықтың массасын екі эквивалентті массалармен модельдеуге болады, олардың біреуі базада, екіншісі платформада орналасқан. Платформада эквивалентті массаны мультиплекске қосуға болады және дерекқордағы эквивалентті масса тұрақты емес болғандықтан тартылмайды.

2.4 Циклды жабу қатынастарын қоса алғанда, кинематикалық жабық тізбектер

Алдыңғы бөлім ашық схема әдісімен жабық тізбектердің қуат балансының параметрлері дизайнды таңдауға байланысты болатындығын көрсетеді. Жабық кинематикалық тізбектердің күштерінің толық тепе-теңдігі үшін шешім табудың бір жолы - тізбектің жабылуын қарастыру. Бұл жұмыстың ең көп таралған әдісі - толық соМ байланысының орналасуын сипаттайтын сызықты тәуелсіз векторлар әдісі. Бұл бөлімде жаңа әдіс ұсынылған, онда тұйық циклдың сызықтық қозғалысы сызықты түрде тәуелсіз жазылады. Мұны сызықты тәуелсіз сызықты импульстік әдіс деп атайды. Бұл әдіс интуитивті және қарапайым түрде қуат балансының шешімдерін синтездеуге арналған. Бұл әдіс алдымен 4-жақты 4R қосылымына, содан кейін 4-RRR параллельді механизмге қолданылады.



2.10 сурет - а) екі бағанның екі ашық тізбегі мен үш бағытта айналатын платформасы бар кеңістіктік маятниктің механизмін қарастыру арқылы теңдестірілген Delta роботы; В) Екі төменгі бөліктің массасы жоғарғы байланыстарға және платформаға тең массаға бөлінеді.

2.4.1 4R төртбұрыш байланысы.

Сурет-2.10а-дың 4R төртбұрышының жалпы күш тепе-теңдік шарттарын алу үшін, C2-CB сілтемелері A0-ға қатысты жазылуы мүмкін

$$r_1=A_0+e_1\cos\theta_1-f_1\sin\theta_1. \quad (2.9)$$

$$r_2=A_0+l_1\cos\theta_1 + e2\cos\theta f2\sin\theta_{2.} \quad (2.10)$$

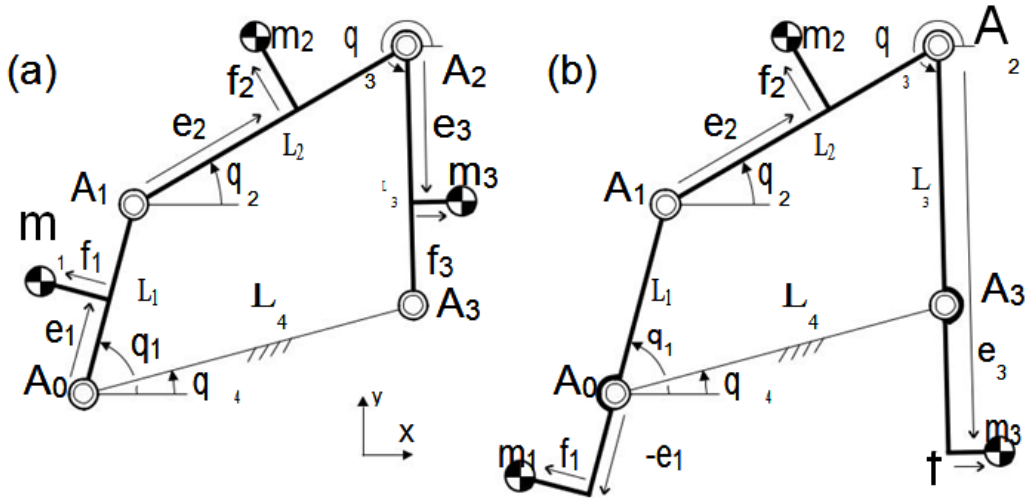
$$r=A+l_1\cos\theta_1 + l2\sin\theta_1 + e3\sin\theta_1 + f3\cos\theta_1. \quad (2.11)$$

Әрбір ei / fi CM қатынасы арқылы анықталған анықтаманың ұзындығы мен ені суретте көрсетілген. Содан кейін бұл сызықтық импульс түрінде жазылады.

$$L=m1r1+m2r2+m3r3=\begin{bmatrix}-(m1e1+m2l1+m3l1)\sin\theta_1 & -m1f1\cos\theta_1\\ (m1e1+m2l1+m3l1)\cos\theta_1 & -m1f1\sin\theta_1\end{bmatrix}\theta_1+$$
$$\begin{bmatrix}(m2e2+m3l2)\sin\theta_2 & -m2f2\cos\theta_2\\ (m2e2+m3l2)\cos\theta_2 & -m2f2\sin\theta_2\end{bmatrix}\theta_2+\begin{bmatrix}(m2e2)\sin\theta_2 & -m2f2\cos\theta_2\\ (m2e2)\cos\theta_2 & -m2f2\sin\theta_2\end{bmatrix}\theta_2\,. \quad (2.12)$$

Циклдік теңдеулерді формула түрінде жасауға болады. Сызықтық импульстік теңдеулерге циклдік теңдеулер қосу үшін олар уақыт туындыларын алмастыруы керек

$$L1\sin\theta_1+l2\sin\theta_2+l3\sin3-l4\cos\theta_4=0. \quad (2.13)$$



2.11 сурет – a) жалпы 4R төртбұрыштық байланыстары және b) 2-сілтеме кодының еркін таңдалған кезде күш теңгерімінің конфигурациясы.

Сілтеме 2 коды еркін таңдап алынады.

Циклдік теңдеулерді сызықтық серпін теңдеулеріне қосу, олардың уақытша туындылары ауыстыру керек, олар ретінде алынған.

$$-l1\sin\theta1\dot{}\theta1-l2\sin\theta2\dot{}\theta2-l3\sin\theta3\dot{}\theta3=0$$
$$l1\cos\theta1\dot{}\theta1+l2\cos\theta2\dot{}\theta2+l3\cos\theta3\dot{}\theta3=0. \quad (2.14)$$

және ретінде қайта реттеуге болады

$$\sin\theta2\dot{}\theta2=-l1/l2\sin\theta1\dot{}\theta1-l3/l2\sin\theta3\dot{}\theta3$$
$$\cos\theta2\dot{}\theta2=-l1/l2\cos\theta1\dot{}\theta1-l3/l2\cos\theta3\dot{}\theta3. \quad (2.15)$$

Осы теңдеулерді $\sin\theta2\theta$ үшін ауыстыру 2 және $\cos\theta2\theta$ 2-ші (2.15) нәтиже береді.

Күшті баланс жағдайлары, олар үшін сызықтық серпін барлық үшін тұрақты болып табылады қозғалысы келесідей:

$$m1e1+m2(1-e2l2)\,l1=m1\,f1-m2f2l2l1=0$$
$$m3(l3-e3)+m2e2l2\quad l3=0 \qquad m3\,f3-m2f2l2\quad l3=0. \quad (2.16)$$

Бұл нәтижелер сызықтық әдіспен алынған нәтижелерге тең тәуелсіз векторлар. Алайда, бұл әдіс ерекшеленеді, өйткені бұл параметр СМ орналасқан жеріне байланысты көп таралмайды. Сызықтық импульстік теңдеулерде тек қозғалатын элементтердің параметрлері болады. Цикл қосу арқылы теңдеулер, 2 сілтеменің сызықты импульсі сызықтық қозғалыс түрінде жазылады

1 және 3-сілтемелер 1 және 3-сілтемелер қозғалысы арасындағы сызықты емес байланыс, бұл олардың жалпы жағдайын немесе тепе-теңдік жағдайларын туғызбайтын біреудің қозғалысына қатысты сызықтық импульс тіркелгенін білдіреді. беріктігі. Сурет. 2.13 b күштің күрделі балансының конфигурациясын көрсетеді. 2-сілтеме өздігінен таңдалады және (2.21) 1 және 3-сілтемелердің координаталары табылған жерде есептеледі. Теңгерілген тетіктерді синтездеу үшін күшті тепе-теңдік ретінде қарастыруға болатын механизм ретінде бәріне ортақ фактор элементтер сілтемелердің бірінің инвариантты нүктесінде болады. Бұл күштер тепе-теңдігі механизмі

$$e1=-m2(1-e2/l2)\ l1/m1 \qquad f1=m2f2/l2*l1/m1$$
$$e3=m2e2/l2*l3/m3+l3 \qquad f3=m2f2/l2*l3/m3. \qquad (2.17)$$

Теңдестірілген тетіктерді синтездеу үшін күшті тепе-теңдік ретінде қарастыруға болатын механизм ретінде барлық элементтердің ортақ факторы сілтемелердің бірінің инвариантты нүктесінде болады.

Мысалы, төрт жақты механизм үшін бұл төрт қосылыстың массасы ескерілетінін білдіреді.

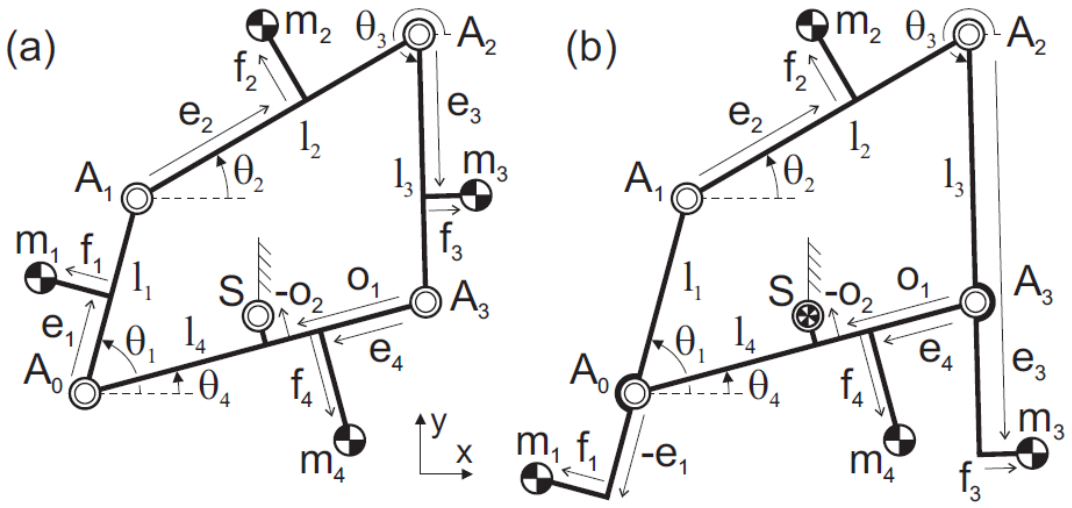
Роботтар сияқты өзгермелі механизмдер соңғы әрекетті қажет етуі мүмкін. 2.14-суретте төрт элементі бар төртбұрыштың әрқайсысының жалпы KM IN көрсетілген, массасы m4 A0-қа қатысты 4-ке тең болуы мүмкін.

$$\overline{r}_4 = \overline{A}_0 + \begin{bmatrix} (l_4 - e_4)\cos\theta_4 + f_4\sin\theta_4 \\ (l_4 - e_4)\sin\theta_4 - f_4\cos\theta_4 \end{bmatrix}. \qquad (2.18)$$

4-сілтемедегі S инварианты нүктесі O1 және o2-ге A3-ге қатысты анықталады. Орналасуы S0-ға қатысты A0-ге жазылуы мүмкін.

$$\overline{r}_S = \overline{A}_0 + \begin{bmatrix} (l_4 - o_1)\cos\theta_4 + o_2\sin\theta_4 \\ (l_4 - o_1)\sin\theta_4 - o_2\cos\theta_4 \end{bmatrix}. \qquad (2.19)$$

Теңгерімділік жағдайын табу үшін, S - бұл төртеудің ортақ коды C-ның айланысының сызықты импульсы ретінде жазылуы мүмкін.



2.12 сурет – a) Төрт байланыстағы барлық төрт байланыстың массасы қарастырылған, b) теңгерімді күшейту 4-сілтемеге қатысты жалпы КМ 4-сілтемедегі S инварианты нүктесінде болған кезде алынады.

$$\left[\!\left[\begin{matrix} l_1 \cos\theta_1 + e_2 \cos\theta_2 - f_2 \sin\theta_2 \\ l_1 \sin\theta_1 + e_2 \sin\theta_2 + f_2 \cos\theta_2 \end{matrix} \right]\!\right] \theta. \qquad (2.20)$$

$m_{t\ ot}$ = m1 + m2 + m3 + m4 жалпы байланыс массасы бар. Өйткені мұнда θ4 – уақыт тәуелді параметр, циклдік теңдеулер туындылары (2.17) жазады

$$-l1 \sin\theta1 \dot{}\theta1 - l2 \sin\theta2 \dot{}\theta2 - l3 \sin\theta3 \dot{}\theta3 + l4 \sin\theta4 \dot{}\theta4 = 0$$
$$l1 \cos\theta1 \dot{}\theta1 + l2 \cos\theta2 \dot{}\theta2 + l3 \cos\theta3 \dot{}\theta3 - l4 \cos\theta4 \dot{}\theta4 = 0. \qquad (2.21)$$

ол қайтадан реттелуі мүмкін

$$\sin\theta3 \dot{}\theta3 = -l1/l2 \sin\theta3 \dot{}\theta3 - l3/l2 \sin\theta3 \dot{}\theta3 + l4/l2 \sin\theta3 \dot{}\theta3$$
$$\cos\theta1 \dot{}\theta1 = -l1/l2 \cos\theta1 \dot{}\theta1 - l3/l2 \cos\theta1 \dot{}\theta1 + l4/l2 \cos\theta1 \dot{}\theta1. \qquad (2.22)$$

Ауыстырғаннан кейін Sinθ2 және cos2 сызықты импульстар түрінде жазылуы мүмкін

S - бұл барлық КМ трафигіне тән жағдай, яғни ол

Сызықтық импульс бүкіл қозғалыс үшін тұрақты, жалпы күш тепе-теңдік шарттары. Тепе-теңдіктің төрт жағдайы тең (2.21). Ал екіншісі анықтайды

S және m4 мекенжайларына сілтемелер 4. 2 және 4 сілтемелер еркін таңдалады.

$e1 = -m2m1(1- e2l2)\ l1$ $\quad f1 = l1m1m2\ f2l$ $\quad o1 = l4mtot\ (m1+m2(1- e2l2) +m4e4l4)$

$e3 = m2m3e2l2l3+l3$ $\quad f3 = l3m3m2\ f2l2$ $\quad o2 = -\ l4mtot(m2f2l2-m4f4l4).$ (2.23)

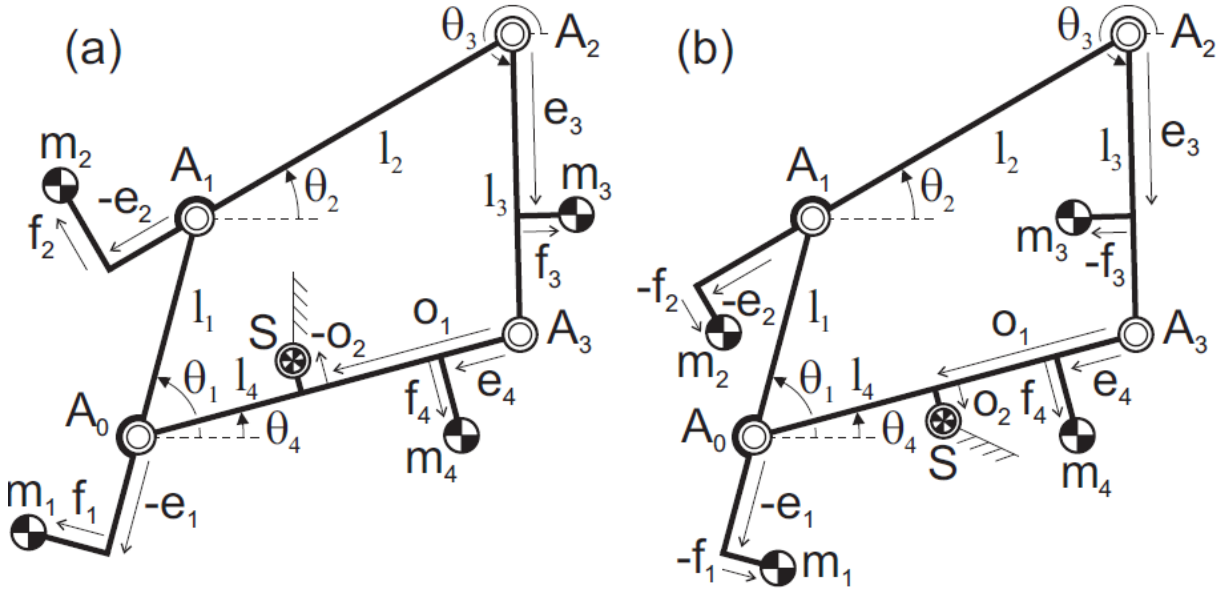
Егер 4 сілтемесіндегі S орналасуы еркін таңдалған болса, 4 байланыс кодының орналасуы ретінде алынған

$$e4 = mtotm4o1 - l4m4(m1+m2(1 - e2l2)) \quad f4 = mtotm4o2 + l4m4m2\, f2l2. \quad (2.24)$$

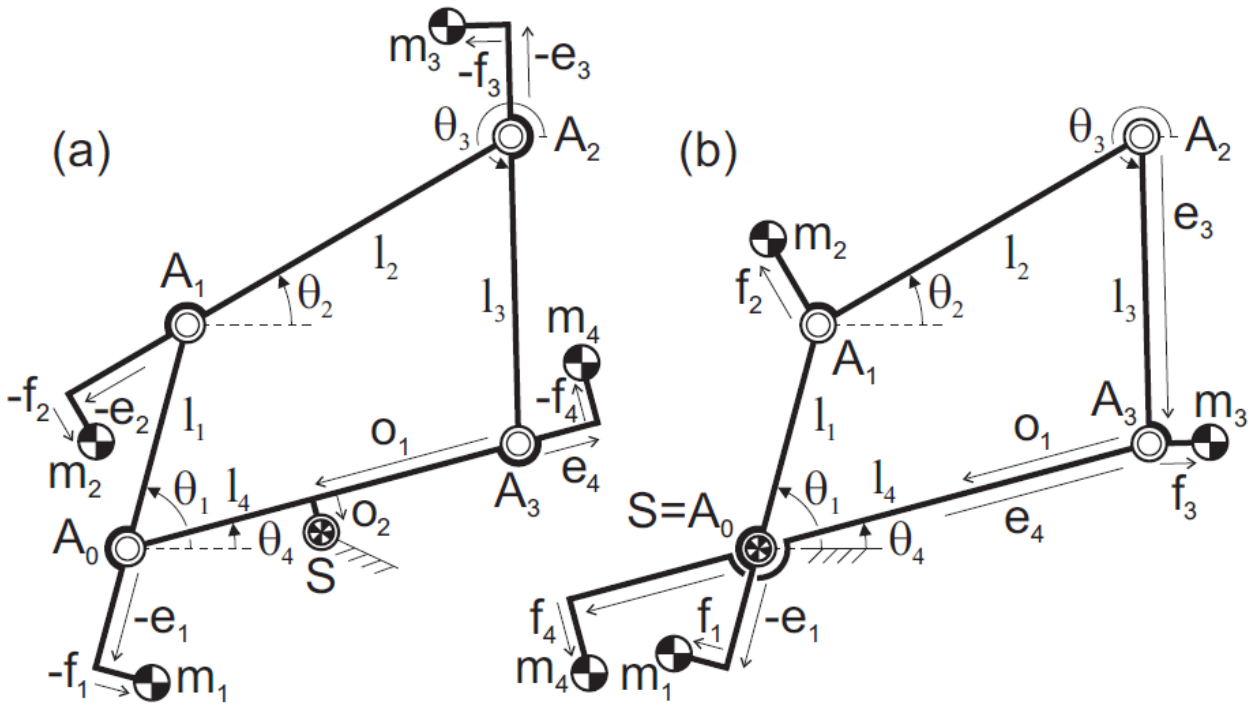
Қуат тепе-теңдігінің әртүрлі конфигурацияларын күшті тепе-теңдік жағдайында табуға болады (2.29). Егер M4 = 0 болса, 2.13 b суретінің ерітіндісі m4 = 0 алынады және f1 = f2 = f3 = 0 фигураларындағы күштер балансының шешімдері алынды. 2,5 b, 2.6 b және 2.7 B. 2.15 суретте m3 еркін таңдалатын күштердің тепе-теңдік конфигурациясы көрсетілген. M1 және m2 орналасуы m3 орналасуына байланысты екендігі көрсетілген, онда f1, f2 және f3 параметрлері бірдей белгіге ие. Орналасқан жеріне байланысты m4, S орналасуды өзгерте алады. 2.16-суретте қуат балансының конфигурациясы көрсетілген, онда барлық CoM байланыс арналары олардың арналарынан алшақ орналасқан жерлерде және 2.16-суреттегі B A0, e2 = 0 және e3 = l3 конфигурациясында орналасқан. 2.17-суретте теңдестірілген күш механизмінің екі позасындағы физикалық модель көрсетілген.

Сурет 2.14 b fi = 0. Буындар мыс қоңыр түсте brown 4 мм жылтыратылған дәнекерлеу өзегінен жасалған, ал осьтер а 2 мм дәнекерлеу өзегінен жасалған. 1 және 3 нысандар, әрқайсысында болат қарсы салмақ бар. 2.18-суретте 215 а-суреттегі күштер тепе-теңдігі механизмінің екі позициясы бойынша физикалық модель келтірілген.

Сонымен қатар, бұл модель диаметрі 4 мм және 2 мм дәнекерлеу шыбықтарынан жасалған.



2.13 сурет – (a) тармағында анықталған кезде еркін таңдалған КМ коды 3 үшін теңгерімді теңгерімдеу конфигурациясы оң f3 және (b) теріс f3.



2.14 сурет – а) байланыс желілеріндегі кеңейтілген нүктелердегі барлық байланыс МСУ теңдестірілген конфигурациясын жақсарту; В) теңгерімнің конфигурациясы сәйкес S және A0, мұнда m2 және m3 орналасқан.

Тиісінше, A1 және A3 арқылы сызықтармен олардың сілтемелеріне перпендикуляр.

2.15 сурет – 2.14b-суреттегі күш-теңдестірілген төртбұрыштың екі позасының физикалық моделі fi = 0

2.16 сурет – 2.15-суреттегі күш теңдестірілген төртбұрыштың екі позициясының физикалық моделі: fi = 0

2.4.2 Параллелограмма және пантографты байланыстыру.

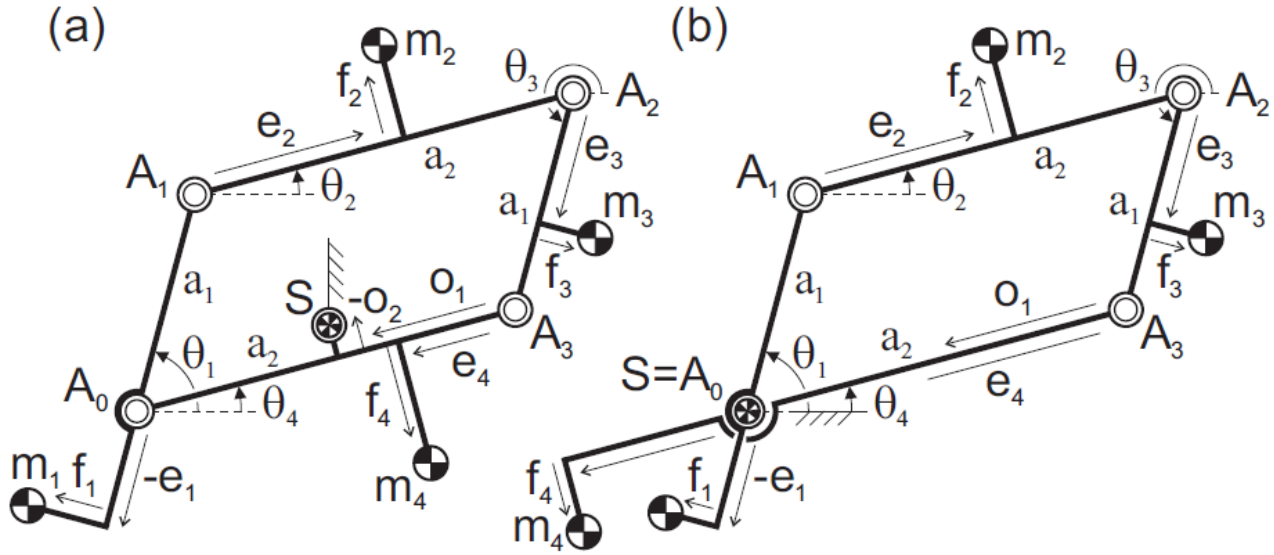
Жалпы алғанда, төртбұрыштың сызықты импульсі 4R (2.28) үш сызықты емес тәуелді терминдерден тұрады. Кинематикалық сипаттамалар анықталған кезде, бұл терминдердің кейбіреуі сызықтық тәуелді болады, содан кейін оларды жалпылау үшін күштердің тепе-теңдік күйін төмендетуге болады. Мысалы, θ3 = θ1 + π және θ4 = θ2 (θ3 = θ 1 және θ4 = θ2) деп жазылған кинематика шарттары, l1 = l3 = a1 және l2 = l4 = a2, геометриялық жағдайларға сәйкес келеді. импульс сызығы ретінде (2.28). мүмкін.

Сызықтық импульс күш тепе-теңдігі жағдайында бүкіл қозғалыс үшін тұрақты:

$$m1e1+m2a1+m3(a1-e3) = 0 \qquad m1\,f1-m3\,f3 = 0$$
$$m_{t\,ot}\,(a2-o1)\,-m2e2-m3a2-m4(a2-e4) = 0 \qquad m_{tot}\,o2+m2\,f2-m4\,f4 = 0. \quad (2.25)$$

2.19-суретте параллелограмма байланысы алынған механизм ұсынылған.

Күштер тепе-теңдігінің алты күйімен жалпы төртжақты байланыспен салыстырғанда, m3 үшін көрсетілген төрт күш тепе-теңдігі жағдайында қосымша ccm коэффициенті бос болады. Бұл көптеген механизмдер бар екенін білдіреді.

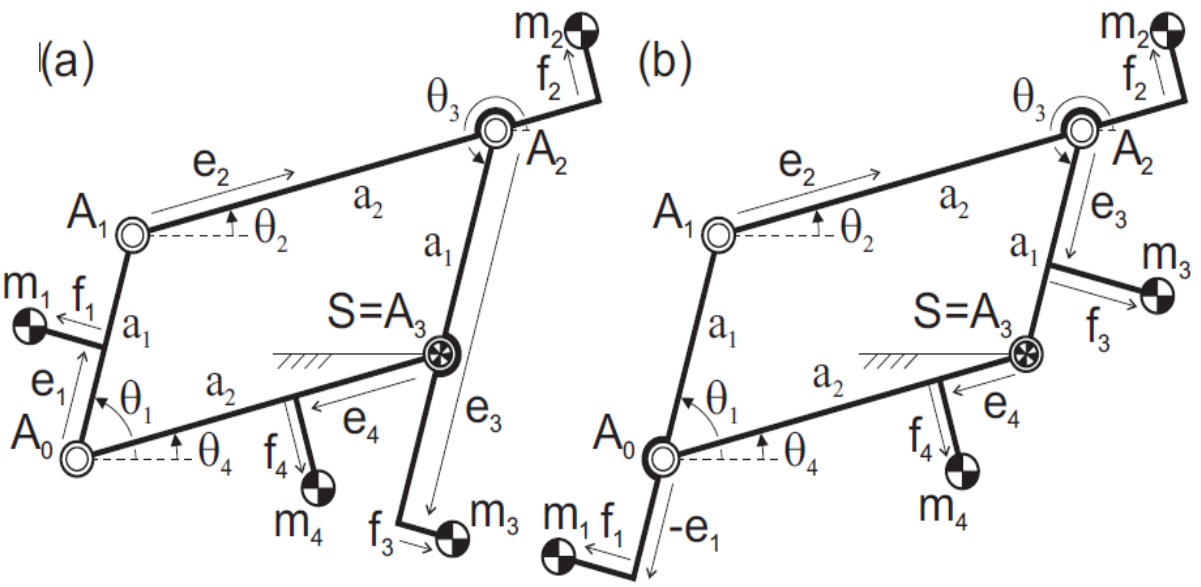


2.19 сурет – а) 2 және 3 байланыстардың еркін координаттарымен параллель қосылыстардың теңгерімі таңдалды; В) S және А0, 2 және 3 салмақтардың мәжбүрлі конфигурациясы еркін таңдалды.

Теңгерімді дизайн үшін еркіндік. Мысалы, 2.19 суретте көрсетілген шешімде DES 2 және 3 нүктелерінің орналасуы 2.16 суреттегідей шектелмеген.

Айнымалы баланстың конфигурациясы 2.20 суретте көрсетілген, мұнда s және А3 сәйкес келеді. 2.20-суреттегі механизм пантографиялық қосылыс ретінде белгілі. Бұл Sylvester пантомографының нақты нұсқасы немесе Шнайнер пантомографының өзгертілген нұсқасы ретінде қарастырылуы мүмкін. Пантограф қосылыстары ұқсас қасиеттерді теңестіретінін білеміз [8]. Келесі тараулар пантографтың өзін-өзі синтездеуінің негізгі тетігі динамикалық теңдестірілген байланыс болып табылатындығын көрсетеді.

Жоғары теңдестірілген пантографиялық қосылыстың физикалық моделі 2.21 суретте көрсетілгендей әртүрлі болып көрінеді. Барлық элементтер болаттан жасалған және барлық осьтер диаметрі 2 мм дәнекерлеуші арқылы жасалады. Сол жақтағы суреттегі диагональды бағытталған элементтер екі еселеніп, көлденең бағытталған элементтер бір қабат пен екіншісінің арасына орналастырылған.



2.20 сурет - S және A3 сәйкес келетін күштік баланстың арнайы конфигурациясы. (B) теңдестірілген пантограф байланысы деп аталады.

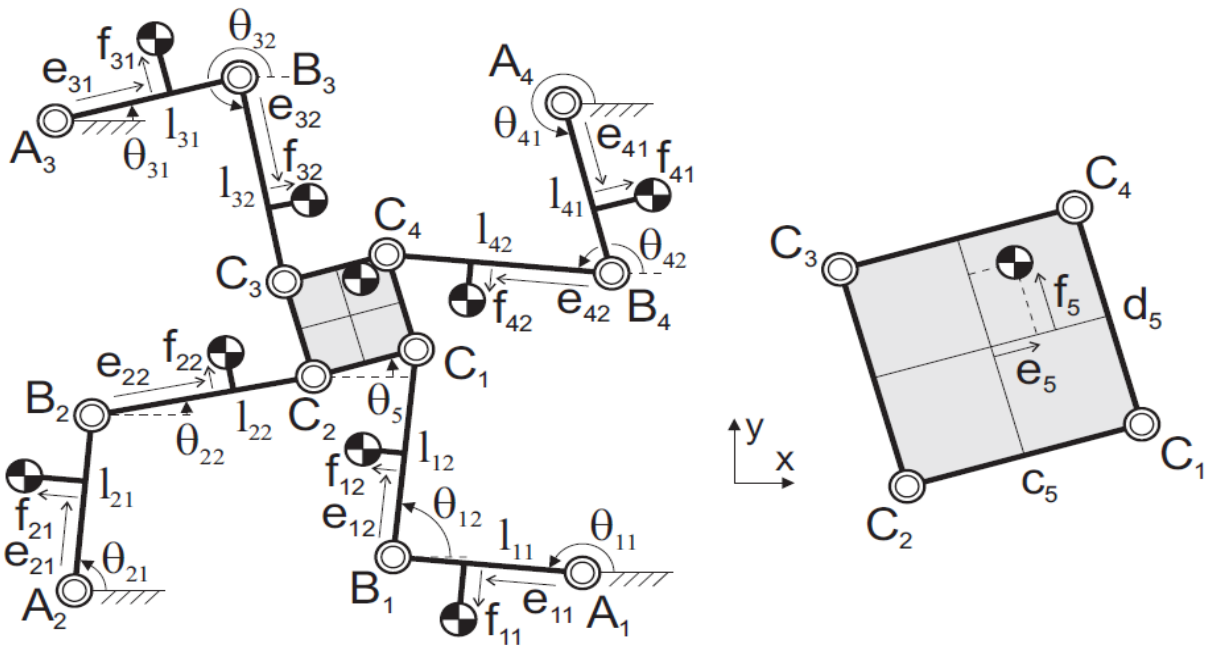
2.21 сурет - 2.20b-суретте әртүрлі позаларда күшті-теңдестірілген пантографты байланыстың физикалық моделі.

2.4.3 4-RRR параллель манипуляторы.

Бұл бөлімде күштердің тепе-теңдік күйін анықтау үшін сызықты тәуелсіз сызықты импульстік әдіс қолданылады, онда тетіктер тұйық ілмектерде бірнеше рет көрсетіледі. Осылайша, 4-RRR параллель манипулятор зерттеледі. Сондай-ақ белгілі бір кинематикалық жағдай күштердің конфигурациясының белгілі бір балансын қалай көрсететінін

көрсету үшін алынды. 3-DoF 4-RRR жазықты параллель манипуляторының жалпы конфигурациясы 2.22 суретте көрсетілген. Бұған Ли Бидің екі қолымен екі ұзындығы екі байланыстырылған революциялық жұбы себеп болды. Әр сілтеме бағыты тақырыптармен сипатталған; i J сілтеме рамасының x осіне қатысты. Сі мен Айдағы жұптар екі қолмен бұралып, мобильді платформадағы революциялық негізге қосылады. Ауыстыру платформасының ені c5, биіктігі d5 және бағдары θ5 болады. Әр сілтемедегі массалық код ei j және fi ретінде анықталады. Платформаның массасы m5, ал CoM e5 және f5 оның центрімен анықталады. CoMs сілтемелерінің ережелері әр түрлі жолмен жазылуы мүмкін. Қысқа әдіс - әр қолдың CoM анықтамасын негізгі жинақ түрінде жазу.

$$r_{i1} = A_i + [e_{i1} \cos\theta i1 - f_{i1} \sin\theta_{i1}$$
$$[e_{i1} \sin\theta i1 + f_{i1} \cos\theta_{i1}]$$
$$ri2 = Ai + [li1 \cos\theta i1 + ei2 \cos\theta i2 - fi2 \sin\theta i2]$$
$$[i1 \sin\theta i1 + ei2 \sin\theta i2 + fi2 \cos\theta i2]. \qquad (2.26)$$



2.22 сурет – 3-нүктелі 4-RR параллель манипулятордың жалпы конфигурациясы. Екі қол C1 C2 C3 C4 екі жылжымалы платформасын A1, A2, A3 және A4 бұрыштарындағы негізге қосады.

Платформаның CM ұстанымы әртүрлі жолдармен жазылуы мүмкін, мысалы, Шпень Айдың біріне қатысты. Масса таралуы - Сі түйісулерінде орналасқан позицияларды қоса алғанда, м55i платформасының төрт эквиваленттік массасының қысқаша шешімі.

$$r5i = Ai + [li1 \cos\theta i1 + li2 \cos\theta i2$$
$$li1 \sin\theta i1 + li2 \sin\theta i2]. \qquad (2.27)$$

Бұл жағдайда θ5 параметрі еленбейді. Балама масса массаға айналды және платформаның КМ-ге ұқсас.

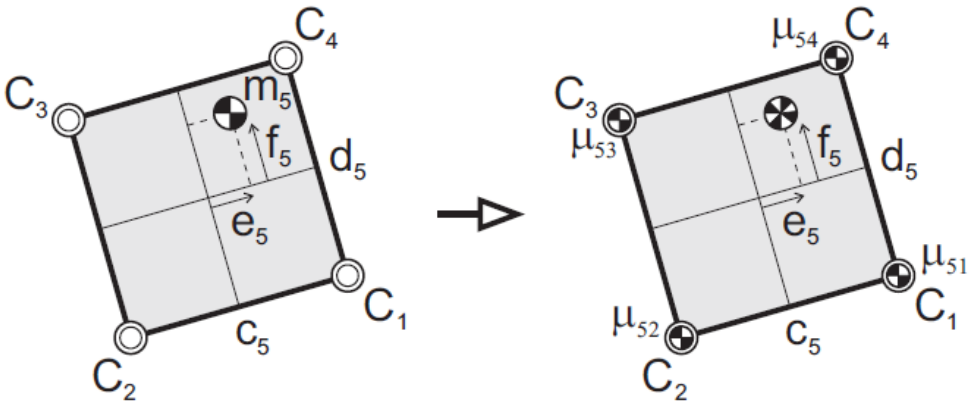
$$\mu 51+\mu 52+\mu 53+\mu 54 = m5. \qquad (2.28)$$

$$\mu 51-\mu 52-\mu 53+\mu 54 = m5e5c5. \qquad (2.29)$$

$$-\mu 51-\mu 52+\mu 53+\mu 54 = m5\ f5d5. \qquad (2.30)$$

Бұл балама масса моделі 2.23 суретте көрсетілген. Үш теңдеудің бірі төрт эквиваленттік массадан тәуелсіз. Манипулятордың сызықтық импульсі позицияның векторларының туындысы ретінде жазылуы мүмкін.

$$L = 4\Sigma i=1(mi1\dot{}ri1+mi2\dot{}ri2+\mu 5i\dot{}r\ 5i). \qquad (2.30)$$



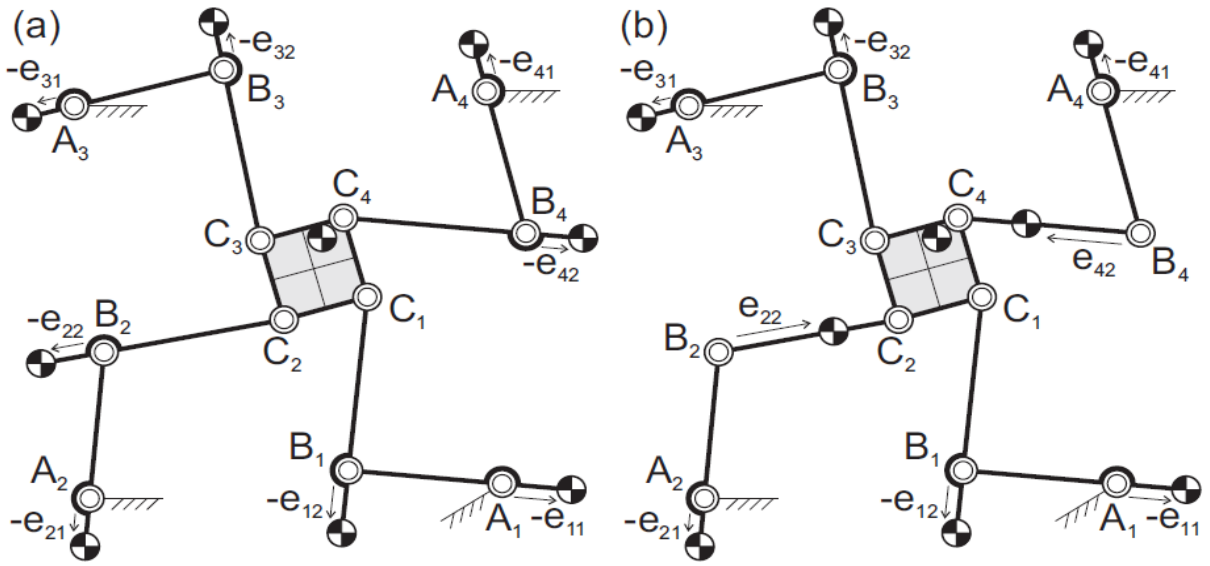
2.23 сурет – Платформаның ең қысқа сипаттамасы үшін оның массасы m5, Сі модельделген қосылыстардағы мк5і төрт эквивалентті массаларға ие.

$$\lambda i11 = mi1ei1+mi2li1+\mu 5ili1\ \lambda i12 = mi1\ fi1$$
$$\lambda i21 = mi2ei2+\mu 5ili2\ \lambda i22 = mi2\ fi2. \qquad (2.31)$$

Сызықтық импульс барлық қозғалыстар үшін нөлге тең болғандықтан, λi jk = 0, әр түрлі күш тепе-теңдігінің шешімдері алынады. Мысалы, 2.24а-суреттегі күштер теңгерімі, онда мк5і еркін таңдалады және әрбір қол ашық схеманың әдісімен жеке-жеке тураланады. 2.24 b суретте күштердің тепе-теңдік конфигурациясы көрсетілген, мұнда е22 және е42 еркін таңдалады және μ52 және μ54 формада (2.31) алынады.

$$\mu_{52} = -e_{22}m_{22}/l_{22}; \qquad \mu_{54} = -e_{42}m_{42}l_{42}. \qquad (2.32)$$

Осы күш тепе-теңдігінің шешімдерінің сипаттамасы fij = 0. 4-R манипуляторында үш тәуелсіз тұйықталған ілмектер бар, оларды олардың арасындағы байланыс ретінде жазуға болады.



2.24 сурет - Тұтас теңгерімін конфигурациялау циклді жабу қатынастарын ескермей, (a) бір μ5i еркін таңдап алынады және (b) 22 және 42-сілтемелердің коды еркін таңдап алынады.

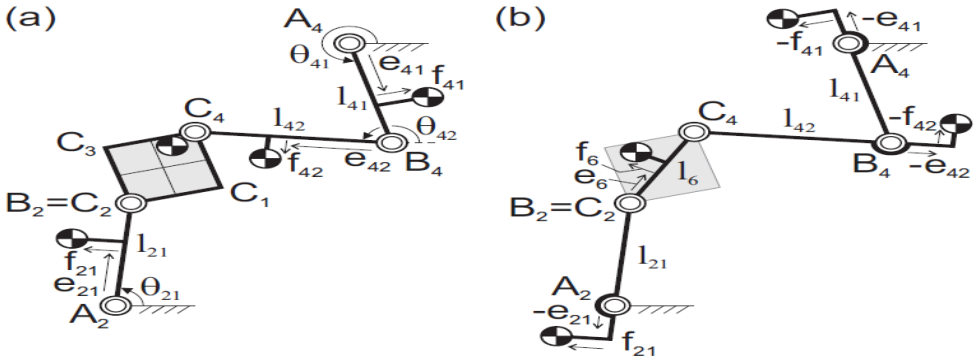
2.5 Талқылау және қорытынды.

Осы тарауда келтірілген механизмдердің қуат балансының шешімдерін күшейту - бұл сызықтық импульсті теңдеулерді қолдана отырып табуға болатын жалпы және жүйелі құрал. Ашық тізбектік әдіспен күш тепе-теңдігін көрсететін тетіктерді тез алуға болады, бірақ нәтижелері шектеулі және дизайнды таңдауға байланысты. Себебі, ашық тізбектер өзара байланыссыз қарастырылады. Delta роботының күштері тепе-теңдігінің конфигурациясы 2.12-суреттегі муфта айнымасында анықталған, мүмкін, қарама-қарсы массаға ие. Содан бері тәжірибе аралық роботтың иықтарының біреуінің қозғалысы салыстырмалы түрде әлсіз екенін көрсетеді, оның бағыты негізгі таңдау бағытына перпендикуляр, иық популяцияға ие болған кезде пайда болады. қарама-қарсы.

Сызықты импульстің тәуелсіз әдісін шығару үшін тұйықталған тетіктердің толық күш тепе-теңдігі шарттары ұсынылады, нәтижесі шексіз және дизайнды таңдауға байланысты. Бұған ауыстыру арқылы қол жеткізілді. Сызықтық импульстік теңдеулердегі циклдік теңдеулер туындысы күш тепе-теңдігі шарттарын алуға болатын механизм болып табылады. Қолданудың бір әдісі - 4-RRR параллель тетігі бар жабық цикл және төрт жақты қосылуға арналған үш тұйық цикл. Жалпы күш SM позицияларының тепе-теңдік жағдайындағы әртүрлі күштер тепе-теңдігінің конфигурациясын таңдау арқылы алынады. Көрсетілгендей, әрбір тәуелсіз тұйық цикл үшін 1 CoM істікшесін еркін таңдауға болады.

Күштердің арнайы тепе-теңдік конфигурациясы алынған кинематикалық жағдайлар. Содан кейін кинематикалық жағдайлар анықталады, бұл сызықтық импульстік теңдеулердегі терминдер санын

азайтады. Осы нақты кинематикалық жағдайлардан геометриялық механизмнің конфигурация шарттары алынады.



2.25 сурет – а) 2-RR параллель манипулятордан алынады, 5 жұптық қосылыстың 5R қосылымы 22 B2 және C2 сәйкес келеді; б) таңдалған платформада KM факторымен теңгерімді конфигурациялауға мәжбүр етеді.

Бұл конфигурация айналмалы платформаға дәл келеді, өйткені ол мінсіз және манипулятор әрқашан қол жетімді, DoF.Бұл әдіс қуаттың ең жақын балансын алуға қолайлы. Сонымен қатар, қуаттылықты теңдестіру механизмінің конфигурациясын төмендетуге болады, өйткені төменгі жиіліктер жалпы және арнайы функция ретінде ұсынылады.

Сызықты тәуелсіз векторлық әдісімен салыстырғанда, сызықты тәуелсіз сызықты импульстік әдіс қарапайым, атап айтқанда бірнеше тұйықталған ілмектері бар механизмдер үшін. Шынында да, негізге қатысты және базаның айналмалы параметрлері сызықтық импульс ескерілмейді, бұл тек қозғалатын элементтердің параметрлері ғана. Алынған циклдік теңдеулерді ауыстыру сызықтық импульс үшін, әсіресе көптеген жабық циклдар үшін көп күш жұмсауды қажет етеді. Әдіс қарапайым және жүйелі болғандықтан, бұл автоматтандыруға жарамды компьютерлік бағдарлама.

Сызықтық әдісті кеңістіктік тетіктерге тәуелсіз кеңейту қиын болады (және терминдердің туындыларына байланысты қиын болуы мүмкін, өйткені, алайда бұл әрі қарай зерттеу нысаны болып табылады.

2.6 Ерекше шайқау үшін негізгі векторлық байланыстар сәтте баланс.

Негізгі векторларды уақыт бойынша туралау әдісі зерттелген. Жалпы алғанда, принциптердің импульс моменті, PAL векторының қатынасы нөлге тең емес, ал қаттылық тепе-теңдігі моментін тек еркіндік дәрежесін төмендету арқылы алуға болады. Тепе-теңдік туралы шешімдерді негізгі массаның центріне қатысты вектордың байланысын қысқаша жазуға болатын уақытта алуға болады. Сонымен қатар, тұйық цикл басы векторлық қатынасты қамтамасыз етеді, мұндағы эквиваленттік массалық импульс моменті негізгі тізбектің массасының центрі тек жеке жағдайда, элемент моделінің элементі векторға тең болады. екі нақты эквиваленттік массаның инерциясы.

2.7 Ашық тізбектегі негізгі вектордың уақытша тепе-теңдік шарттары байланыстар.

Динамикалық теңдестірілген қосылыстарды жобалау кезінде соққы сәттерін де ескеру қажет. Демек, негізгі вектордың есебінің импульс моментін оның қарапайым КМ-де зерттеуге болады, бұл кезде тепе-теңдік барлық қозғалыс үшін тұрақты болуы керек.

Үлкен теңдестіру үшін негізгі векторларды қолдану сөзсіз жоғары. Фишер алдымен кинетикалық энергия теңдеуін алу әдісін ойлап тапты. Көлік байланыстары. Инерция шарттары, негізгі өлшемдері мен уақытқа тәуелді бұрыштары еркіндіктің әр дәрежесіне жатады. Кинетикалық энергия теңдеуі бұрыштық импульс теңдеулерінен айтарлықтай ерекшеленсе де, ұқсастықтары бірдей. Бұл осы жерден көрінеді, сонымен қатар Ықшам қосылыстың импульстік моментін құра алатын сипаттамаларға ие.

Бұрыштық импульс теңдеуінен алынған сәттен бастап негізгі вектор қатынасының негізгі шарттары алынады.

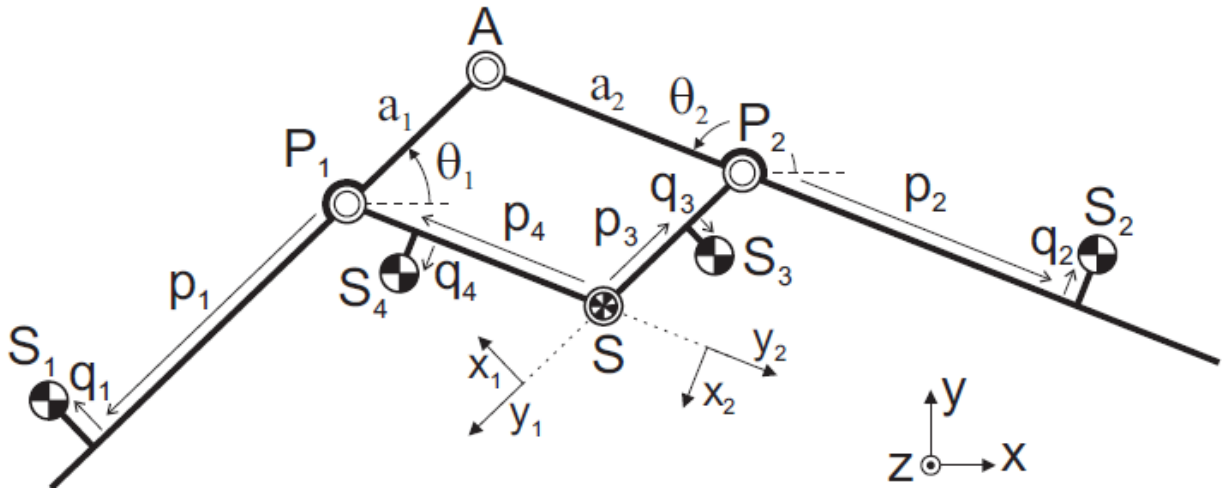
2.7.1 2-DoF пантографының моменттік балансы.

2.35-суретте кәдімгі жазықтық пантограф немесе 3.2-суреттегі қарапайым СМ координаттарымен байланысты 2-DoF жазық негізгі вектор көрсетілген. Әр элементтің бос массасы болады. Эталондық масса мен байланыс коэффициентінің инерциясы арасындағы байланыс. Жалпы, xy жазықтығы жиі кездеседі. Импульстің моментін K-ге сілтеме жасай отырып, S-де жазуға болады.

$$HS=(I1+I3)\dot{\theta}1+(I2+I4)\dot{\theta}2+m1(r1\times\dot{r}1)z+m2(r2\times\dot{r}2)z+$$
$$+m3(r3\times\dot{r}3)z+m4(r4\times\dot{r}4)z, \qquad (2.33)$$

мұндағы z - крест өнімдерінің z компоненті.

КоМ векторларының si КМ жиынтығына қатысты позицияны сипаттайды және оларды негізгі векторлар ретінде жазуға болады.



2.26 сурет – Жалпы пантограф немесе 2-DoF негізгі векторлық байланыстар

Элемент массасымен еркін масса таралуы бар, ал коэффициентке сілтеме инерцияны байланыстырады.

Векторлар мен олардың туындылары қозғалу сәтіне ие.

$$H_s=(I1+I3+m1(p21+q21)+m2a21+m3(p23+q23))\dot{\theta}1+(I2+I4+m1a22+m2(p22+q22)+m4(p24+q24))\dot{\theta}2-(m1a2p1+m2a1p2)\cos(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)-(m1a2q1+m2a1q2)\sin(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2). \quad (2.34)$$

Кейіннен күш теңгерімінің шарттары (2.35) м1п1, м2 п2, m1q1 және m2q2, бұл бұрыштық импульстік теңдеуге әкеледі.

$$HS=(I1+I3+m1(p21+q21)+m2a21+m3(p23+q23))\dot{\theta}1+(I2+I4+m1a22+m2(p22+q22)+m4(p24+q24))\dot{\theta}2-(m_{tot}a1a2-m3a2(a1-p3)-m4a1(a1-p4))\cos(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)-(m3a2q3+m4a1q4)\sin(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2). \quad (2.35)$$

m_{tot} = m1 + m2 + m3 + m4. Инерциялық байланыс радиусымен жазылған Ii = m_{tot}k2 түрінде және i, m_{tot} ξ 2, i қысқартылған терминдерімен бұрыштық моментті оның соңғы ықшам түрінде жазуға болады.

$$HS=m_{tot}\{\chi21\dot{\theta}1+\chi22\dot{\theta}2-a1a2\cos(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)\}+(m3a2(a1-p3)+m4a1(a2-p4))\cos(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)-(m3a2q3+m4a1q4)\sin(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2), \quad (2.36)$$

мұндағы x2 i = к2 i + ξ 2 төмендетілген инерциамен төмендетілген инерцияның радиусы ретінде жазылған.

$$m_{tot}\chi21=I1+I3+m1(p21+q21)+m2a21+m3(p23+q23)$$
$$m_{tot}\chi22=I2+I4+m1a22+m2(p22+q22)+m4(p24+q24). \quad (2.37)$$

Бұл қысқартылған инерция терминдері 2.2-суретте көрсетілген Doc 1 және DoF 2 қозғалыстарының адам ELMS-де кездеседі (2.5-сурет). Олар әрбір ЭЛМС-тегі тірек инерциясымен негізгі нүктеге қатысты массаның инерциясы ретінде есептеледі. Бұрыштық импульс теңдеуінің бірінші жолы тек барлық салыстырмалы DoF бұрыштарына ғана байланысты болады, өйткені жалпы массаның функциясы, инерцияның төмендеуі, негізгі өлшемдері мен уақыты. Бұл шын мәнінде импульс моментінің негізгі элементтері. 3 және 4 бұрыштық импульс теңдеуінің соңғы екі бағыты m3 және M4 негізгі векторлық байланыстардың массасына байланысты.

$$H_S=m_{tot}(\chi21\dot{\theta}1+\chi22\dot{\theta}2-a1a2\cos(\theta1-\theta2)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)). \quad (2.37)$$

төмендетілген инерциямен бірге жазылған.

$$m_{tot}\chi 21 = I1+m1p21+m2a21$$
$$m_{tot}\chi 22 = I2+m1a22+m2p22. \qquad (2.38)$$

2.34-сурет негізгі векторлық байланыс үшін, сәтте баланс бұрыштық серпін (2.8) тұрақты сәтте, ол сәтте теңгерім қалпында болады:

$$m_{tot}\,\{\chi 21\ \dot{}\theta 1+\chi 22\ \dot{}\theta 2-a1a2\cos(\theta 1-\theta 2)\,(\dot{}\theta 1+\dot{}\theta 2)\}$$
$$+(m3a2(a1-p3)+m4a1(a2-p4))\cos(\theta 1-\theta 2)\,(\dot{}\theta 1+\dot{}\theta 2)$$
$$-(m3a2q3+m4a1q4)\sin(\theta 1-\theta 2)\,(\dot{}\theta 1+\dot{}\theta 2)=\Lambda. \qquad (2.39)$$

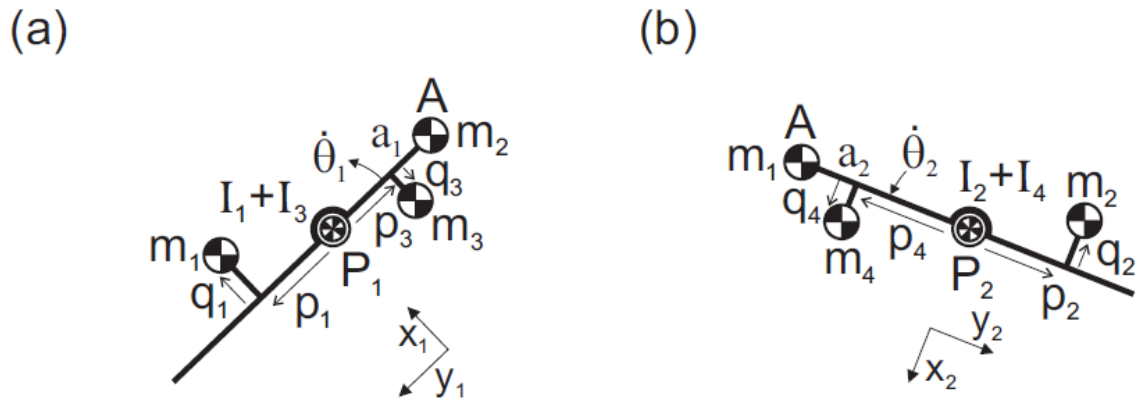
Моменттердің тепе-теңдігіне арналған шешімдер.

Жалпы, тепе-теңдік күйінің моменті (2.39) бүкіл қозғалыс үшін тұрақты немесе нөлге тең болмайды. Бұл нақты салыстырмалы қозғалыстардың нақты қатынастары үшін тұрақты бола алады, бұл қысқартылған жағдайларды білдіреді. Мысалы, L = 0 үшін мүмкін болатын екі нүктелі тепе-теңдік шарттарының жиынтығы.

$$\dot{}\theta 1+\dot{}\theta 2=0$$
$$\chi 21=\chi 2. \qquad (2.40)$$

оның соңғы нәтижесі

$$I1+I3+m1(p21+q21)+m2a21+m3(p23+q23)=$$
$$I2+I4+m1a22+m2(p22+q22)+m4(p24+q24). \qquad (2.41)$$



2.27 сурет – а) РДК 1 және В) ELMS DoF 2 жеке-жеке қозғалысы, оның ішінде инерция инерциясының мәні инерцияның азайтылған моделі ретінде алынады.

Сонда екі салыстырмалы қозғалыс тең және қарама-қарсы бағытта. Жалпы, DOF-тың салыстырмалы қозғалысы арасындағы сызықтық қатынасты being2 = t1-T2 θ1, T1 және T2 тұрақты деп жазуға болады. Егер туынды θ2 = -2, θ1 болса, онда тепе-теңдік моменті (2.42) төмендейді.

$$m_{tot}\,(\chi 21-t2\chi 22-a1a2(1-t2)\cos((1+t2)\,\theta 1-t1))$$
$$+(m3a2(a1-p3)+m4a1(a2-p4))\,(1-t2)\cos((1+t2)\,\theta 1-t1)- \qquad (2.42)$$

$$(m3a2q3+m4a1q4)\ (1-t2)\ \sin((1+t2)\ \theta1-t1) = 0.$$

Сызықтық қозғалыс қатынасы үшін сәттілік тепе-теңдігінің жалпы шарттары салыстырмалы екі еркіндіктің соңғысы ретінде анықталған.

$$\theta2 = t1-t2\theta1$$
$$\dot{\theta}2 = -t2\,\dot{\theta}1$$
$$m_{tot}\chi21-m_{tot}\ t2\chi22 +(-a1a2m_{tot} +m3a2(a1- p3)+$$
$$m4a1(a2- p4))\ (1-t2)\ \cos((1+t2)\ \theta1-t1) -$$
$$(m3a2q3+m4a1q4)\ (1-t2)\ \sin((1+t2)\ \theta1-t1) = 0. \qquad (2.42)$$

Осы теңдеулерден маңызды теңдеулердің екі ішкі мәтіні алынады. T2 = 1 үшін лезде тепе-теңдік жағдайларының қосындысы (2.42) екінші бөлімде көрсетілген

Негізгі тепе-теңдік шарттарының жиынтығы ретінде анықталған.

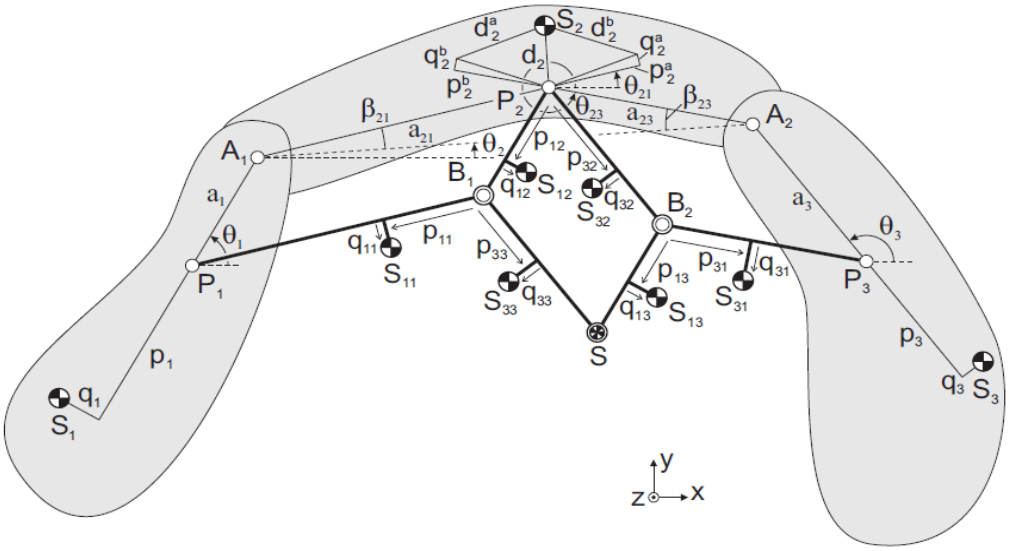
$$\theta2 = t1-t2\theta1$$
$$\dot{\theta}2 = -t2\,\dot{\theta}1$$
$$\chi21 = t2\chi22. \qquad (2.43)$$

Бұл жерде екі салыстырмалы қозғалыс қарама-қарсы бағытта, бірақ бұрыштық жылдамдықтармен ерекшеленеді. Екі салыстырмалы еркіндіктің деңгейлері арасындағы бейсызық қатынастардың теңдестірілген шешімдерін дәл осылай табуға болады.

$$H_S=(I1+I12+I13)\ \dot{\theta}1+(I2+I11+I31)\ \dot{\theta}2+(I3+I32+I33)\ \dot{\theta}3 +m1(r1\times\dot{r}1)$$
$$z+m2(r2\times\dot{r}2)\ z+m3(r3\times\dot{r}3)\ z+$$
$$m11(r11\times\dot{r}11)z+m12(r12\times\dot{r}12)z+m13(r13\times\dot{r}13)z+$$
$$m31(r31\times\dot{r}31)z+m32(r32\times\dot{r}32)z+m33(r33\times\dot{r}33)z. \qquad (2.44)$$

Мұнда векторлар CoMe Si сілтеме ережелерін S-дегі жалпы CoM ережелеріне қатысты сипаттайды және оларды негізгі векторлар ретінде жазуға болады.

$$r1 = a3П3-a21П21- p1П1+q1П'1$$
$$r2 = a1П1+a3П3+ pa2П21+qa2П'21- pb2П23+qb2П'23$$
$$r3 = a1П1+a23П23- p3П3-q3П'3$$
$$r11 = a3П3- p11П21-q11П'21$$
$$r12 = a3П3+ p12П1-q12П'1$$
$$r13 = p13П1-q13П'1$$
$$r31 = a1П1+ p31П23-q31П'23$$
$$r32 = a1П1+ p32П3+q32П'3$$
$$r33 = p33П3+q33П'3. \qquad (2.59)$$



2.28 сурет – Жалпы алғанда, 3-DoF негізгі тізбектегі векторлық байланыстар тоғыз элементтің массасына үлестірімге ие, масса таралуы еркін массаға ие және инерциялық сілтемені CoM Si байланыстырады.

Мұнда θ21 = θ2 + β21 бұрыштары және θ23 = θ2-β23 негізгі өлшемдер a21 және a23, тиісінше, суретте көрсетілгендей 2.59. Бұл векторлар кезде ал олардың туындылары ауыстырылады, бұрыштық серпін ретінде жазылуы мүмкін.

$$H_s=(I1+I12+I13+m1(p21+q21)+(m2+m3+m31+m32)a21+m12(p212+q212)+m13(p213+q213))\dot{\theta}1+(I2+I11+I31)\dot{\theta}2+(m1a221+m2((p2)2+(qa2)2)+m11(p211+q211))\dot{\theta}21+(m2((pb2)2+(qb2)2)+m3a223+m31(p231+q231))\dot{\theta}23+(I3+I32+I33+m3(p23+q23)+(m1+m2+m11+m12)a23+32(p232+q232)+m33(p233+q233))\dot{\theta}3+(m1a21p1+m2a1pa2)\cos(\theta1-\theta21)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}21)+(-m2a1pb2+m3a1a23+m31a1p31)\cos(\theta1-\theta23)(\dot{\theta}1+\theta23)+(-m1a3p1+m2a1a3-m3a1p3+m12a3p12+m32a132)\cos(\theta1-\theta3)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}3)+(-m2pa2pb2+m2qa2qb2)\cos(\theta21-\theta23)(\dot{\theta}21+\dot{\theta}23)+(-m1a21a3+m2a3pa2-m11a3p11)\cos(\theta21-\theta3)(\dot{\theta}21+\dot{\theta}3)+(-m2a3pb2-m3a23p3)\cos(\theta23-\theta3)(\dot{\theta}23+\dot{\theta}3)+(m1a21q1+m2a1qa2)\sin(\theta1-\theta21)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}21)+(m2a1qb2-m31a1q31)\sin(\theta1-\theta23)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}23)+(-m1a3q1-m3a1q3+m12a3q12+m32a1q32)\sin(\theta1-\theta3)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}3)+(m2pa2qb2+m2pb2qa2)\sin(\theta21-\theta23)(\dot{\theta}21+\dot{\theta}23)+(-m2a3qa2+m11a3q11)\sin(\theta21-\theta3)(\dot{\theta}21+\dot{\theta}3). \quad (2.59)$$

Сонда қатынастар θ21 = θ2 + β21, θ23 = θ2 -β23 және ˙21 = ˙θ23 = ˙θ2 болып табылады ауыстырылған, бұрыштық серпін теңдеуі болады.

m_{tot} = m1 + m2 + m3 + m11 + m12 + m13 + m31 + m32 + m33 және азайтылған

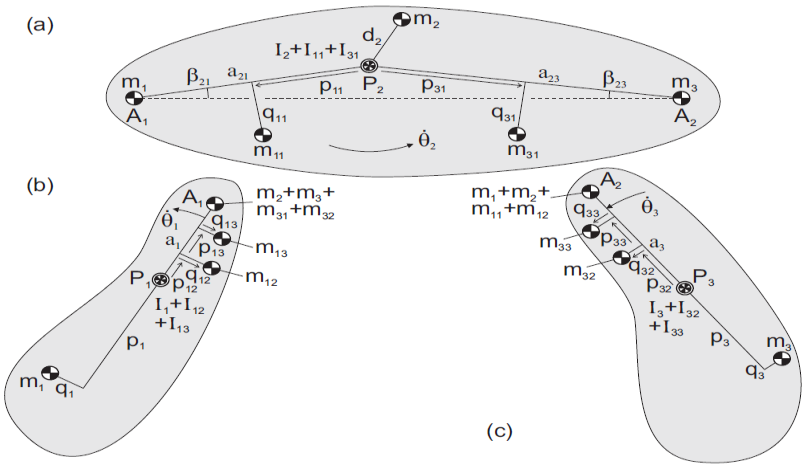
$m_{tot}\chi^2_1$, $м_{тот}x^2_2$, және $м_{тот}x^2_3$ деп жазылған

$$m_{tot\chi}21=1+I12+I13+m1(p21+q21)+(m2+m3+m31+m32)\,a21+m12(p212+q212)+m13(p213+q213). \quad (2.60)$$

$$mtot\chi 22=I2+I11+I31+m1a221+m2d22$$
$$+m3a223+m11(p211+q211)+m31(p231+q231). \quad (2.61)$$

$$mtot\chi 23=3+I32+I33+m3(p23+q23)+(m1+m2+m11+m12)$$
$$a23+m32(p232+q232)+m33(p233+q233). \quad (2.62)$$

Кейіннен күш теңгерімінің шарттары (2.62) m1 p1, m1q1, m2pa2, m2qa2, м2 pb2, m2qb2, m3p3 және m3q3, онда бұрыштық импульс оның қорытынды формадағы нәтижесі ретінде.



2.29 сурет – Үш қысқартылған инерцияны алу үшін салыстырмалы DoFs ELMS әр нүктенің негізгі нүкте туралы инерциясы.

$$HS = mtot\,\{\chi 21\ \dot{\theta}1+\chi 22\ \dot{\theta}2+\chi 23\ \dot{\theta}3-a1a3\cos(\theta 1-\theta 3)$$
$$(\dot{\theta}1+\dot{\theta}3)+a1a21\cos(\theta 1-\theta 2-\beta 21)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)-a3a23$$
$$\cos(\theta 2-\theta 3-\beta 23)(\dot{\theta}2+\dot{\theta}3)\}-(m33a1a21+m11$$
$$(a21-p11)\,a1+m12(a1-p12)\,a21+m13(a1-p13)$$
$$a21)\cos(\theta 1-\theta 2-\beta 21))(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)+(m33(a3-33)\,a1$$
$$+m13(a1-p13)\,a3)\cos(\theta 1-\theta 3)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}3)+(m13a3a23$$
$$+m31(a23-p31)\,a3+m32(a3-p32)\,a23+m33(a3-33)$$
$$a23)\cos(\theta 2-\theta 3-\beta 23)(\dot{\theta}2+\dot{\theta}3)+(m11a1q11+m12a21q12$$
$$+m13a21q13)\sin(\theta 1-\theta 2-\beta 21)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)-$$
$$(m13a3q13+m33a1q33)\sin(\theta 1-\theta 3)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}3)-$$
$$(m31a3q31+m32a23q32+m33a23q33)\sin(\theta 2-\theta 3-\beta 23)(\dot{\theta}2+\dot{\theta}3). \quad (2.63)$$

Бұрыштық импульстің бірінші бөлігі негізінен үш негізгі элементке қатысты.

$$HS;\ P = mtot\,(\chi 21\ \dot{\theta}1+\chi 22\ \dot{\theta}2+\chi 23\ \dot{\theta}3-a1a3\cos(\theta 1-\theta 3). \quad (2.64)$$

3-DoF негізгі сомасының сәттілік балансының бұрыштық импульсінен 2.29 суреттегі векторлық байланыс келесідей:

$$mtot\,(\chi 21\ \dot{\theta}1+\chi 22\ \dot{\theta}2+\chi 23\ \dot{\theta}3)+((mtot-m33)\,a1a21-m11$$

$$(a21-p11)\,a1-m12(a1-p12)\,a21-m13(a1-p13)\,a21)\cos(\theta1-\theta2-\beta21))\,(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)+(-mtota1a3+m33(a3-p33)\,a1+m13(a1-p13)\,a3)\cos(\theta1-\theta3)\,(\dot{\theta}1+\dot{\theta}3)+(-(mtot-m13)\,a3a23+m31(a23-p31)\,a3+m32(a3-p32)\,a23+m33(a3-p33)\,a23)\cos(\theta2-\theta3-\beta23)\,(\dot{\theta}2+\dot{\theta}3)+(m11a1q11+m12a21q12+m13a21q13)\sin(\theta1-\theta2-\beta21)\,(\dot{\theta}1+\dot{\theta}2)-(m13a3q13+m33a1q33)\sin(\theta1-\theta3)\,(\dot{\theta}1+\dot{\theta}3)-(m31a3q31+m32a23q32+m33a23q33)\sin(\theta2-\theta3-\beta23)\,(\dot{\theta}2+\dot{\theta}3)=\Lambda$$

$$\Lambda \in \Re.\ \text{Тұрақты.} \qquad (2.65)$$

2.7.2 Момент балансының шешімдері.

Уақыт тепе-теңдігінің позициясын сақтау үшін (2.65), салыстырмалы түрдегі қозғалыстар да болады, олар әртүрлі және сызықты емес түрде байланысуы керек. Мысал ретінде L = 0, θ3 = t1 -θ1 және θ2 = t2 көрсетейік, мұнда θ3 = -171 және θ 2 = 0, ал 2-ші элемент жоқ, ал негізгі берілістермен қарсы бағытта бұрыңыз. , Моменттің тепе-теңдік жағдайы төмендейді (2.66).

$$m_{tot}(\chi21-\chi23)+((m_{tot}-m33)a1a21-m11(a21-p11)a1-m12(a1-p12)\,a21-m13(a1-p13)\,a21)\cos(\theta1-t2-\beta21)+(-(m_{tot}-m13)\,a3a23+m31(a23-p31)\,a3+m32(a3-p32)\,a23+m33(a3-p33)\,a23)\cos(\theta1-t1+t2-\beta23)+(m11a1q11+m12a21q12+m13a21q13)\sin(\theta1-t2-\beta21)+(m31a3q31+m32a23q32+m33a23q33)\sin(\theta1-t1+t2-\beta23)=0. \qquad (2.66)$$

$$\theta2 = t2$$
$$\theta3 = t1-\theta1$$
$$\chi^2_1 = \chi^2_3. \qquad (2.67)$$

Негізгі элементтердің симметриялы қарама-қарсы қозғалысы үшін 1 және 3-тің салыстырмалы элементтері 2-ге тең, мұндағы t1 = π + 2T2, егер негізгі векторлық байланыс met21 = β23 симметриямен жасалса, тепе-теңдік моменті азаяды

$$mtot\,(\chi21-\chi23)+((mtot-m33)\,a1a21-m11(a21-p11)\,a1-m12(a1-p12)\,a21-m13(a1-p13)\,a21+(mtot-m13)\,a3a23-m31(a23-p31)\,a3-m32(a3-p32)\,a23-m33(a3-p33)\,a23)\cos(\theta1-t2-\beta21)+(m11a1q11+m12a21q12+m13a21q13-m31a3q31-m32a23q32-m33a23q33)\sin(\theta1-t2-\beta21)=0. \qquad (2.68)$$

және сәттегі баланс жағдайының жиынтығы ретінде анықталады

$$\theta2 = t2$$
$$\theta3 = \pi + 2t2-\theta1$$
$$\chi21 = \chi23. \qquad (2.69)$$

$(m_{tot} - m33)\ a1a21 - m11(a21 - p11)\ a1 - m12(a1 - p12)\ a21 - m13(a1 - p13)\ a21 +$

$(m_{tot} - m13)\ a3a23 - m31(a23 - p31)\ a3 - m32(a3 - p32)\ a23 - m33(a3 - p33)\ a23 = 0$

$m11a1q11 + m12a21q12 + m13a21q13 - m31a3q31 - m32a23q32 - m33a23q33 = 0.$

Теңдестірілген екі нүктелі шешімдер жиынтығы үшін үш DoF-тің негізгі векторлық тәуелділігі бірыңғай динамикалық теңдестірілген DoF механизміне дейін азаяды.

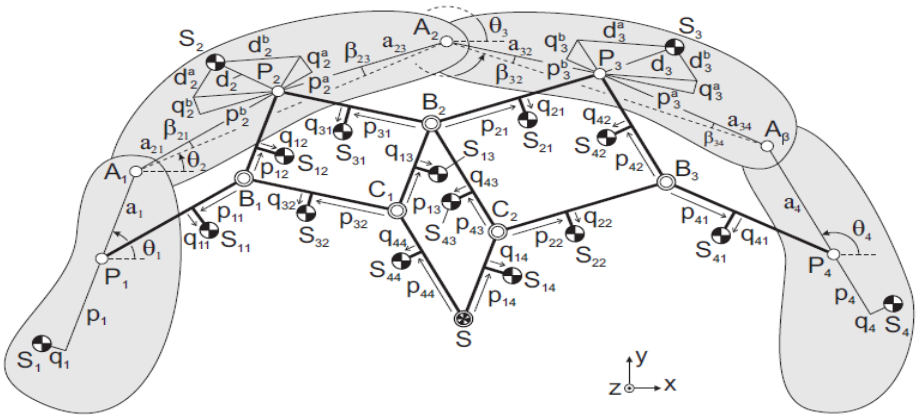
2.7.3 Сериядағы төрт негізгі элементтің моменттік балансы

2.29-сурет 2.30-суретте әр элементтің ортақ КМ бар, ол 3-DoF негізгі векторлық байланысының ашық тізбегінде көрсетілген. CoM si-де әр элементтің инерциясы бар. Жалпы КМ коэффициентінің импульс моментін XY жазықтығы түрінде жазуға болады

$$HS=(I1+I12+I13+I14)$$
$$+(I2+I11+I21+I22)\dot{\theta}2+(I3+I31+I32+I41)\dot{\theta}3+(I4+I42+I43+I44)\dot{\theta}4+$$
$$m1(r1\times\dot{r}1)z+m2(r2\times\dot{r}2)z+m3(r3\times\dot{r}3)z+m4(r4\times\dot{r}4)z+$$
$$m11(r11\times\dot{r}\,11)z+m12(r12\times\dot{r}\,12)z+m13(r13\times\dot{r}13)z+m14(r14\times\dot{r}14)z+$$
$$m21(r21\times\dot{r}\,21)z+m22(r22\times\dot{r}\,22)z+m31(r31\times\dot{r}31)z+m32(r32\times\dot{r}32)z+$$
$$m41(r41\times\dot{r}\,41)z+m42(r42\times\dot{r}\,42)z+m43(r43\times\dot{r}43)z+m44(r44\times\dot{r}44)z, \quad (2.70)$$

мұндағы S - векторлар CoMe Si сілтеме ережелерін жалпы CoM ережелерімен салыстырады және оларды негізгі векторлар ретінде жазуға болады.

$$r1 = a4П4 - a32П32 - a21П21 - p1П1 + q1П'1$$
$$r2 = a1П1 + a4П4 - a32П32 + pa2П21 + qa2П'21 - pb2П23 + qb2П'23$$
$$r3 = a1П1 + a4П4 + a23П23 + pa3П32 + qa3П'32 - pb3П34 + qb3П'34$$
$$r4 = a1П1 + a23П23 + a34П34 - p4П4 - q4П'4$$
$$r11 = a4П4 - a32П32 - p11П21 - q11П'21. \quad (2.71)$$



2.30 сурет – Жалпы ашық тізбекті 4-DoF негізгі векторлық байланыстары

16 элементтің массалық массасы мен инерцияны байланыстыратын ерікті массалық үлестері бар сілтеме CoM Si.

$$r12= a4П4-a32П32+ p12П1-q12П'1$$
$$r13 = a4П4+ p13П1-q13П'1$$
$$r14 = p14П1-q14П'1$$
$$r21 = a1П1+a4П4+ p21П23-q21П'23$$
$$r22 = a1П1+ p22П23-q22П'23$$
$$r31 = a1П1+a4П4- p31П32-q31П'32$$
$$r32 = a1П1- p32П32-q32П'32$$
$$r41 = a1П1+a23П23+ p41П34-q41П'34$$
$$r42 = a1П1+a23П23+ p42П4+q42П'4$$
$$r43 = a1П1+ p43П4+q43П'4$$
$$r44 = p44П4+q44П'4, \qquad (2.72)$$

мұнда θ21 = θ2 + β21 және Asosiy23 = θ2-β23 бұрыштарын тиісінше a21 және a23 автожолдарының өлшемдеріне, ал θ32 = θ3 + β32 және θ34 = θ3--34 бұрыштарын сәйкесінше бөлеміз. a32 және a34 өлшемдерінің негізі. Осы векторлар мен олардың туындылары ауыстырылған кезде бұрыштық импульс қалай жазылса болады.

$$HS = (I1+I12+I13+I14+(m2+m3+m4+m21+m22+m31+m41 +m42+m43) a21+m1(p21+q21) +m12(p212+q212) +m13(p213 +q213) +m14(p214+q214)) \dot{\theta}1+(I2+I11+I21+I22) \dot{\theta}2+(I3+I31 +I32+I41) \dot{\theta}3+(m1a221+m2((pa2)2+(qa2)2) +m11(p211+q211)) \dot{\theta}21+((m3+m4+m41+m42) a223+m2((pb2)2+(qb2)2) +m21 (p221+q221) +m22(p222+q222)) \dot{\theta}23+((m1+m2+m11+m12) a232+m3((pa3)2+(qa3)2) +m31(p231+q231) +m32(p232+q232)) \dot{\theta}32+(m3((pb3)2+(qb3)2) +m4a234+m41(p241+q2 41)) \dot{\theta}34+(I4+I42+I43+I44+(m1+m2+m3+m11+m12 +m13+m21+m31+m32) a24+m4(p24+q24) +m42(p242+q242) +m43(p243+q243) +m44(p244+q244)) \dot{\theta}4+ (m1a21 p1+m2a1pa2) cos(\theta1-\theta21) (\dot{\theta}1+ \dot{\theta}21) + ((m3+m4+m41+m42) a1a23-m2a1pb2+m21a1p21+m22a1p22) cos(\theta1-\theta23) (\dot{\theta}1+ \dot{\theta}23) +(m1a32 p1-m2a1a32+m3a1pa3 -m12a32p12-m31a1p31) cos(\theta1-\theta32) (\dot{\theta}1+ \dot{\theta}32) +(-m3a1pb3 +m4a1a34+m41a11) cos(\theta1-\theta34) (\dot{\theta}1+\dot{\theta}34) +(-m1a4p1+(m2 +m3+m21+m31) a1a4-m4a1p4+m12a4p12+m13a4p13+m42a1 p42+m43a1p43) cos(\theta1-\theta4) (\dot{\theta}1+ \dot{\theta}4) +(-m2pa2 pb2+m2qa2qb2) cos(\theta21-\theta23) (\dot{\theta}21+ \dot{\theta}23) +(m1a21a32 -m2a32 pa2+m11a32p11) cos(\theta21-\theta32) (\dot{\theta}21+ \dot{\theta}32) + (-m1a21a4+m2a4pa2-m11a4p11) cos(\theta21-\theta4) (\dot{\theta}21+ \dot{\theta}4) +(m2a32 pb2+m3a23 pa3) cos(\theta23-\theta32) (\dot{\theta}23+ \dot{\theta}32) +(-m3a23 pb3+m4a23a34+m41a23 p41) cos(\theta23-\theta34) (\dot{\theta}23+ \dot{\theta}34) +(-m2a4pb2+m3a23a4$$

$$
\begin{gathered}
-m4a23\ p4+m21a4p21+m42a23p42) \\
\cos(\theta23-\theta4)(\dot{\theta}23+\dot{\theta}4)+(-m3pa3pb3+m3qa3qb3 \\
)\cos(\theta32-\theta34)(\dot{\theta}32+\dot{\theta}34)+(-m1a32a4-m2a32a4+m3a4pa3 \\
-m11a32a4-m12a32a4-m31a4p31-m32a4p32) \\
\cos(\theta32-\theta4)(\dot{\theta}32+\dot{\theta}4)+(-m3a4pb3-m4a34\ p4) \\
\cos(\theta34-\theta4)(\dot{\theta}34+\dot{\theta}4)+ \\
(m1a21q1+m2a1qa2)\sin(\theta1-\theta21)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}21)+(m2a1qb2 \\
-m21a1q21-m22a1q22)\sin(\theta1-\theta23)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}23)+ \\
(m1a32q1+m3a1qa3-m12a32q12-m31a1q31)\sin(\theta1-\theta32)(\dot{\theta} \\
1+\dot{\theta}32)+(m3a1qb3-m41a1q41)\sin(\theta1-\theta34)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}34)+ \\
(-m1a4q1-m4a1q4+m12a4q12+m13a4q13+m42a1q42+ \\
m43a1q43)\sin(\theta1-\theta4)(\dot{\theta}1+\dot{\theta}4)+(m2pa2qb2+m2pb2qa2 \\
)\sin(\theta21-\theta23)(\dot{\theta}21+\dot{\theta}23)+(m2a32qa2-m11a32q11)\sin(\theta21-\theta32)(\dot{\theta} \\
21+\dot{\theta}32)+(-m2a4qa2+m11a4q11)\sin(\theta21-\theta4)(\dot{\theta} \\
21+\dot{\theta}4)+(m2a32qb2+m3a23qa3)\sin(\theta23-\theta32)(\dot{\theta} \\
23+\dot{\theta}32)+(m3a23qb3-m41a23q41)\sin(\theta23-\theta34)(\dot{\theta} \\
23+\dot{\theta}34)+(-m2a4qb2+m21a4q21-a23m4q4+a23m42q42)\sin(\theta23-\theta4) \\
(\dot{\theta}23+\dot{\theta}4)+(m3pa3qb3+m3pb3qa3)\sin(\theta32-\theta34)(\dot{\theta}32+\dot{\theta}34) \\
+(-m3a4qa3+m31a4q31+m32a4q32)\sin(\theta32-\theta4)(\dot{\theta}32+\dot{\theta}4)+ \\
(-m3a4qb3-m4a34q4)\sin(\theta34-\theta4)(\dot{\theta}34+\dot{\theta}4). \qquad (2.73)
\end{gathered}
$$

Сонда қатынастар θ21 = θ2 + β21, θ23 = θ2-β23, ˙θ21 = ˙θ23 = θθ2, θ32 = θ3 + β32,θ34 = θ3-β34 және θ32 = θ34 = ˙θ3 бұрыштық импульстік теңдеуі ауыстырылады болады.

2.8 Жабық тізбектегі негізгі вектордың тепе-теңдік жағдайлары байланыстар.

Когда соавтика главных векторының негізін салады, бұлшық еттердің ортаңғы цептері, гликальды векторовтың ғылыми-зерттеу әдістері, гематной гепатикалық цепи. Например, ыңғайлы момент контакта на рисунке үшін 2,29 (2.71) және жаңа балансқа арналған баланс (2.72). Поэтому әдісі сценарийлер монополияға қарсы цепи можно использовать.

Чтобы получить момент зависимости вязкости, рассмотрим соотношения замыкания петли. 2.30-дан тұратын векторлық связи, контурды тазартуға арналған стержень. Ескі жылжытуға арналған получение (т.ғ.к. Е. Геннадий Вектордың үйден тыс жерлерді модельдеуге арналған модельдері). Чтобы эксклюзивті масса, но және инири туралы толық ақпарат ұсынылады Другими словами, динамикалы эквивалента үшін замкнутой цементтің одноэлементтік моделі.

Массово-эквиваленттік модельдер 2.29 b 2.29 c және импрессионды инерцияны енгізу арқылы MSM сноубоды және бос емес фактерлік инерция. Если фактическая инерцияның пайда болуына әкеліп соқтыратын импульса этого элементарының инерция массы мен инверсиялық эквивалентті массаға ауыстыруы Технологиялық возможно-отрегулировать масса виртуальды

эквивалент және эквивалентті эквиваленттік массалар, массивтік виртуальды эквиваленттің симметричного по масса элемента на работа на мои мэйа (мелия). Следовательно, кажется, экстремалды эквиваленттік эквиваленттік заманауи элен модельдері

Интеллектуалдық ізденістер, динамикалық интенсивті интеграцияның элементі, когда инерцияның интенсивті (реальды) эквивалентті массы соединениях равна фактическое инерция элемента. [108] Это динамикалық эквивалентті модель A0A3, когда она используется векторных отношений контура на рисунке 4.11 г4 F4 = 0 i6 = ma4e24 + M_B4 (l4 - E4), Эт Эне две истинные эквивалентные массы. I4 интервалы, және стандарттарға сәйкес келетін DoF относительді үй-жайларды есепке алу үшін 6,7 немесе ORMS-тегі есеп айырысулар, 4.19, 4-тармақ бойынша 4,99, 4-ші және 4-ші қосымшалар 6.4. Момент импульса MEPC мменьшается mtot = m1 + m2 + m3 + m4 + m11 + m12 + M13 + m 31 + m32 + m33 және s mtot X12, m_{tot} x22 және m_{tot} x32

$$m_{tot}\chi 21 = I1+I12+I13+m1(p21+q21) +mb4a'21 +(m2+m3+ma4+m31+m32) a21m12(p212+q212) +m13(p213+q213). \quad (2.74)$$

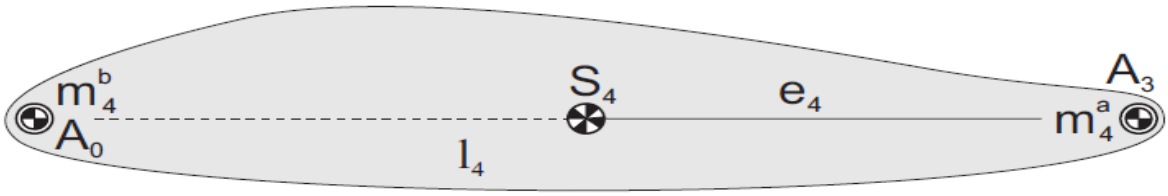
$$m^{tot}\chi 22 = I2+I11+I31+(m1+mb4)\, a221+m2d22 +(m3+ma4)\, a223 +m11(p211+q211) +m31(p231+q231). \quad (2.75)$$

Бұл инерцияның төмендеуі шамамен олардың KM сәйкес келеді. 6.7. Келесі сұрақ - массаның симметриялы элементін модельдеу, мұнда I4 = ma4e24 + mb4 (l4-e4) 2 мкк қосуға болады. Буындардағы екі шынайы эквиваленттік массасы бар модель енді қолданылмайды. Элементтердің нақты инерциясына сәйкес келетін нақты эквиваленттік массаларды қосылыстардың сыртында үлкен масштабты өлшеулер негізінде модельдеуге болады. Немесе инерцияны модельдеу үшін басқа балама (теріс) (виртуалды) массалар болуы мүмкін. Сонда екі байланыс элементімен және еркін CoM көмегімен f4 = 0 тең болуы мүмкін. Виртуалды эквиваленттік массаның айналу инерциясы бар ма? Қосымша зерттеуді қажет ететін ашық сұрақтар.

2.27 және 2.28 суреттерінде көрсетілгендей, динамикалық модельдер теңдестірілген қозғалыстарды көрсетеді, өйткені пайдаланылған екі мән бірдей және, керісінше, мәліметтер базасында алынған нәтиже нөлге тең.

2.9 Талқылау және қорытынды.

Бұл тарауда негізгі векторлық байланыстардың импульс моменті төмен инерциямен және тепе-теңдіктің фундаменталды жағдайлары орын алуы мүмкін фундаменталды өлшемдермен жазылатындығы көрсетілген. Пантограф дегеніміз - үш негізгі элементтер тізбегіндегі векторлардың негізгі тізбегі және төрт тізбектің негізгі векторлық байланыстары.

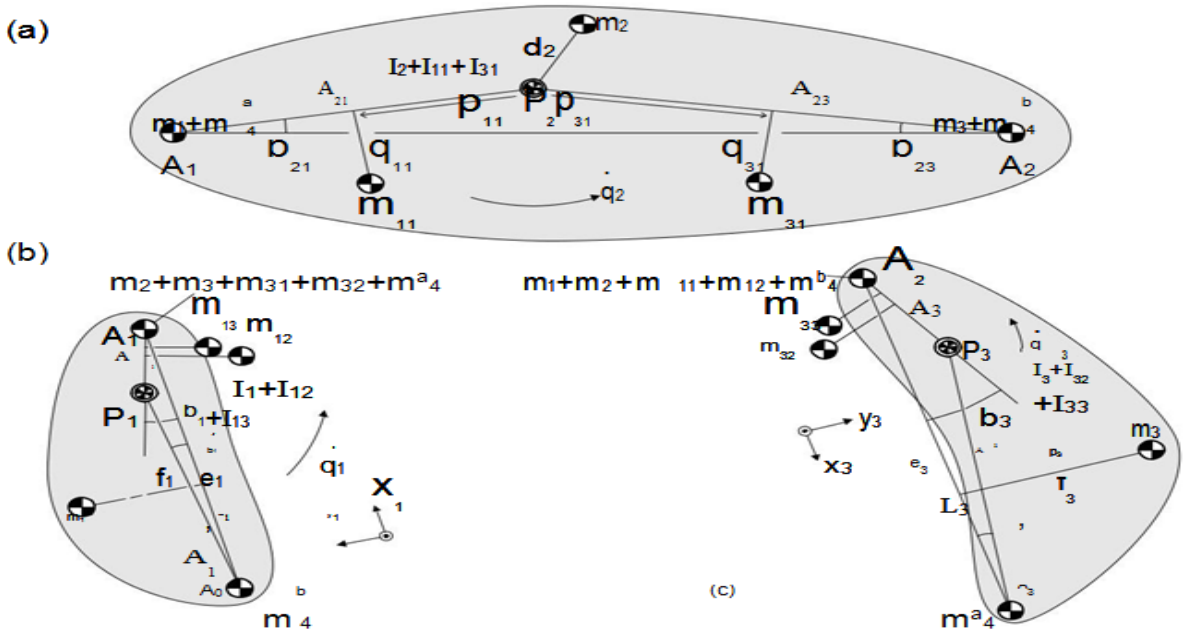


2.31 сурет - Массалық симметриялық элемент A0A3 динамикалық баламалы моделі, мұндағы f4 = 0.

Серияның негізгі элементтері зерттелді. Бұл тәсілді негізгі элементтермен параллель немесе параллель байланыстыратын негізгі векторлық қатынастарға қолдануға болады.

Бұрыштық импульс теңдеуінің соңғы формасының пайда болуы еркіндік дәрежелерінің салыстырмалы саны өскен кезде өте қиын. Алайда, әрбір вектордың қосылуы үшін оны бір рет алу керек. Тек импульс моментінің теңдеуін механизмнің барлық шешімдеріне бейімдеу керек, ол содан кейін вектордың негізгі қатынасынан синтезделеді.

Шынында да, ғаламдық векторлық байланыстың бұрыштық моменті нөл болмаған кезде, сәтсіздік болған жағдайда сәттілік балансын тек еркіндік дәрежесін төмендету арқылы алуға болады. Туынды тепе-теңдіктің нақты шарттарының жиынтығын алу үшін еркіндіктің салыстырмалы дәрежелері арасындағы сызықтық қатынасты қалай қосу керектігін көрсетеді. Дегенмен, күрделі жұмбақтар осы кезеңде теңдестірілген шешімдер шығару үшін қалады, әсіресе еркіндіктің салыстырмалы деңгейлері арасындағы сызықтық емес қатынастар үшін. Мысалы, төрт компонентті механизмнің [4, 4] тепе-теңдік теңдеулерін 3-DoF негізгі векторларының қатынасынан алуға болады, олардың үшеуі сызықты емес. Ол үшін сізге құралдар қажет. Бұрыштық импульс теңдеуінің нақты ықшам формасына байланысты бұл әдіс заманауи әдістерге қарағанда қарапайым болуы мүмкін, мысалы, күрделі және синтездеу қиын [8].



Сурет 2.32 - Үш қысқартылған инерция табылған масс-симметриялық элемент

Әрбір DAF-тің ЭЛМС-ті a0a3-пен 4.11 фигурасының жабық тізбегіндегі негізгі векторлық қатынасы. M4 массасы және A0 A3 элементінің инерциясы - м4 және M4 үшін I4 дәл эквивалентті массалар.

Сондай-ақ, негізгі векторлық қатынастарды жабық тізбектегі қарастырамыз, мұнда тепе-теңдіктің тепе-теңдік элементінің инерциясы олардың инерциясының инерциясымен байланысқан кезде тек негізгі эквиваленттік массалар тізбегінің бұрыштық моменті анықталады. екі нақты эквивалентті масса. Инерция массалық эквиваленттердің негізгі тізіміне енгізілген тұйықталған тізбектегі жалпы элементтің инерциялық эквиваленттік моделін құру үшін қосымша зерттеуді қажет етеді.

2.10 Динамикалық теңдестірілген резервтік 4-RRR параллельді манипуляторды эксперименттік бағалау.

Бұл тарауда динамикалық теңдестірілген параллель манипуляторларды жоғары жылдамдықта бағалау әдісі ұсынылған және теңдестірілген және теңгерілмеген жоспарланған параллель DUAL-V 4-RRR манипуляторымен салыстырмалы тәжірибелер қолданылады. Манипулятордың қозғалысын дәл модельдеу үшін инверттелген манипулятор моделі алынды және сыналды. Тәжірибе көрсеткендей, теңдестірілген манипулятор 97% -ға дейін төмендейді және 96% -ға дейін төмендейді. Шағын платформалар үшін немесе кішкене дамытылмаған платформалық жүктемелер үшін жоғары жылдамдықты манипуляциялар үшін негізгі тербелістер айтарлықтай болуы мүмкін, бірақ олардың мәні теңгерілмеген манипуляторларға қарағанда әлдеқайда төмен. Теңдестірілген манипулятор үшін жетек моменті шамамен 1,6 есе жоғары

және жылжымалы күш теңгерілмеген манипуляторға қарағанда шамамен 71% төмен.

2.11 Теңгерімді манипуляторды бағалау мен салыстыру тәсілдері.

Теоретиктер мен манипуляторлар үшін динамикалық тепе-теңдік туралы көптеген әдебиеттер теориялық болып табылады, ал тәжірибелік нәтижелер аз. PUMA - 760 сериялы манипуляторлармен жүргізілген тәжірибелер көрсеткендей, қозғаушы күштің тепе-теңдігі электр қозғалтқышының траекториясын едәуір төмендетеді және тартылыс күштерінің орнын толтырмауы керек. Тепе-теңдіктің арқасында инерция жоғарылады, бірақ суспензиялардың үйкелісі салдарынан батареяның моменттері басым болды, бұл инерцияны арттырды. Жарылғыш күштің тепе-теңдігі эксперименттік теңгерілмеген роботтың динамикалық сәйкестендірілу дәлдігі үшін тиімді болды, өйткені ол активатордың моментінен аз. Теңдестірілген Пума-760-да жүктеме сыйымдылығы тоғыз есе немесе екі есе жылдам және үш есе жылдам қозғалу мүмкіндігі бар.

Параллельді манипуляторларға қатысты базалық векторлық қатынастарға негізделген тепе-теңдіктегі кернеу күші бар параллель механизм ұсынылды және сыналды. Ол теңдестірілген тізбек ретінде ұсынылғанына қарамастан, ол параллель манипулятормен жұмыс істейді. Контакт массивінің центрі (СМ) - тұтқаның статикалық қозғалысы кезінде тексерілетін қосылыстардың біріндегі инвариантты нүкте.

Бұл тараудың мақсаты тез және динамикалық теңдестірілген параллель манипуляторларды бағалау әдісін ұсыну және осы әдісті DUAL - V 4-RRR теңдестірілген және теңгерілмеген жазық параллель манипуляторын салыстырмалы эксперименттік зерттеуге қолдану.

Тепе-теңдік сипаттамасынан басқа қозғаушы күштер мен тірек күштеріндегі тепе-теңдік элементтерінің ауытқуы сияқты басқа да маңызды аспектілер зерттеледі. Теңгерім параметрлерінің сезімталдығы және жүктеме жүктемесінің әсері де бағаланады.

Бұл бөлімде 4-RRR параллель манипуляторын зерттеу үшін қолданылатын жоғары жылдамдықты параллель манипуляторларды бағалау және салыстыру әдісі қарастырылады және талқыланады.

Теориялық нәтижелердің дұрыстығын тексеру үшін теңдестірілген манипуляторды бағалаудың алғашқы қадамы - балансты бағалау. Діріл күштері мен моменттерді манипулятордың прототипін көпөлшемді модельдеуден немесе тәжірибелік қондырғыдан алуға болады. Манипулятордың прототипін жасау процесінде және алынған баланстың дәлдігінде құрылымдық дизайн және өндірістік қуат тұрғысынан балансты шешуге шығындар, сондай-ақ баланстағы дәлсіздіктерге сезімталдық, ескеруге болады. Манипулятордың мүмкіндіктері үшін конструкцияның құрылымдық талаптарын анықтайтын қажетті қозғаушы күшті (қозғалтқыш моментін) және жылжымалы күштерді зерттеу және өлшеу маңызды, мысалы: жетектердің мөлшері мен жүйенің қаттылығы.

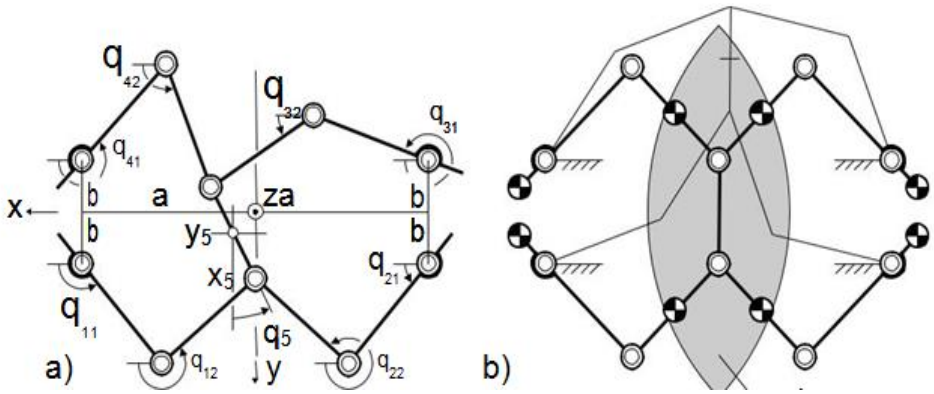
Бақылаудың және бақылау жүйесінің бағалау мен салыстырмалы зерттеуге әсерін ескеру қажет. Манипуляторды ауыстыру үшін контроллер қажет болса да, іс жүзінде манипулятор ешқашан қажет болған кезде қозғалмайды және діріл күштері мен шу сәттері контроллерге тікелей байланысты емес. Олар тек манипулятордың нақты қозғалысына байланысты. Бұл ақаулы контроллермен манипулятордың нақты қозғалысы қарастырылған және өлшенген және теңдеулерге енгізу ретінде қолданылған кезде тепе-теңдік көрсеткіштерін жақсы бағалауға болатындығын білдіреді.

Өлшеу нәтижелерін дәлелдеу үшін манипулятордың өлшенген қозғалысын белгілі бір динамикалық динамика белгілі болған жағдайда бірнеше денелердің динамикалық моделімен дәл сәйкестендіруге болады. Одан кейін, контроллердің конструкциясында модельдеу үшін ашық басқару циклын қолдануға болады, өйткені әр қадамда қажетті қозғалыс жылдамдығын есептей аласыз.

Сонымен қатар, жүк түсіретін күштер контроллерге емес, манипулятордың нақты қозғалысына байланысты. Тәжірибеде мойынтіректерді тәжірибелік қондырғыда өлшеу қиын, бірақ оларды манипулятордың өлшенген қозғалысын дәл имитациялау арқылы бағалауға болады.

2.12 DUAL-V манипуляторын жобалау.

DUAL-V манипуляторының прототипі параметрлер бойынша жасалады. Манипулятордың бұл параметрлері мен кинематикалық айнымалылары 2.34 және 2.33 суреттерінде көрсетілген, олар екеуі де манипулятордың прототипінің компьютерлік дизайнының (CAD) жоғарғы көрінісін көрсетеді. Барлық қатынау сымдарының i1 және i2 ұзындығы li1 және li2-ге тең, сәйкесінше, айналдырулар центрден a = li1 2 және b арақашықтықта, ал 5-платформада l5 ұзындығы бар. = 2B. Бұл параметрлердің қарулы жұптары қатар жүретін параллелограм болып табылады



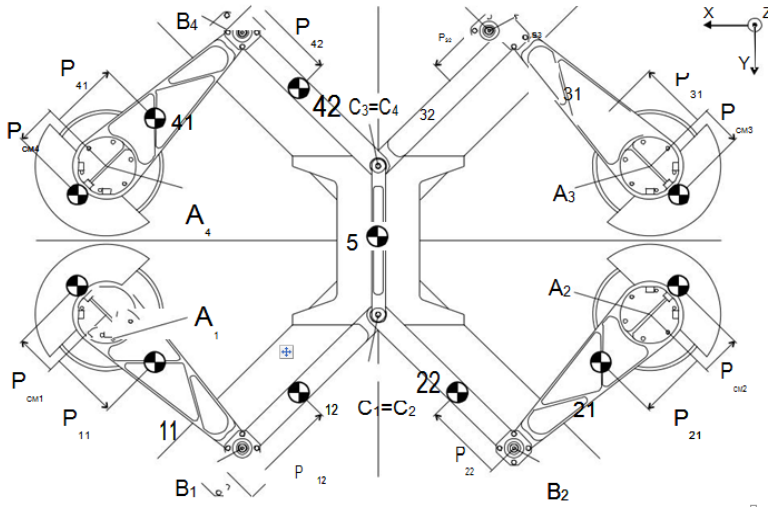
2.33 сурет - а) кинематикалық айнымалылар мен негізгі параметрлерді анықтау; B) DUAL-VVT манипуляторының жұмыс кеңістігі.

Манипулятор контактілері алюминийден жасалған және қарсы салмақ түсірілгенге дейін жасалынған және өндірілген. Бірлесе отырып, олар 0,01 мм

дәл цифрлы калибрмен өлшеніп, салмағы 0,01 Г өлшенді. SolidWorks CAD моделімен pi1 және pi2 байланыстыратын CoMs параметрлері массалармен анықталды mi1, mi2 және m5 сілтемелері және CoM Ii1-ге қатысты инерттілігі,

Кейіннен қарсы салмақ дөңгелек жезден жасалған сегменттерден жасалады. Олардың қажетті масса-мкм, і және PSM-нің А қашықтықтары күштер тепе-теңдігінің функциясы ретінде есептеледі.

$$m11\ p11+m12l11(1-p12l12)+m42\ p42+m32l42p32l32+m5l422 = mcm;1pcm;1$$
$$m21\ p21+m22l21+m12l21p12l12+m52\ l21 = mcm;2pcm;2$$
$$m31\ p31+m32l31(1-p32l32)+m22\ p22+m12l22p12l12+m5l222 = mcm;3pcm;3$$
$$m41\ p41+m42l41+m32l41p32l32+m52\ l41 = mcm;4pcm;4. \quad (2.76)$$



2.34 сурет - Параметр анықтамаларымен DUAL-V манипулятор прототипінің автоматтандырылған дизайны.

Модельдеу моделімен кері динамикалық модель және валидация.

$$m11\ p11+m12l11+m42\ p42+m5l112 = mcm;1pcm;1$$
$$m21\ p21+m22l21+m32\ p32+m5l212 = mcm;2pcm;2$$
$$m31\ p31+m32l31+m22\ p22+m5l312 = mcm;3pcm;3$$
$$m41\ p41+m42l41+m12\ p12+m5l412 = mcm;4pcm;4. \quad (2.77)$$

Екеуі бірдей нәтиже береді.

Қарсы салмақты дизайнның негізгі мақсаты Іі + мкм инерцияны төмендету болды; I p2cm; Мен әрбір А-ға қатысты қарама-қарсы масса үшін мүмкіндігінше төмен бола аламын, өйткені бұл төменгі жаттығу сәттері үшін пайдалы [7]. Сондықтан әрқайсысының үлкен массасы қажет болған жағдайда АИ-ге жақын санау коэффициентін талап етеді. Осылайша, жездегі тығыздығы жоғары токқа қарсы материал және сыртқы ұшақтардың бағытында үлкен болуы мүмкін құрылым (қалың қарама-қарсы). Қарама-

қарсы матрицалардың консолидациясы SolidWorks-тың Mass Properties функциясымен, сонымен қатар ортақ манипулятор жұмыс кеңістігінде барлық КМ айналмалы платформасы бар кеңістік үшін бірдей жерде орналасқандығымен расталды. Әрбір қарама-қарсы масса Дыбыссыз массаның бөлігі, i = 0: 188 кг - бөлек қорғасын элементі ptun қашықтықта орналасқан, i = 0: 080 м жез сегменттерінің жоғарғы жағында. Бұл контраст массасын түзету, өндірістік қателіктердің орнын толтыру және нашар кері байланыс массалары бар ақаулар зерттелген тәжірибелер үшін аз массаны жою үшін жасалды. Бұл эталондық массалар - масса және инерция мкм, і және Icm; Мен 8.1 кестесінде келтірілген.

2.13 Модельдеу моделімен кері динамикалық модель және валидация.

Белсенді сәттерді алуға арналған кері динамикалық модель

DUAL-V платформасының қозғалысын тағайындауға болады. 2.35 а-суретте көрсетілгендей, Тайм уақытындағы ху координаталар жүйесіне қатысты θ5 платформасының бағытын осы қозғалыс үшін t уақытына қажет ғозғ қозғалыс траекториясы деп санауға болады. үш бөлек бөлік

$$\tau = \tau_{I} + \tau_{II} + \tau_{III}, \qquad (2.78)$$

мұнда, τ I платформа мен массаның бір бөлігін жылжыту үшін қажетті I2 байланыстырушы моменттің байланысын, τ II - массаның бір бөлігін жылжыту үшін қажет I1 және i2 жетегін байланыстырады, τ III - I2 қосылыстары қажетті жетек моментінің. Бұл тәсіл сілтеме неғұрлым дәлірек болу үшін i2 кеңейтілген сілтемелерінің динамикасын жеңілдетпестен. Анықтама Бұқаралық сілтемелер Bi және Ci және τ I және τ II қосылыстарына балама түрде таратылады. Алайда, і 2 бірліктің айналу инерциясы болашақта толығымен қарастырылмайды. Демек, 2 III кейінірек, i2 бірліктерінің айналу инерциясын іске қосу үшін қажет болған кезде түсініледі.

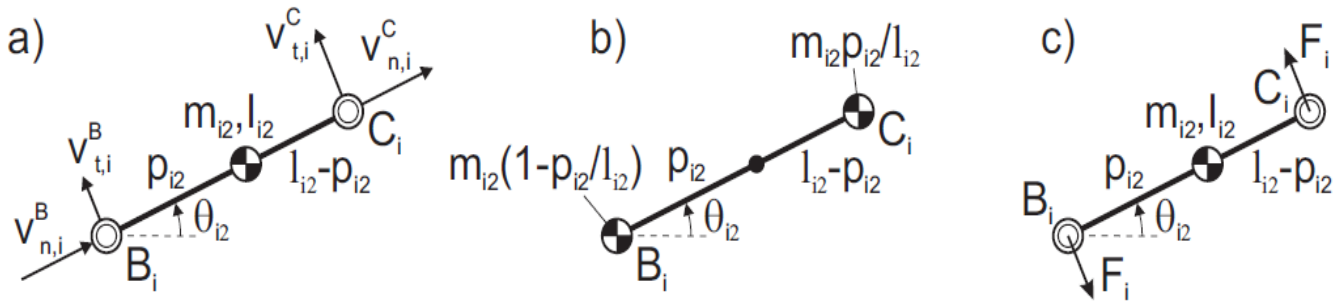
2.13.1Платформаның қозғалысы үшін қозғалтқыштың сәттілігі τ_I

Платформаның қозғалысы τ үшін мотордың моменттері жазылған күш атқарушы теңдеулер платформасының қозғалысының τ I күшіне тең болуы керек.

$$\dot{q}T\tau\ I = \dot{u}TFp, \qquad (2.79)$$

мұндағы q = [θ11; θ21; θ31; 41θ41] T - i1 бұрыштық жылдамдықтың векторлық нормалары, u = [x5; y5; 5-5] T платформалардың жылдамдық векторы, Fp - векторы, күштері мен әсер ету моменті. Берілген платформа қозғалысы үшін q жылдамдығынан алынатын bi және Ci түйісулерінің векторлары BiCi сызығы бойындағы қатаң координаталар жүйесі үшін бірдей.

Келесі векторлар 2.35-суретте көрсетілген және солай жазылып, есептелген.



2.35 сурет - а) I түйісулерінің жылдамдықтары және I түйістерінің Сі түйіндері; В) і2 түйісулерінің эквиваленттік массасының моделі.

Fi және Сі қосылыстарындағы күштер Fi і2 арналарының айналуын тездетеді.

Мұнда s () және c () - сәйкесінше күн () және cos () үшін қысқартылған енгізу ретінде пайдаланылатын берілген параметрлер. Оның (2.8) q мәні туынды ретінде шығарылады.

$$q= X\text{-}1n\ Yn\dot{}u = J\dot{}u. \qquad (2.8)$$

2.13.2 і1 сілтемелерінің қозғалысы үшін қозғалтқыштың τ II мәні.

I1 сілтемелерінің қозғалысы үшін τ II қозғалтқышының шекті мәні есептелуі мүмкін.

∂q = [θ11; Θ21; Θ31; Θ41] Басқарылатын бұрыштық үдеудің векторы і1 сілтемелері және массасы MII ретінде жазылған.

$$ddt(Xn\dot{}q) = ddt(Yn\dot{}u)$$
$$dXndt\dot{}q+Xn\ddot{}q = dYndt\dot{}u+Yn\ddot{}u\ddot{}$$
$$q= (Xn)-1(dYndt\dot{}u+Yn\ddot{}u - dXndt\dot{}q). \qquad (2.81)$$

$$[\ -l11c(\theta11-\theta12)(\dot{}\theta11-\ \dot{}\theta12)\ 0\ 0\ 0]$$
$$[0\ -l21c(\theta21-\theta22)(\dot{}\theta21-\ \dot{}\theta22)\ 0\ 0\ \ ]$$
$$dXndt=[0\ 0\ -l31c(\theta31-\theta32)(\dot{}\theta31-\ \dot{}\theta32)\ 0\ \ ]. \qquad (2.82)$$

$$[-s(\theta12)\dot{}\theta12\ c(\theta12)\dot{}\theta12\ s(\theta12-\theta5)(\dot{}\theta12-\ \dot{}\theta5)b]$$
$$[-s(\theta22)\dot{}\theta22\ c(\theta22)\dot{}\theta22\ s(\theta22-\theta5)(\dot{}\theta22-\ \dot{}\theta5)b]$$
$$dYndt=[-s(\theta32)\dot{}\theta32\ c(\theta32)\dot{}\theta32\ -s(\theta32-\theta5)(\dot{}\theta32-\ \dot{}\theta5)b]$$
$$[-s(\theta42)\dot{}\theta42\ c(\theta42)\dot{}\theta42\ -s(\theta42-\theta5)(\dot{}\theta42-\ \dot{}\theta5)b]. \qquad (2.83)$$

Бұрыштық жылдамдықтар q2 = [θ12; ˙θ22; ˙θ32; ˙θ42] і2 сілтемелерін алуға боладыі2˙θі2 = -vBt; і + vCt; і жылдамдық векторларыі және vCt; і және Сі қалыпты қосылыстарының I сәйкесінше, 8.3а-суретте көрсетілгендей. Матрица белгілерінде бұл жазылады.

$$l2\dot{}q2=-Xt\dot{}q\ +Yt\dot{}u\Rightarrow\dot{}q2\ =(l2)-1(-Xt\dot{}q\ +Yt\dot{}u). \qquad (2.84)$$

Активатордың тогы τ_{II} кейін жазылады.

$$\tau_{II} = M_{II}(Xn) - 1(dYndt\dot{}u + Yn\ddot{}u - dXndt\dot{}q). \qquad (2.85)$$

2.13.3 i2 сілтемелерінің айналмалы қозғалысы үшін қозғалтқыштың τ мәні.

Эталондық масса қозғалысының қозғағыштары 32 I және τ II баламалы массасы 2,32 В.-қа тең. I1p2i 2 + mac, i2 (li2 - pi2) 2. Жалпы алғанда, i2 сілтемелердің нақты инерциясы емес осы мәнге тең. Бұл τ III айырмашылық үшін қозғалтқыш белгілі бір инерцияны қажет етеді және масса MIII моделінің инерция матрицасының i2 массасы тұрғысынан жазылуы мүмкін дегенді білдіреді.

$$\begin{gathered}
[I12-meq;11\ p212-meq;12(l12-p12)2\ 0\ 0\ 0] \\
MIII=[0\ I22-meq;21\ p222-meq;22(l22-p22)2\ 0\ 0] \\
[0\ 0\ I32-meq;31p232-meq;32(l32-p32)2\ 0] \\
[0\ 0\ 0\ I42-meq;41\ p242-meq;42(l42-p42)2].
\end{gathered} \qquad (2.86)$$

Айналмалы қозғалыс үшін i2 сілтемелерінде әрекет ететін Г = [Г1, Г2, Г3, Г4] айырмашылық ретінде жазылуы мүмкін Г = MIIIйq2.

$$\begin{gathered}
[\ -l11s(\theta11-\theta12)(\dot{}\theta11-\dot{}\theta12)\ 0\ 0\ 0\ ] \\
dXt/dt=\ [\ 0\ -l21s(\theta21-\theta22)(\dot{}\theta21-\dot{}\theta22)\ 0\ 0\ ] \\
[\ 0\ 0\ -l31s(\theta31-\theta32)(\dot{}\theta31-\dot{}\theta32)\ 0\ ] \\
[\ 0\ 0\ 0\ -l41s(\theta41-\theta42)(\dot{}\theta41-\dot{}\theta42)\ ].
\end{gathered} \qquad (2.87)$$

$$\begin{gathered}
[\ -c(\theta12)(\dot{}\theta12)\ -s(\theta12)(\dot{}\theta12)\ c(\theta12-\theta5)(\dot{}\theta12-\dot{}\theta5)b] \\
dYt/dt=[-c(\theta22)(\dot{}\theta22)\ -s(\theta22)(\dot{}\theta22)\ c(\theta22-\theta5)(\dot{}\theta22-\dot{}\theta5)b\ ] \\
[-c(\theta32)(\dot{}\theta32)\ -s(\theta32)(\dot{}\theta32)\ -c(\theta32-\theta5)(\dot{}\theta32-\dot{}\theta5)b] \\
[-c(\theta42)(\dot{}\theta42)\ -s(\theta42)(\dot{}\theta42)\ -c(\theta42-\theta5)(\dot{}\theta42-\dot{}\theta5)b].
\end{gathered} \qquad (2.88)$$

2.13.4 Кері динамикалық модельді модельдеу және валидациялау.

DUAL-V манипуляторы Spacar1 әмбебап бағдарламасының көмегімен модельденген және модельдеу үлгісі 2.35 суретте көрсетілген. Масса және инерция туралы мәліметтер түйіндерде модельденетін болғандықтан, элементтердің пішіні мағынасы жоқ.

2.36-суретте модельдің кері динамикасын және сынақ нәтижелерін сынау үшін имитацияланған қозғалыс көрсетілген. Әр кезеңде қозғалыс сәттері платформаның қозғалысына есептелді және динамикасы ODE45 ерітіндісімен анықталды (Дорманд-Принс), максималды қадам өлшемі 0.0001 с және салыстырмалы төзімділік 1-ден 12-ге дейін нәтижелер платформаның қозғалысқа қатысты қозғалысының дәлдігін көрсетеді. Платформаның қозғалысы x бағытта 118 м / S2-ге дейін үдеуден тұрады, У бағытында 202 м / S2 және 2 градусқа дейін 1612 RAD / S.

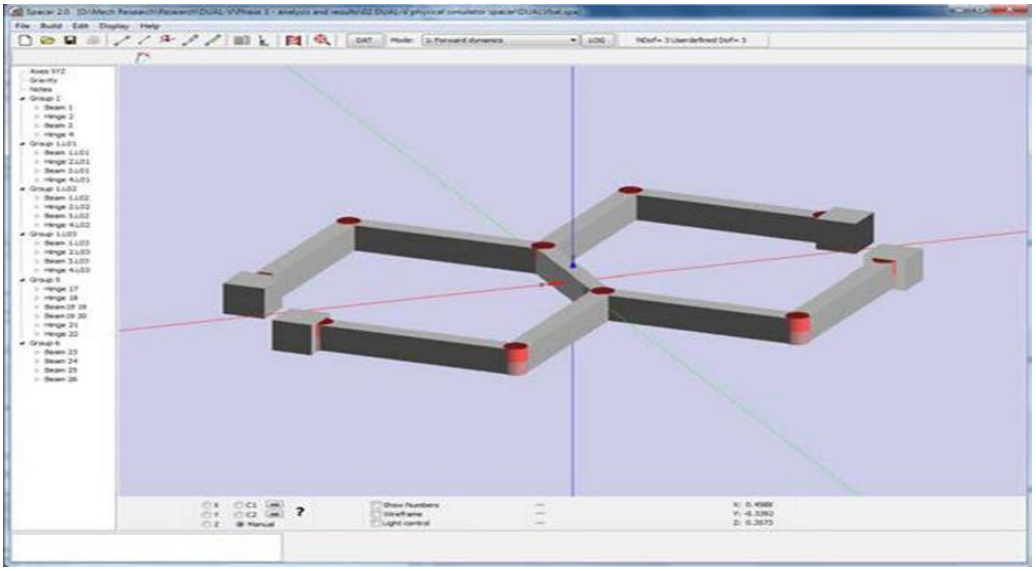
2.14 Эксперименттік қондырғы.

Манипулятордың прототипінің тәжірибелік конфигурациясы 2.36 а суретте көрсетілген. алюминий контактісі және жезден жасалған контраст манипулятор ETEL RTMB0140-100 басқаратын төрт жоғары моментті 127 Нм қозғалтқышқа орнатылған. Жетектері алюминий негізіндегі тақтайшаға қалыңдығы 1,0 х 0,8 м 25 мм орнатылады.Салыстыру үшін теңгерілмеген манипулятор бірдей манипулятор болды, бірақ қарама-қарсы массаларсыз және қорғасынның массасы қорғаныс элементтерінен қарсылық кезінде шағылысқан күштер мен қарама-қарсы массалардың сезімталдығын бағалау үшін алынды.

ATI мини-датчигі 45 8.6 В суретте көрсетілгендей манипулятордың көлденең қозғалу моменттерін өлшеу үшін осьтік күш / момент тірек пен бекітілген жақтаудың арасында орналасқан. Бұл сенсор 20 Нм шу жиілігін өлшей алады. х және у бағыттары бойынша максималды беріктігі 500 Н өлшенетін және 3 N және 0,02 Нм өлшенген шу датчикті ауырлықтан босату үшін оны көлденең туралаңыз және зақымданбаңыз. құрастыру, сенсорда қозғалу үшін төрт кабельге тіреу тақтасы ілулі. Тік қозғалыс шектелмеген кезде, төрт жазықтықтағы датчик жазықтықта қозғалу үшін негізгі тақтайшаға бекітіледі.

Манипуляторды басқару 10 кГц PID контроллеріне негізделген. Жетек моменті және жетектің бағыты бірдей жиілікте жазылады және қуат / момент сенсорының өлшеу жиілігі 1 кГц құрайды. Манипулятордың нақты қозғалысы активатордың кодтары мен тікелей кинематикалық модель туралы ақпаратты пайдалана отырып анықталды.

Прототипті зақымдамау үшін тәжірибелер қозғалыспен шектелді, өйткені жоғары жылдамдықты PID контроллері траектория мүмкіндіктерін кеңейтуге көмектесті.



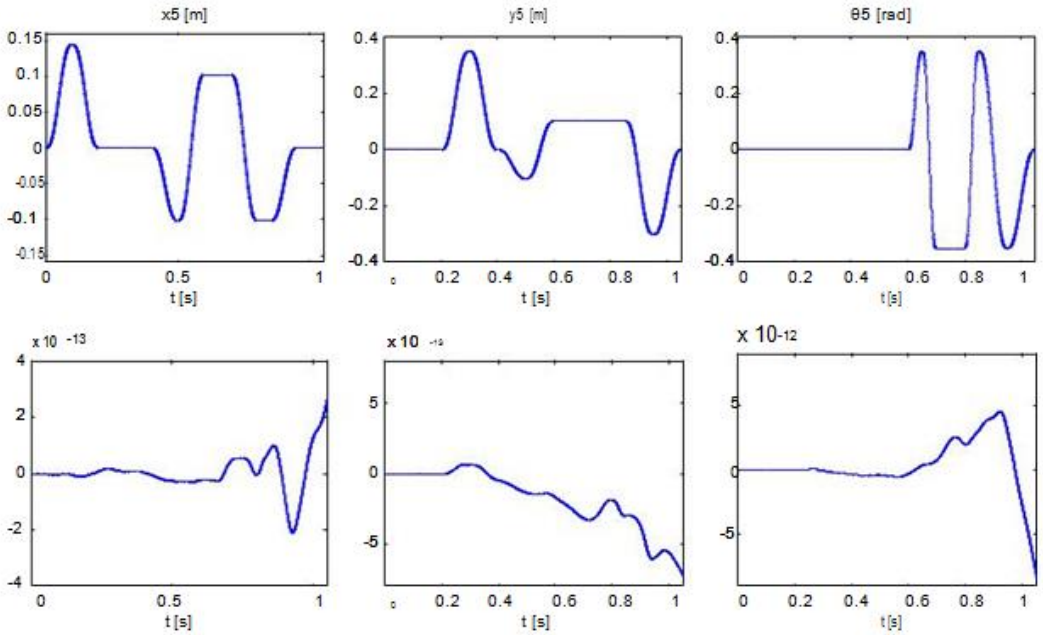
2.36 сурет - DUAL-V манипулятордың кеңістіктік моделі, түйіндердегі масса және инерция.

0,2 м диаметрі бар ортаңғы дөңгелек жұмыс кеңістігінде. 2.36-суретте гармонизацияланған джакоб матрицасының шартты нөмірі (Jh) көрсетілген J h = J [1; 0; 0; 0; 1; 0; 0; 0; 1 = b] үш платформалық бағдар үшін, осы аймақта платформаға күш беру оңтайлы екенін байқауға болады.

2.15 Эксперименттер және тәжірибелік нәтижелер.

Бұл бөлімде тәжірибелер сипатталған және нәтижелері көрсетілген. Алғашқы соққы күштері мен шағылысу моменттерінің алғашқы нәтижелері, содан кейін басталу сәттері мен тірек күштерінің нәтижелері көрсетіледі. Нәтижелер 2.36 бөлімінде талқыланады.

Платформаның айналу сызығының ортогональды осьтері бойымен қозғалыс үшін, оның созылмалы дизайнына байланысты теңдестірілмеген манипулятордың кернеу күштері және шағылыстың нөлдік моменті көрсетілуі керек. Теңдестіру манипуляторында нөлдік тербеліс күші және нөлдік діріл моменті болуы керек. 2.37-суреттің 3 және 5-бағандарында бағанда көрсетілген қозғалыс үшін сәйкесінше теңдестірілмеген және теңдестірілген манипулятордың өлшенген шу күштері мен моменті көрсетілген. Бұл қозғалыс екі бағытта да 51 м / S2 жылдамдыққа ие және қозғалтқыш ортогональды ось бойымен теңестірілмеуі үшін 43 RAD / S2 құрайды. Тексеру үшін өлшенген қозғалыс моделінен тепе-тең емес және теңдестірілген тербелмелі күш импульсі және манипулятордың қозғалысы сәйкесінше 2 және 4-бағандарда келтірілген.

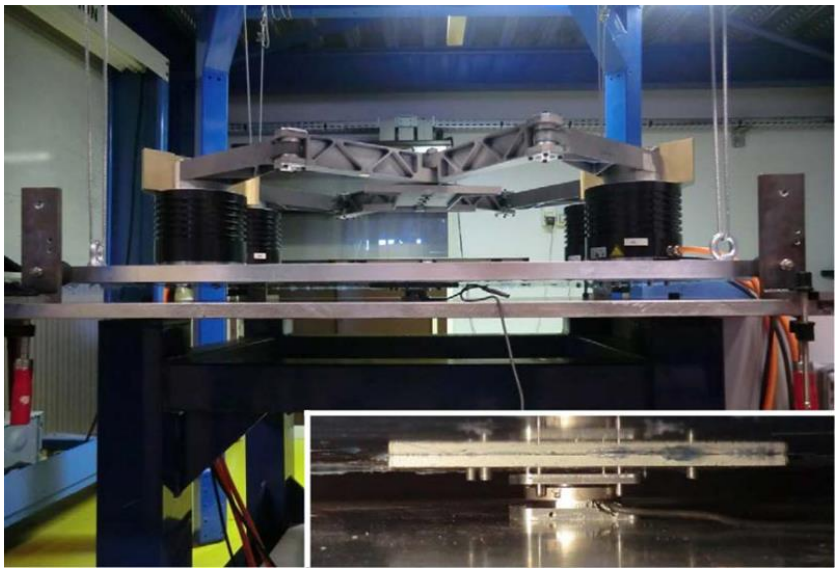


2.37 сурет - Теңдестірілген манипулятордың жұмыс кеңістігінде қозғалыс үшін кері динамикалық моделді растау.

Платформаның кіріс қозғалысы мен платформаның шығыс қозғалысы арасындағы қателік еріткіштің салыстырмалы төзімділігіне байланысты.

Айналмайтын платформа үшін теңгерілмеген манипуляторды потенциалды тербеліс күштерін есептеуге болатын платформамен қозғалатын қысқарған деп қарастыруға болады. Бұл азайтылған массаны (2.37) немесе (2.88) күйлеріндегі теңгерім жағдайынан алуға болады. Теңгерілмеген манипулятор үшін Макм; і рсm і I нөлге тең, яғни m5l1 = 2 мкм коэффициенті, I дана; Сонда теңдестірілмеген манипулятор болып табылатын азайтылған масса - m1 = 2 = мкм, I рсm і I = 2 mkm, I рсm; I = li1 = 3: 279 кг. 2.37 теңгерілмеген манипулятордың лездік күштері 51 • 3: 279 = 167 Н болуы керек.

Таңбалау және қозғалыс дегеніміз - үшбұрышты траектория, оған тапсырмалар кіреді. 2.38 суреттің 1-бағанында манипулятордың өлшенген қозғалысы үшбұрышты үшбұрышты траектория бойынша 0: 173 м және максималды жылдамдықпен х бойынша 63 м / S2 және 63 м / S2 бойымен қозғалады. 129 RAD / S2. Теңгерілмеген және теңдестірілген манипуляторлар үшін модельденген күштер мен өлшенген қозғалыстың имитацияланған моменті сәйкесінше 2 және 4-бағандарда келтірілген, ал өлшеу нәтижелері сәйкесінше 3 және 5-бағандарда келтірілген. Платформаның айналуы нөл болған кезде теңгерілмеген манипулятордың ығысу күші 66 • 3: 279 = 216 Н болады, ал теңдестірілген манипулятор қозғалыс моментін ғана көрсетеді, ал діріл күштері нөлге тең болады.

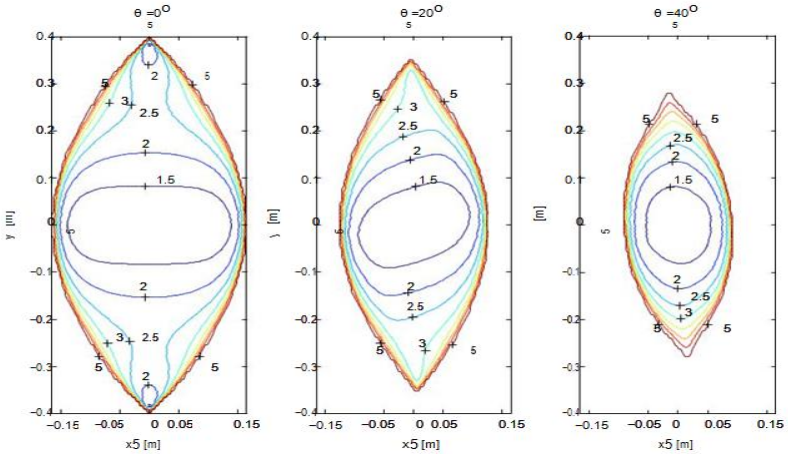


2.38 сурет - (а) Жылдам соққы күштерін өлшеу үшін алты осі бар күш / момент датчигіне орнатылған DUAL-V манипуляторының симметриялы прототипін эксперименттік орнату және бұғаттау кезінде кабельдер ажыратқан; В) сенсорды тығыздау.

Тепе-теңдік массасының сезімталдығын бағалау үшін, әрбір шкала үшін мкм, I дана; Мен 96: 72% немесе 3: 28% теңгерімді теңгерім үшін дәлсіздік. Теңестірілген манипулятордың 96: 72% эксперименттерінің нәтижелері 2.37-суретте көрсетілген және толық теңдестірілген манипулятордың 1-бағанға

максималды жылдамдығы 186 м / S2 x, 3 м / S2 y және 50 RAD / бойымен қозғалуы керек. Айналымдағы S2.

2.38 суреттің нәтижесі платформадағы бос жүктің әсерін көрсетеді. Салмақ 3:28 және 0: 107 кг салмақты шығаруды конфигурациялаудың орнына алаңның ортасына салуға болады. Бұл теңгерілмеген манипулятордың массасына 2 мг ретінде есептеледі, i = li1 = 2 • 0: 188 • 0: 080 = 0: 280 = 0: 107, егер бұл масса x 186 м / S2 бойымен қозғалса, күш күтілетін шу 186 • 0: 107 = 20 Н. Салыстыру үшін 2.38-суретте траектория бойымен бірқалыпты қозғалыс үшін максималды қозғалыс 82: 6 м / S2 және 71: 6 м / S2 көрсетілген. бағанның үшбұрышы. Мұнда сәйкесінше x - және Y теңдеулерін теориялық модельдеудің нәтижелері келтірілген. Теңестірілген манипулятордың шағылысу күші мен моменті 96: 72% және толық теңдестірілген манипулятордың теңгерілмеген манипуляторлары сәйкесінше 2, 3 және 4-бағандарда көрсетілген. Мұнда x және y бағыттарындағы біртекті емес манипулятордың діріл күштері 82: 6 • 3: 279 = 271 N және 71: 6, тиісінше: 3: 279 = 235 n және теңдестірілген манипулятор 96: 72 болуы керек. % сәйкесінше x және y болуы керек. Бағыттар 82: 6 • 0: 107 = 8: 9 N және 71: 6 болуы керек: • 0: 107 = 7: 7.

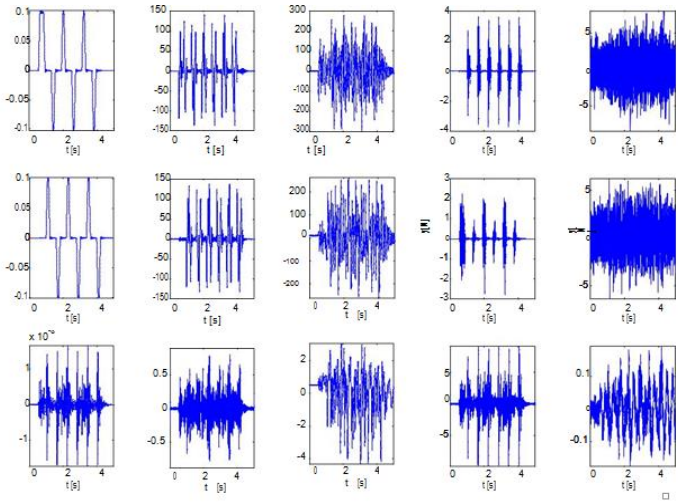


2.39 сурет - Үш платформалы жұмыс кеңістігінде шартты сан орталықтағы және Y осіндегі оңтайлы динамикалық өнімді көрсетеді.

Теңдестіретін масса манипулятордың инерциясын жоғарылататындықтан, теңдестірілген манипулятор жоғары сенсордың жетістігін талап етеді. Теңгерілмеген манипулятордың моменттері және 2.39 суреттің қозғалысы үшін теңдестірілген манипулятордың өлшенген жаттығуы сәйкесінше 1 және 2-бағандардың 2.39 бағандарында келтірілген. 3-бағанда тең кіру қозғалысы үшін кері динамикалық модельден есептелген екі манипулятордың жаттығу мәні көрсетілген.

Кішкентай қисық сызықтар теңгерілмеген манипуляторды білдіреді. Қарсы салмақтың арқасында массаның жақсаруы теңдестірілген манипулятордың жүктеме күштеріне оң әсер етуі керек. 2.39-суретте өлшенген қозғалыс модельдері үшін, 2.39-суреттегі 1 және 2-бағандар

сәйкесінше теңгерілмеген және теңдестірілген манипулятордың тасымалдаушы күштерін көрсетеді. Тексеру үшін 3 және 4-бағандарда үшбұрышты жолда бірқалыпты қозғалыс үшін максималды жылдамдықпен қозғалатын тірек күштері көрсетілген.



2.40 сурет - Қозғалысты өлшеуге арналған теңдестірілмеген және теңдестірілген манипуляторлармен модельдеу мен тәжірибе нәтижелері.

Ол максималды 51 м / с 2 және 43 RAD / s жылдамдықпен айналатын ортогональды ось бойымен қозғалады. Теңдестірілген манипулятордың шу күші x және y бағыттарында 97 және 98% төмен сәйкесінше, және өлшенген шу моменті теңгерілмеген манипулятормен салыстырғанда 96% төмен.

Бұл бөлімде тәжірибелік нәтижелер туралы айтылады. Тербелмелі күштер мен қозғалыс моменті алдымен есепке алынады, содан кейін тепе-теңсіздік, крутящий және қозғалмалы күштерге сезімталдық. Сонымен қатар бағалау әдісі мен эксперименттік қондырғы талқыланады.

2.16 Соққылау күші мен сілкіну сәттері.

Суретте көрсетілген өлшемдер. 8.8 теңдестірілген манипулятордың шу күштерінің едәуір азаюы көрсетілген. Теңгерілмеген манипулятор үшін шуылдың максималды күші x2 бойымен 302 Н және 263 н, ал теңдестірілген манипуляторда x 8.4 n және x 6.4 n бойымен шу күші болады, ол сенсордың шу деңгейіне жақын. Бұл ығысу күштерінің сәйкесінше x және y бойымен 97 және 98% төмендеуін білдіреді. Теңдестірілген манипулятордың жылдам күштері нөлден емес, негізінен платформаның айналмалы қозғалысына байланысты.

3. Техникалық-экономикалық есептеу бөлімі

3.1 Экономикалық бөлімнің мақсаты

Робототехника – автоматтандырылған техникалық жүйелерді дамытумен айналысатын қолданбалы ғылым, оқушылардың болашақ кәсіптерін анықтап, қабілеттерінің дамуымен қатар өзін-өзі танып білуге, техника әлемін зерделеуге, қабілеттерін, біліктіліктерін шыңдауға мүмкіндік жасайды. Экономикалық бөлімнің мақсаты икемді роботтың тепе-теңдігін сақтау және модельдеу жобасын іске асырудың экономикалық тиімділігін есептеу болып табылады.

Бұл дипломдық жобаны жасауға 3 қызметкер іске қосылды. Себебі, бұл жоба электроника аспаптарын және механикалық әрекеттерді біріктіреді. Әзірлеуші маман механикалық жұмысты әзірлеуге тиісті. Инженер-жобалаушы электроника, плата, микросхеманы жасайды. Жоба менеджері роботтың корпусын, және программный кодировкасын жасауға міндетті.

Әзірлеуші маман дайындық жұмыстарын жүргізеді. Роботтың механикалық жұмыстарын есептеп, енгізеді. Инженер-жобалаушы негізгі есептеулерді жүргізеді, тепе-теңдікті сақтауда математикалық теңдеулерді цифрлік тілде бағдарламаға енгізеді. Жоба менеджері берілген роботтың моделін бағдарламада жасап 3D модельдеумен, конструкторлық жұмыстарымен айналысады және жұмыс уақыты кезінде жұмыс барысын қадағалап, жұмыскерлерге ақыл-кеңес берумен айналысады.

Имитациялық моделді жасаумен айналысатын қызметкерлердің тізімі 3.1-кестеде келтірілген.

3.1 кесте - Жобамен айналысатын қызметкерлер туралы мәліметтер және олардың еңбекақысы.[9]

Атауы	Саны	Жалақысы, теңге
Әзірлеуші маман	1	90 000
Инженер-жобалаушы	1	140 000
Жоба менеджері	1	180 000
Барлығы	3	410 000

3.2 Жұмыста қолданылатын қондырғылар

3.2 кесте - Құрылғыларға кеткен шығын көлемі [10]

Атауы	Сипаттамасы	Саны	Бір данасы үшін бағасы, теңге	Жалпы бағасы, теңге
Процессор	Процессор Intel Core i5 9600K OEM	1	115 240	115 240
Пернетақта	Logitech Wireless Combo MK220	1	8 989	8 989
Тышқан	Trust Ziva Compact	1	3 210	3 210
Монитор	Acer K222HQLbid	1	32 890	32 890

3.2 кестенің жалғасы

Аналық плата	ASRock B450M Pro4	1	36 423	36 423
Бағдарламалық қамтамасыз ету	Microsoft Windows 10 PRO, 64 bit, Rus, OEI DVD (FQC-08906)	1	71 680	71 680
Жалпы бағасы				268 432

Жабдықтарға баға ҚҚС-сыз есептемей келтірілген.

3.3 Жобаны іске асыру мерзімі

Бағдарламалық жасақтама өнімін жобалау мен әзірлеу кезеңдерден тұрады және мынадай жұмыс түрлерін қамтиды:

- 1-кезең - тапсырма қою, ақпараттарды жинау, дипломдық жұмыстың құрылымын жасау;
- 2-кезең - жұмыстың бірінші бөлімін дамыту;
- 3- кезең - математикалық қолдауды әзірлеу;
- 4-кезең - бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу;
- 5-кезең - имитациялық моделін тестілеу;
- 6-кезең - жұмыс бойынша есеп беру.

Жобаны іске асыру жоспар кестесі 3.4-кестеде келтірілген.

3.3 кесте - Жобаны іске асыру жоспары

Кезең атауы		Жұмыстың апта бойынша жасалуы														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 кезең	тапсырма қою															
	ақпарат жинау															
	дипломдық жұмыстың құрылымын жасау															
2 кезең	жұмыстың бірінші бөлімін дамыту															
3 кезең	математикалық анализдер жасау															
4 кезең	бағдарламалық қамтамасыз ету															
5 кезең	имитациялық моделді тестілеу															
6 кезең	жұмыс бойынша есеп беру															

3.4 Бағдарламалық қамсыздандыру шығынының есебі

Жалақы қоры - барлық қызметкерлер үшін негізгі және қосымша жалақыдан қалыптасқан және белгілі бір мерзімге еңбек ақысын төлеуге

арналған жалпы шығындар болып табылады және мына формуласымен анықталады[11]:

$$ЕАҚ = З_{нег} + З_{қос}, \quad (3.1)$$

мұндағы, $З_{нег}$ – негізгі жалақы, тенге;

$З_{қос}$ – қосымша жалақы, тенге.

Барлық жұмысшылар біркелкі жұмыс істемейді соған сәйкес олардың орташа күндік жалақысын табу керек, соңында жалпы жалақы қорын есептеу керек.

Жұмысшылардың орташа күндік жалақысы мына формула бойынша есептелінеді:

$$Ор = З_{нег} / Ж_К, \quad (3.2)$$

мұндағы, $Ж_К$ – бір айдағы орташа жұмыс күндер саны (22 күн).

Әзірлеуші маман үшін: $Ор$=90 000 / 22 = 4 091 теңге.

Инженер-жобалаушы үшін: $Ор$=140 000 / 22 = 6 364 теңге.

Жоба менеджері үшін: $Ор$=180 000 / 22 = 8 181 теңге

Бір сағатқа еңбекақысы мынадай формуламен есептелінеді:

$$Н = З_{нег} / (Ж_К * t_н), \quad (3.3)$$

мұндағы, $t_н$ – жұмыс күнінің ұзақтығы сағат (8 сағат).

Әзірлеуші маман үшін: $Н_1$= 90 000 / 22*8 = 511 тг/сағ.

Инженер-жобалаушы үшін: $Н_2$= 140 000 / 22*8 = 795 тг/сағ.

Жоба менеджері үшін $Н_3$= 180 000 / 22*8 = 1 023 тг/сағ.

Берілген жұмыстың мақсатына қарай арналған циклдің ұзақтығы мынадай формуламен анықталады:

$$t_n = \frac{T}{q_n * z * K}, \quad (3.4)$$

мұндағы, Т – еңбек қарқындылығы, норма-сағат;

q_n - орындаушылар саны;

z - жұмыс күнінің ұзақтығы, сағат z =8;

K - уақыт нормаларына сәйкестік коэффициенті, K=1,1.

Алынған t_n мән бүтін күндерге дейін жинақтаймыз:

$t_1=30/2*8*1.1 \approx 2$ – жоба менеджері, инженер-жобалаушы; тапсырма қою;

$t_2=35/1*8*1.1 \approx 4$ - әзірлеуші маман; ақпарат жинау;

$t_3=45/3*8*1.1 \approx 2$ әзірлеуші маман, инженер-жобалаушы, жоба менеджері; дипломдық жұмыстың құрылымын жасау;

$t_4=80/3*8*1.1 \approx 3$ әзірлеуші маман, инженер-жобалаушы, жоба менеджері ; жұмыстың бірінші бөлімін дамыту;

$t_5=50/2*8*1.1 \approx 3$ әзірлеуші маман, инженер-жобалаушы; математикалық анализдер жасау;

$t_6=50/1*8*1.1 \approx 6$ жоба менеджері; бағдарламалық қамтамасыз ету;

$t_7=40/2*8*1.1 \approx 2$ жоба менеджері; инженер-жобалаушы тестілеу; имитациялық моделді тестілеу;

$t_8=60/3*8*1.1 \approx 2$ әзірлеуші маман, инженер-жобалаушы, жоба менеджері; жұмыс бойынша есеп беру.

3.4 кесте - Негізгі жалақы бойынша шығындардың жиынтық нәтижелері

Жұмыс атауы	Қызметкер	жұмыс қарқындылығы			Еңбек жалақысы, сағатына теңге	Жалақы мөлшері,теңге
		Норма-сағат	Жалпы еңбек сыйымдылығының% -ы	Цикл уақыты,күн		
Тапсырма қою	жоба менеджері	10	2,56	2	1 023	10 230
	инженер-жобалаушы	20	5.12	2	795	15 900
Ақпарат жинау	әзірлеуші маман	35	8.97	4	511	17 885
Дипломдық жұмыстың құрылымын жасау	инженер-жобалаушы	15	3.84	2	795	11 925
	әзірлеуші маман	10	2.56	2	511	5 110
	жоба менеджері	20	5.12	2	1 023	20 460
Жұмыстың бірінші бөлімін дамыту	жоба менеджері	30	7.69	3	1 023	30 690
	әзірлеуші маман	30	7.69	3	511	15 330
	инженер-жобалаушы	20	5.12	3	795	15 900
Математикалық анализдер жасау	инженер-жобалаушы	30	7.69	3	795	23 850
	әзірлеуші маман	20	5.12	3	511	10 220
Бағдарламалық қамтамасыз ету	жоба менеджері	50	12.82	6	1 023	51 150
Имитациялық моделді тестілеу	жоба менеджері	20	5.12	2	1 023	20 460
	инженер-жобалаушы	20	5.12	2	795	15 900
Жұмыс бойынша есеп беру	жоба менеджері	20	5.12	2	1 023	20 460
	инженер-жобалаушы	20	5.12	2	795	15 900
	әзірлеуші маман	20	5.12	2	511	10 220
Барлығы		390	100	39		311 590

Қосымша жалақы негізгі жалақының 10% -ын құрайды және мына формула бойынша есептеледі:

$$З_{қос}=311\ 590*0.1=31\ 159 \text{ [теңге].}$$

Негізгі және қосымша жалақыларды есептеп анықтаған соң, жалақының жалпы қорын табуға болады:

$$ЕАҚ = 311\ 590+31\ 159 =342\ 749 \text{ [теңге].}$$

3.5 Бағдарламалық қамсыздандыру шығынының есебі

Әлеуметтік салық қызметкердің табысынан 9,5% (ҚР Салық кодексінің 358-бабы 1-тармағы) болып табылады және мына формулаға сәйкес есептелінеді:

$$Ә_C =(ЕАҚ - ЗА) \times 9,5\%, \quad (3.5)$$

мұндағы, *ЗА*– зейнетақы аударылымдары, қордың 10% -ын құрайды.

$$ЗА = ЕАҚ \times 10\% = 34\ 274,9 \text{ [теңге].}$$

$$Ә_C=(342\ 749 -31\ 159)*0,095=29\ 601 \text{ [теңге].} \quad (3.6)$$

Амортизациялық аударымдар келесідей формуламен анықталады:

$$A=\frac{Б_{бас}\times A_ш\times N}{100\times 12\times t}, \quad (3.7)$$

мұндағы, $A_ш$ – амортизация шамалары;

$Б_{бас}$ – жабдықтың бастапқы бағасы;

N – жұмыс орындалуына кеткен күннің саны;

t – дербес компьютерді қолдануға кеткен жалпы уақыт.

Амортизация шамалары (АШ), мына формуламен есептеледі:

$$A_ш = \frac{C_{бас}-K_{тар}}{T_{норм}\cdot Б_{бас}} \times 100\%=25, \quad (3.8)$$

мұндағы, $Қ_{тар}$ – таратылым құны, жабдықтың құнынан 5% құрайды;

$T_{норм}$ – жабдықтың нормативтік қызмет ету мерзімі (дербес компьютер үшін – 4 жыл).

A_1= (25*115 240*39)/(100*12*22)= 4 256 [теңге],

A_1= (25*32 890*39)/(100*12*22)= 331 [теңге],

A_1= (25*8 989*39)/(100*12*22)= 1 214 [теңге],

A_1= (25*36 423*39)/(100*12*22)= 1 345 [теңге],

A_1= (25*3 210*39)/(100*12*22)= 118 [теңге],

A_1= (25*71 680*39)/(100*12*22)= 2 647 [теңге],

A=4 256+331+1 214+1 345+118+2 647 [теңге]=9 913 [теңге].

3.6 Электр энергиясының шығындарын есептеу

Электр жабдықтарын қолданған кезде міндетті түрде электр энергиясының құнын есептеу керек. Өндірістік қажеттіліктерге арналған электр энергиясының құны жабдықтар мен қосымша қажеттілік үшін электр энергиясының құнын қамтиды.

$$Э = Зэл.эн.обор + Здоп.нуж, \quad (3.9)$$

мұндағы, $З_{эл.эн.обор}$ – жабдықтардың электр тұтыну құны;

$З_{доп.нуж}$ - қосымша қажеттілікке арналған энергия шығыны.

Жабдықтардың электр энергиясын тұтыну 4.11 төменгі формуламен қарастырылады:

$$Зэл.эн.обор = Қ \times k_з \times T \times C_{кВт\text{-}сағ}, \quad (3.10)$$

мұндағы, Қ - энергияны тұтыну, Вт;

Т - жабдықтарды пайдалану сағаттарының саны;

С - киловатт-сағат электр энергиясының құны, (1кВтсағ=17,81 теңге); [12].

$К_з$ – қолдану коэффтценті, ($К_{исп}$=0,9).

W = 100Вт = 0.1кВт (ноутбук қуаты);

Т = 195 сағат.

С =17,81 теңге.

Негізгі жабдықтарға арналған электр қуатының құны:

$З_{эл.эн.обор}$= 0,1* 195* 17,81* 0,9 = 312,56 [теңге].

Қосымша қажеттілікке арналған шығындар жабдықтың өзіндік құнын 5% мөлшерінде жиынтық индикатор бойынша қабылданады:

$$З_{доп.нуж}=0,05* З_{эл.эн.обор}. \quad (3.11)$$

$З_{доп.нуж}$=0,05*312,56 =15,62 [теңге]

Электр энергиясының жалпы құны:

Э =312,56+15,62=328,18 [теңге].

Материалдар мен көмекші бөлшектер шығыны мынадай формуламен есептелінеді:

$$C_{МжК} = 0,015 \times C_{обор.} \quad (3.12)$$

Ал техникалық қызмет көрсету шығыны былай:

$$C_{ТО} = 0,025 \times C_{обор}, \quad (3.13)$$

мұндағы, $C_{обор}$ - жабдық құны.

Үстеме шығындар сәйкесінше мынадай өрнекпен анықталады:

$$C_H = 0,5 \times ЕАҚ. \quad (3.14)$$

Енді осы шығындарды есептейік, алынған мәндердің жалпы шығынын жазамыз. Осылайша мынадай мәндерді аламыз:

$C_{МжК}$= 1728,6+134,8+493,3+546,3+48,15+1075,2= 4023,48 [тг]
$C_{ТО}$= 2881+224,72+822,2+910,5+80,2+1792= 6710,8 [тг]

Басқару мен қызмет көрсетуге байланысты үстеме шығындар:

$C_H = 0,5 \times ЕАҚ$=0,5×342 749=171 374,5 [тг]

Осылайша, бағдарламалық жасақтама өнімін жасағандағы жалпы құны:

Сб= *342 749 +29 601* +9 913 +328,18 +171 374,5=553 966 [теңге].

Имитациялық модельдің құрылымын дайындағанда жұмсалатын шығындар 3.5-кестеде ұсынылған.

3.5 кесте - Жүйенің имитациялық модельін құрғандағы құны

Шығын атауы	Құны, теңге	Шығын мөлшері, %
Жалақы қоры	342 749	61,87%
Әлеуметтік салық	29 601	5,34%
Амортизациялық аударымдар	9 913	1,78 %
Электр қуаты шығындары	328,18	0,05 %
Үстеме шығындар	171 374,5	30,9 %
Жалпы құны	553 966	100 %

Сурет 3.1 - Жүйенің имитациялық моделы және оның құнының құрылымы

3.7 Жүзеге асыру құны

Бағдарламалық өнімді жүзеге асыру үшін формула бойынша пайдасы мен өнімнің құндылығынан тұрады:

$$Ц = К_{өн} + П, \quad (3.15)$$

мұндағы, $К_{ө}$ – өнімнің құны;

$П$ – пайда.

Бағдарламалық өнімді іске асыру үшін сонымен қатар бастапқы бағаны анықтағанда кірістілік деңгейді (20%) деп белгілеу керек:

$$Ц_{п} = К_{өн} * (1 + Р/100), \quad (3.16)$$

мұндағы, $Р$ – рентабельділік (20 %).

$Ц_{п}$ = 553 966*(1+20/100) = 664 759 т[еңге].

Дайын өнімді есептеу үшін іске асыру бағасы формула бойынша анықталады:

$$Ц_{р} = Ц_{п} + ҚҚС, \quad (3.17)$$

мұндағы, ҚҚС - қосылған құн салығы болып табылады және мына формула арқылы анықталады:

$$ҚҚС = Ц_{п} * 0,12. \quad (5.18)$$

$ҚҚС$ = 664 759*0,12 = 79 771 [теңге].

$Ц_р$ = 664 759+79 771 = 744 530 [теңге].

Экономикалық есептеулердің барысында бағдарламалық өнім әзірленді, шыққан құны 553 966 теңгені құрады. Ең алғашқы, бастапқы шығыстар жалақы болады, жалақы барлық шығынның 61,87 %-ын құрайды. Екінші орында үстеме шығындар 30,9 %-ына жетті. Бағдарламалық өнімді жүзеге асыру үшін 744 530 теңге көлемінде шығын кетеді. Техникалық-экономикалық есептеу бөлімі жұмысы барысында, дипломдық жұмыстың жүзеге асыру құнын есептеп, шыққан шығындардың бағасын анықтадық. Робототехника саласын, дамыту және математикалық тұрғыда зерттеу менің дипломдық жобам өз үлесін тигізеді. Берілген экономикалық есептеулер арқылы икемді роботтың тепе-теңдігін сақтау және модельдеу жобасын іске асырудың экономикалық тиімділігін есептеп шығардық.

4. Өмір тіршілігінің қауіпсіздігі негізгі бөлім.

Берілген бөлімде тоқтың адамға әсерін анықтап, қайта тұйықтау есептеулері орындалды. Электр тоғының соғуынан сақтану шарасы ретінде қайта тұйықтауды ең тиімді әдіс ретінде ұсынылады. Қайта тұйықтау адамдарды тоқтан қорғамайды, тек берілген корпусқа қол тигізген адамға түсетін кернеудің күшін төмендетеді.

4.1 Электр тогының адам ағзасына әсері

Электр тогының, басқа қауіпті және зиянды өндірістік факторлардан айырмашылығы, адамның сезімдері қашықтықтағы қауіпті байқамағанымен күшейеді. Адамның электр тогына реакциясы денеден өткенде ғана пайда болады. Электр тогы адамға жылу, электролит, механикалық және биологиялық әсер етеді.

Токтың жылу эффектісі күйікте, қан тамырларын және басқа мүшелерді қыздыруында байқалады, нәтижесінде денеде функционалдық бұзылулар пайда болады.

Токтың электролиттік әсері, қанның және басқа органикалық сұйықтықтардың ыдырауымен сипатталады, бұл олардың физика-химиялық құрамының бұзылуына әкеледі.

Токтың механикалық әсері, электродинамика нәтижесінде дененің терісінің зақымдануында (жыртылу, стратификация және т.б.) көрінеді.

Токтың биологиялық әсерін, бұлшықеттің еріксіз жиырылуымен бірге болатын жасушалар мен дене терісінің қауіпті қозуынан көреміз. Осындай толқудың нәтижесінде тыныс алу және қан айналымы органдарының қызметі бұзылып, тіпті тоқтап қалуы мүмкін [13].

Электр тогының әсерінің әртүрлілігіне байланысты, жарақаттанудың екі түрі болады:

- электрлік соққы;
- электрлік жарақат.

Электрлік жарақат тік әсерінен тері жасушаларының кейбір жерлерін жарақаттайды. Электрлік жарақаттың келесідей түрлері болады:

Электрлік күю, электрлік белгілер, терінің металдануы, механикалық жарақат.

Электрлік күю – ең көп таралған элетрлік жарақат түрі. Күйк екі түры бар:

Тоқты және доғалы

Күйік төрт дәрежеде сипаталады:

I - терінің қызаруы;

II – тері бетінде ұсақ көпіршіктердің пайда болуы;

III – терінің барлық қабаттарының жансыздануы;

IV – клекткалардың өлуі.

Организмнің жарақаттану ауырлығы – күйіктің дәрежесіне байланысты емес, оның тері бетінің көмегімен сипатталады.

Доғалық күю – жоғары кернеу астында тоқ жүретін бөлік пен адам денесі арасында электрлік доға пайда болады. Доға температурасы 3500°С ден жоғары және де энергиясы үлкен. Доғалық күйік III, IV дәрежені құрайды.

Электрлік белгілер – адам терісінде сұр немесе күлгін сары түсті дақтар пайда болады. Белгілер жырық, дақ, жара түрінде байқалады. Электрлік белгілер ауырмайды және емдеуге жеңіл болып келеді.

Терінің металдануы – электрлік доға нәтижесінде еріген металл қалдықтарының адам терісінің жоғары қабатына енуі. Метализация ыстық металл әсерінен терінің күюі..

Механикалық жарақат – адам денесі арқылы өткен токтың әсерінен буындардың тартылуы.

Электр тоғы өткен кезде адамнын денесі: жеңіл соққы, дененің күйіп ашуы, бұлшық еттің құрысуы, дірілдеу болып жарақатанады.

Белгілері: тері жамылғыларының ағаруы, сілекейдің көп бөлінуі, құсықтың келуі, жүрек төңірігінің сырқырауы. Тоқтың әсерінін жойғаннан кейін зардап шегуші шаршауды, бүкіл денесіндегі ауырлықты, еңсесін басуды немесе қозуды сезінеді.

Электр жарақаты кезіндегі жүйке жүйесіне электр тоғының әсері нәтижесінде пайда болған ортақ құбылыстар аса қауіпті. Тоқ соққан адам бірден есінен айырылады, бұлшық еттің қысқаруынан кейде зардап шегушіні электр тоғы бар өткізгіштен ажырату өте қиынға түседі.

Электрлік тоғының соғуы нәтижесінде келесідей жағдайлар туындайды:

-Естен тану, буындардың тартылуы;

-Естен танып, буын тартылғанмен тыныс алу және жүрек ағысының жұмыс істеуі нашарлайды;

-Естен тану, жүрек, тыныс алу жұмыстарының тоқтатылуы;

-Қан айналымы, тыныс алу , жүректің тоқтауы.

Электр тоғының адамға әсер ету салдары мен сипаты мына факторларға байланысты:

-Адам денесінің тоққа қарсы кедергісі;

-Тоқтың кернеулігі мен шамасына ;

-Электр тоғының әсер ету ұзақтығына;

-Адам денесінде тоқтың өту жолдарына;

-Электр тоғының жиелігі мен оның тегіне;

-Қоршаған орта жағдайына.

Электр тоғының әсерінен өлім себептері: жүрек соғуының тоқтауы немесе жүрек фибрилляциясы болуы мүмкін. Фибрилляция - тыныс алу мен электр тогының тоқтауы - электр тогының қатты тітіркенуіне жауап ретінде организмнің нейро-рефлекстік реакциясы, қан айналымы, тыныс алу, метаболизм және т.б. Соққы күйі бірнеше ондаған минуттан бір тәулікке дейін созылуы мүмкін. Ұзақ соққымен адам қайтыс болуы мүмкін.

4.2 Тоқтың соғу дәрежесіне әсер ететін факторлар

Электр тоғының адам ағзасына әсер ету сипаты және зақымданудың ауырлығы токтың күші, әсер ету ұзақтығы, сипаты мен жиілігі, ағзадағы тоқтың өту жолына байланысты. Адамның жеке қасиеттері және басқа да факторлар ерекше мәнге ие.

Тоқ күші - адам ағзасының зақымдану нәтижесін анықтайтын негізгі фактор болып табылады. Тоқ күшінің ұлғаюына байланысты адам ағзасына әр түрлі әсер етеді.

Қабылданатын токтардың шекті мәні: 50 Гц жиіліктегі 0,6-1,5 мА айнымалы токпен және 5-7 мА тұрақты тоқты құрайды. Мұндай тоқ жұмсақ қышуды, терінің электродтардың астына қысылуын тудырады, ал 8-10 мА айнымалы ток қазірдің өзінде қолдың, соның ішінде білектің қатты ауырсынуын және қысылуын тудырады. Қолмен ұстау қиын, бірақ көп жағдайда оны электродтан жыртып алуға болады.

Адамның бойымен өткен кезде өткізгіш қысылып тұрған қол бұлшықеттерінің орны толмайтын конвульсиялық жиырылуын тудыратын электр тогы босатылмайтын ток деп аталады.

Айнымалы ток (50 Гц) 10-15 мА күші бүкіл қолдың ауырсынуына әкеледі. Көптеген жағдайларда қолды электродтан айыруға болмайды. Айнымалы тоғы 20-25 мА болғанда, қолдар бірден паралич болады, электродтардан бөлініп шығу мүмкін болмайды, ал 25-50 мА ток күші қолдар мен кеудеге қатты ауырсынуды тудырады. Тыныс алу өте қиын.

Айнымалы ток 50-80 мА, бірнеше секундтан кейін тынысы параличтенеді, жүрек қызметі бұзылады. Ұзақ уақыт ағымында жүрек талшығының пайда болуы мүмкін. Жүрек фибрилляциясы денеден өтетін электр тогы фибрилляциялық ток деп аталады. Айнымалы ток 100 мА 2-3 секундтан кейін жүректің фибрилляциясын тудырады, ал бірнеше секундтан кейін ол параличке әкеледі. Фибрилляция тогының жоғарғы шегі - 5 А. Ауыспалы және тұрақты 5 А-дан асатын ток, фибрилляция күйін айналып өтіп, жедел жүрек ұстамасын тудырады.

Кернеу көбінесе зақымданудың нәтижесін анықтайды, өйткені терінің төзімділігі мен адам ағзасынан өтетін токтың күші оған байланысты.

Адам денесінің электрлік кедергісі терінің электр тізбегіне кіретін жерлердегі кедергісімен және ішкі ағзалардың кедергісімен анықталады. Сонымен қатар, теріге төзімділік жалпы қарсылықтың негізгі үлесі болып табылады. Терінің қабықтың жоғарғы қабаты ең жоғары қарсылыққа ие (эпидермис). Адам денесінің кедергісі 1-100 кОм немесе одан да көп [14].

Теріні ылғалдандырғанда, ластағанда және зақымдағанда (терлеу, кесу, абразиялар, сызаттар және т.б.), ток күші мен оның ұзақтығын арттыру, сонымен қатар ток өткізетін элементтермен жанасу аймағын арттыру кезінде адам ағзасының қарсыласуы минимумға дейін төмендейді

Адам ағзасының ішкі тіндерінің тұрақтылығы шамалы 300-500 Ом-ды құрайды. Есептеулерде адам денесінің электр кедергісі 1000 Ом қабылданады.

Тоқтың адам ағзасына әсер ету ұзақтығы көптеген жағдайларда зақымданудың нәтижесіне байланысты анықтайтын фактор болып табылады: тоқтың әрекеті неғұрлым ұзақ болса, ауыр немесе өлім нәтижесінің ықтималдығы соғұрлым жоғары болады.

Тоқтың сипаты мен жиілігі зақымданудың ауырлығына да әсер етеді. Ең қауіптісі - жиілігі 20-100 Гц болатын айнымалы ток. 20 немесе 100 Гц-тен жоғары жиілікте электр тогының соғу қаупі едәуір төмендейді.

Айнымалы сияқты бірдей мөлшердегі тұрақты ток әлсіз бұлшықеттің жиырылуын тудырады және аз байқалады. Оның әсері негізінен термиялық, бірақ маңызды мәндермен күйік өте ауыр және тіпті өлімге әкелуі мүмкін. 500 кГц-тен жоғары ток жүректің немесе өкпенің жұмысын тоқтата алмайды. Алайда, бұл ток күйікке әкелуі мүмкін.

Адам ағзасы арқылы өтетін жол зақымданудың нәтижесіне айтарлықтай әсер етеді. Зақымдану қаупі әсіресе өмірлік маңызды ағзалар - жүрек, өкпе, ми арқылы өтетін болса, бұл органдарға әсер етеді. Егер ток олардан өтпесе, онда оның әсері тек рефлексте болады, ал ауыр зақымдану ықтималдығы төмендейді.

4.3 Кәсіпорында қауіпсіздікті сақтауға арналған құрылғылар.

Өндірістік жабдықта, өңделетін материалда, жұмысшылардың киімінде электр разрядының қауіпті ұшқындарының пайда болуын болдырмау мақсатында, өндірістің ерекшеліктерін ескере отырып, пайда болған электр зарядтарын қауіпсіз жоюды қамтамасыз ететін келесі іс-шараларды қарастыру қажет:

– жабдықтар мен коммуникацияларды жерге қосу арқылы зарядтардың ауытқуы, адамның денесінің электрлік жерге қосумен қосылуын қамтамасыз ету;

– меншікті сыйымдылықты және үстіңгі электр кедергісін азайту арқылы зарядтардың ауытқуы;

– радиотоптық, индукциялық және бейтараптандырудың басқа да түрлері арқылы зарядтардың ауытқуы.

Статикалық электр зарядының пайда болу жиілігін азайту үшін қажет:

– тұтанатын газдарды ішінара сұйық және қатты заттардан, ал сұйықтықтарды барлық технологиялық ықтимал жерлерде ерімейтін қатты және сұйық қоспалардан тазарту;

– өндіріс технологиясында көзделмеген жерлерде шашылуға, ұсақтауға және бүрмелеуге жол бермеу;

– тасымалдау магистральдарындағы және аппараттардағы материалдар жылдамдығының жобада көзделген нормалардан жоғары болуына жол бермеу.

Автоматты қосқыш - токты қосуға, оларды өткізуге және тізбектегі қалыпты жағдайда оларды өшіруге, сондай-ақ оларды қосуға, қалыпқа келтірілген (орнатылған) уақытқа өткізуге және тізбектегі қалыпқа келтірілген қалыпты жағдайдағы токтарды автоматты түрде сөндіруге мүмкіндік беретін

контактілі коммутациялық құрылғы (механикалық немесе электронды). қысқа тұйықталу токтары сияқты

Өшіру кідіріссіз немесе кідіріссіз болуы мүмкін. Жеке меншікті түсіру уақытына сәйкес tc, o (бақыланатын параметр белгіленген уақыттан асқан уақыт, түйіспеушілік басталған сәтке дейінгі уақыт), қалыпты қосқыштар (tc, o = 0.02-1 c), уақытты ауыстырып қосқыштар (таңдамалы) бөлінеді және жоғары жылдамдықты қосқыштар (tc, o <0.005 c).

Қалыпты және селективті ажыратқыштар токты шектейтін әсерге ие емес. Сақтандырғыштар сияқты жоғары жылдамдықты ажыратқыштар токтың шектеу әсеріне ие, өйткені олар тізбекті ток Iу мәніне жеткенге дейін өшіреді.

Селекторлық ажыратқыштар әр түрлі уақыт кідірістері бар электр сөндіргіштерін орнату арқылы желілерді таңдамалы қорғауға мүмкіндік береді: тұтынушыда ең аз және қуат көзіне кезең-кезеңмен көбейту.

Сақтандырғыш — электр тізбектерін ток күшінің рұқсат етілген мөлшерден асып кетуінен қорғауға арналған тетік. Сақтандырғыш тізбекті ток көзінен арнайы жасалынған токөткерме бөліктерінің шамадан артық токтың жылулық әрекеті әсерінен балқып үзілуі арқылы ажыратады. Сақтандырғыш электр тізбектерін асқын жүктелуден және қысқа тұйықталулардан қорғайды. Кең тараған түрі — балқыма сақтандырғыш. Ол электр тогын өткізбейтін материалдан жасалған корпустан, металдан (көбінесе мыстан, мырыштан, қорғасыннан және олардың қорытпаларынан, күмістен) жасалған балқыма қыстырғыдан, түйіспелік және доғасөндіргіш құрылғыдан тұрады. Құрылысы бойынша айырғыш пен ажыратқыш аппараттар қызметтерін атқаратын сақтандырғыш-ажыратқыш аталатын коммутациялық аппараттар да қолданылады. Сақтандырғыштың құрылысы қарапайым, құны арзан, тізбекті қысқа тұйықталу кезінде жылдам ажыратады, ал кейбір түрлерінің қысқа тұйықталу тогын шектеу қабілеті болады. Сондықтан олар тұрмыстық, өнеркәсіптік электр қондырғыларында, электр тораптарында, электр станциялары мен қосалқы станцияларда кеңінен қолданылады.

4.4 Қайта тұйықтауды есептеу

Бейтарап қорғаныс өткізгішін қайта тұйықтау әдісі адамға электр тоғының соғу қаупін азайтады, өткізгіш пен фаза үзілістің арасында пайда болатын электр тоғының кернеуін азайтып. Ашық жерлерде қайта тұйықтау әр 200-250 м сайын жасалады, яғни. әр алтыншы тірек тұйықталынады. Жабық жерлерде әр 5-6 м сайын нөлдік шиналар тұйықталады.

Жерге қосу құрылғысын есептеу оның тиісті жабдық үшін белгіленген рұқсат етілген кедергісі негізінде жүзеге асырылады.

380/220 В-да әрбір қайталанатын тұйықталу кедергісі 30 Ом-дан аспауы керек, барлық қайталанатын тұйықталудың жалпы кедергісі 10 Ом-дан аспауы керек, яғни $R_{dop} \leq 10$ Ом (PUE сәйкес).

Табиғи тұйықталу болмағандықтан, (тапсырманың шартына байланысты) керісінше жасанды тұйықталуды қарастырамыз, кедергісі $R_I \leq R_{dop} \leq 10$ Ом.

Нақты қажетті кедергіні анықтаймыз $\rho_r = \rho \cdot \varphi$, мұндағы ρ – топырақтың кедергісі, Ом*м, ϕ – климаттық коэффициент. (жеке аймақтардың климаттық жағдайларына сәйкес каталогтан таңдалды). Топырақтың түрін – кедергісі бар саз деп таңдаймыз $\rho = 40$ Ом*м, ал климаттық коэффициент біздің аймаққа сәйкес $\phi = 1.5$. Содан біздің нақты қажетті кедергіміз :

$$\rho_r = \rho \cdot \phi = 40 \cdot 1.5 = 60.$$

Тұйықталу түрін және оның мөлшерін таңдаймыз. Жасанды жерлендіру құбырлы немесе өзек ұзындығынан тұрады l=2.5 м және диаметрі d=3/4 дюйма =0.0176м. Есептеулерде жердегі тұйықталу нүктесінен жер бетіне дейінгі қашықтық h=0.8 м.

Бір құбырлы жердегі электрод жүйесінің таралу кедергісін есептейміз:

$$R_0 = \frac{\rho_r}{2\pi \cdot l}\left(ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}ln\frac{4H+l}{4H-l}\right), \qquad (4.1)$$

мұндағы $H = 0{,}8 + \frac{l}{2} = 0{,}8 + \frac{2.5}{2} = 2.05$ – жер бетінен тұйықталу нүктесінің ортасына дейінгі қашықтық.

Жоғарыда аталған деректерді қолдана отырып, аламыз:

$$R_0 = \frac{60}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5}\left(ln\frac{2 \cdot 2.5}{0{,}0176} + \frac{1}{2}ln\frac{4 \cdot 2.05 + 2.5}{4 \cdot 2.05 - 2.5}\right) = 22.3299 \text{ (Ом)}.$$

Қосылу жолағының кедергісін ескерусіз жерге қосу кедергісінің рұқсат етілген мәнін алу үшін параллель жалғанған жалғыз тұйықталу қосқыштардың саны:

$$n = \frac{R_0}{R_{dop} \cdot \eta}, \qquad (4.2)$$

мұндағы η - топтық жерге қосу коэффициенті. Анықтамалық мәліметтерге сәйкес параллель жалғанған жерге тұйықтағыш өткізгіштер саны кемінде екеу болуы керек, сондықтан $\eta = 1$ аламыз.

Содан

$$n = \frac{22.3299}{10 \cdot 1} = 2.23299 \approx 2.$$

Қосылу жолағының ұзындығы келесідей анықталады:

$$L = a(n - 1), \qquad (4.3)$$

мұндағы $a = 5$ м – тік қосылған тұйықталу нүктелер арасындағы қашықтық.

Сонымен, $L = 5(2 - 1) = 5$ м. Қосылу желісінің кедергісін есептейміз R_nкелесі формуламен :

$$R_n = \frac{\rho_r}{2\pi \cdot L} ln \frac{2L^2}{d \cdot h} \ , \qquad (4.4)$$

мұнда d - қосу жолағының эквивалентті диаметрі, ал ені b. Есептеуде біз диаметрді $d = 0{,}95b$ ал енін $b = 15$ см, деп аламыз.

Сонда

$$R_n = \frac{60}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 5} ln \frac{2 \cdot 5^2}{0{,}95 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}8} = 11.6188 \text{ (Ом)}.$$

Табылған мәндерге сүйене отырып, Тұйықталу құрылғысының кедергісінің байланыс жолағын ескере отырып есептеуге болады:

$$R = \frac{R_0 R_n}{R_0 \eta_n + R_n n \eta} \ , \qquad (4.5)$$

мұндағы η_n - Жүйелерді қосу коэффициенті, көрсетілген шарттарға сәйкес каталогтан таңдалады $\eta_n = 1$.

$$R = \frac{22.3299 \cdot 11.6188}{22.3299 \cdot 1 + 11.6188 \cdot 2 \cdot 1} = 5.69367 \text{ (Ом)}.$$

Есептеу нәтижесіне сүйенсек, бүкіл қайта тұйықталу нүктелерінің ортақ кедергісі, берілген 10 Ом-нан кем болғанын көрдік. Бұл дегеніміз біздің аймақтың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Қорытынды

Қазір өндіріс алдында маңызды міндеттің бірі - борттық компьютерді немесе робот пен оның барлық жүйелерінің негізгі процесстерінің жүйелеу уақытын азайту. Ақпаратты өңдеу жылдамдығы тұрғысынан компьютердің күші неғұрлым жоғары болса, машинаның автономдылығы соғұрлым жоғары болады және соншалықты көп міндеттерді шеше алады.

Икемді робототехниканың тағы бір бөлігі құрылыс роботтарының жаңа формаларына қатысты болып келеді. Бұл жасанды бұлшықеттер, жаңа құрылымдық материалдар, стандартты қозғалтқыштарды, гидро және пневматикалық цилиндрлерді ауыстыру. Тірі тіршілік иелерінің бұлшық еттері - қазіргі кездегі «қозғаушы механизмдердің» ең тиімдісі. Пневматикалық бұлшықеттер қазір айтарлықтай дамыған, бірақ белгілі бір сипаттамалары мен шектеулері бар. Олардың өлі аймақтары бар, сонымен қатар олар көлемді және оларды ұстау қиын. Электр жетегі неғұрлым ықшам, бірақ оның да өзіндік шектеулері бар - жылдамдық, орналасу, крутящий, қуат.

Бүгінгі таңда көптеген күш-жігерлер жоғары технологиялық графен нанотүтіктерінен бастап қарапайым балық аулау сызығына дейін көптеген материалдарды қолдана отырып, жасанды бұлшықеттерді жасауға бағытталған, бірақ олар әлі өнеркәсіптік көрсеткіштерге жете қойған жоқ. Фундаменталды деңгейде бұл мәселе өз шешімін тапты, бірақ ол практикалық қолданудан өте алыс.

Қорытындылай келе, берілген дипломдық жобада икемді робот қозғалысын теңгеру және оларды талдау әдістеріне зерттеу жұмыстарын жүргізіп, ең тиімді тепе-теңдікті сақтауға арналған параметрді анықтай алдық. Қазіргі өндірісте қолданылатын роботтарды мысалға алып, механикалық тұрғыда зерттеулер жүргіздік. Matlab бағдарламасында есептеулер жүргізіп, DUAL-V манипулятордың тепе-теңдік параметірін анықтадық. DUAL-V және 4RRR манипуляторларының тепе-теңдік және икемділік коэффициенттерін салыстыру арқылы, икемділікті анықтауда ортақ параметр формуласына қол жеткіздік.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1 Клочев В.И. Теория электропривода. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560б.

2 Клочев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: МЭИ, 1971. - 224 б.

3 Соколов М. М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. - М.: Энергия, 1976. - 488 б.

4 Ибраев С.М., Нурмагамбетова А.Т. (2007) Қозғалыс байланыстарының салыстырмалы қозғалысы бар екі тізбекті механизмнің киностатикалық талдау әдісі. - ҚазБСҚА бюллетені, № 2 (20), 163-169 бет.

5 Сандлер А. С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. - М.: Высш. школа, 1972. - 440 б.

6 Быков В. П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. - М.: Высш. школа, 1977. - 391 б.

7 Чиликин М.Г., «Общий курс электропривода». М: Энергоиздат 1981 Методические указания по курсовому проектированию дисциплины Автоматизированный электропривод».

8 Сагитов П.И. Автоматизированный электропривод типовых промышленных механизмов. - Алматы: АИЭС, 2006. – 95б.

9 Сайт https://kz.trud.com/kazakhstan/inzhenerproektirovshhik/salary_f/100000/ (10.05.20 10:00)

10 Сайт https://www.kaspi.kz (10.05.20 15:05)

11 Сайт http://libr.aues.kz/facultet/tef/kaf_eo_i_up/28/umm/eoiup_6.htm (07.03.20 16:05)

12 Сайт https://www.machineseeker.ru.com/mss/ (5.02.20 15:00)

13 Сайт https://informburo.kz/novosti/almatyenergosbyt-s-novogo-goda-snizit-tarif-na-elektroenergiyu.html (2.05.20 15:05)

14 Баклошов Н.И. Охрана труда на педприятиях связи и охрана окружающей среды: Оқу құралы/ Москва: Радио и связь, 1989.