

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Тлепбайұлы Ұлан

«Дәнекерлеу жұмыстарын өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B070200– Автоматтандыру және басқару мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

Н.У. Алдияров

«12» маусым 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Дәнекерлеу жұмыстарын өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау»

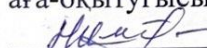
5B070200 - Автоматтандыру және басқару мамандығы

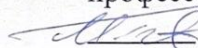
Орындаған:

Ұ. Тлепбайұлы

Пікір беруші
PhD докторы, IT кафедрасының
аға-оқытушысы, АЭЖБ университеті

Ғылыми жетекші
т.ғ.д., АжБ каф. қауым.
профессоры

 Иманбекова Ұ.Н.

 М.Ш. Байбатшаев

«12» маусым 2022 ж.

«12» маусым 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

5B070200 - Автоматтандыру және басқару



БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Н.У. Алдияров

«12» мамыр 2022 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Тленбай Ұлан*

Тақырыбы *«Дәнекерлеу жұмыстарын өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау»*

Университет ректорының *«24» желтоқсанда 2021 ж. №489-П бұйрығымен* бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі *«10» сәуір 2022 ж.*

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- 1) *Дәнекерлеу роботтарын бейімдеудің заманауи әдістері мен құралдары;*
- 2) *Бейне сенсорлық сенсорды қолдана отырып, бейімделу жүйесін құру принциптері;*
- 3) *Дәнекерлеу алауын түйіспеге бағыттау жүйесінің математикалық сипаттамасы;*
- 4) *Дәнекерлеуді роботтандыру технологиялылығын арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу.*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- a) *Дәнекерлеу кезінде бұзушы әсерлерді талдау;*
- ә) *Дәнекерлеу сапасын бағалау және есеп беру;*
- б) *Фотоэлектрлік түрлендіргішті дамыту;*
- в) *Бейне сенсорлық жүйенің жұмыс істеуінің математикалық сипаттамасын жасау;*
- г) *Дәнекерлеудің жұмысын математикалық модельдеу.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):




- Ұсынылатын негізгі әдебиет 56 атау:
1. *Robot intelligent welding programming based on line structure light sensing. Yao Xiao;Bo Zhou;Jiahui Xuan 2018 33rd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*
 2. *A calibration algorithm of the structured light vision for the arc welding robot Wen-Bo Li;Guang-Zhong Cao;Jun-Di Sun;Yu-Xin Liang;Su-Dan Huang 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*
 3. *Weld Seam Detection, Finding, and Setting of Process Parameters for Varying Weld Gap by the Utilization of Laser and Vision Sensor in Robotic Arc Welding Amruta*

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСТЫ (ЖОБАНЫ) ДАЙЫНДАУ
КЕСТЕСІ


Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2022 - 01.02.2022	
Теориялық ақпарат	01.02.2022 - 01.03.2022	
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2022 - 30.04.2022	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Байбатшаев М.Ш., т.ғ.д., АжБ каф. қауымдастырылған профессоры	12.05.2022	
Теориялық ақпарат	Байбатшаев М.Ш., т.ғ.д., АжБ каф. қауымдастырылған профессоры	12.05.2022	
Норма бақылау	Сарсенбаев Н.С. т.ғ.к., АжБ каф. ассистент-профессоры	06.05.2022	

Ғылыми жетекшісі  Байбатшаев М.Ш.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Тлепбайұлы Ұ.

Күні 12 «05» 2022 ж.

СЫН – ПІКІР

Дипломдық жоба

Тлепбайұлы Ұлан

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Тақырыбы: «Дәнекерлеу жұмыстары өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау»

ЖОБАҒА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Өнеркәсіптік өндірістің дамуының интенсификациясы қазіргі уақытта автоматтандырудан роботты технологиялар мен жүйелерді кеңінен енгізуге көшу сатысында. Бұл жағдай таңдалған дипломдық жұмыс тақырыбының өзектілігін растайды.

Дипломдық жұмыста доғалық дәнекерлеу процестерін автоматтандырудағы заманауи ғылыми және техникалық жағдайды талдау, дәнекерлеу роботтарын бейімдеудің заманауи әдістері мен құралдары, бейне сенсорлық сенсорды қолдана отырып, бейімделу жүйесін құру принциптері, дәнекерлеу алауын түйіспеге бағыттау жүйесінің математикалық сипаттамасы жасалынған.

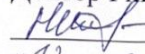
Негізгі тарапында доғалық дәнекерлеудің кешенді математикалық моделін құру және мототехника рамаларын доғалық дәнекерлеуді икемді роботтандыру ұсыныстары әзірленген.

РТК дәнекерлеудің жұмысын математикалық модельдеу, РТК доғалық дәнекерлеудің математикалық моделін анықтаудағы факторлық талдау және параметрлік оңтайландырылған. Дәнекерлеуді роботтандыру мақсатында мототехниканың рамалары конструкцияларының технологиялылығын арттыру бойынша ұсыныстар әзірленген.

Қорынтыдылай келіп : « Дәнекерлеу жұмыстары өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау» тақырып бойынша жазылған дипломдық жұмыс, 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бакалавр академиялық дәрежесіне толығымен сай және жақсы « 85 балл» бағаға сәйкес, ал оны орындаған Тлепбайұлы Ұлан аталынған мамандық бойынша бакалавр академиялық дәрежесі беруге сәйкес деген пікір білдіремін.

Сын-пікір білдіруші:

Доктор PhD

 Иманбекова Ұ.Н

«12» мамыр 2022ж

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жобаға

Тлепбайұлы Ұлан

5B070200- Автоматтандыру және басқару

Тақырыбы: « Дәнекерлеу жұмыстары өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау»

Дипломдық жұмысты орындауына дәнекерлеу жұмыстарын өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау мақсатына бейімделген жүйені құрастару тапсырмасы жүктелінген

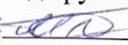
Зерттеу барысында Тлепбайұлы Ұлан құрастарылған жүйенің дәнекерлеу процестеріне қолданылатын манипуляторды басқаратын жетегінің талдаудын жасады.

Алдына қойылған тақырыпты ашу кезінде Тлепбайұлы Ұлан автоматтандыру және басқару мамандығының сәйкес теориялық және практикалық білімдерін, оларды тәжірибеге қолдану мүмкіндіктерінде толығымен көрсетті.

Берілген тапсырмаларды толығымен орындады.

Қорытындылай келіп тапырылған тақырып: « Дәнекерлеу жұмыстары өндірісінің роботтандырылған жүйесін жасау» 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бакалавр академиялық дәрежесіне толығымен сай және оны орындаған Тлепбайұлы Ұлан аталынған мамандық бойынша бакалавр академиялық дәрежесі беруге сәйкес деген пікір білдіремін.

Ғылыми жетекшісі:

т.ғ.д., автоматтандыру және басқару кафедрасының
асс.профессоры  Байбатшаев М.Ш

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тлепбайұлы Ұлан

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Дәнеркерлеу жұмыстарын өндiрiсiгiң роботтандырылған жүйесiн жасау

Научный руководитель: Мухит Байбатшаев

Коэффициент Подобия 1: 0.2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 85


Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата


проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тлепбайұлы Ұлан

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Дәнекерлеу жұмыстарын өндірісігің роботтандырылған жүйесін жасау

Научный руководитель: Мухит Байбатшаев

Коэффициент Подобия 1: 0.2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 85

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

Заведующий кафедрой



АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс «Дәнекерлеу жұмыстарын өндірісігін роботтандырылған жүйесін жасау» тақырыбы бойынша жасалынды. Дипломдық база барысында 56 әдебиетке шолу жасалынды. Оның ішінде IEEE базасындағы мақалаларда бар. Дипломдық жұмыс 3 бөлімнен тұрады. Бірінші бөлімде, доғалық дәнекерлеу процесстерін қазіргі заманға сай автоматтандырылған жүйелері талданды. Бейне сенсорды пайдалана отырып, бейімделу жұмыстарының құрылу принциптері талдалынды мен дәнекерлеу сапасы бағанды және есеп берілді.

Екінші бөлімде, бейнесенсорлық жүйе талданды. Дәнекерлеу жұмыстарының әр түрлі математикалық модельдері талқыланды. Үшінші бөлімде, өнеркәсіптегі роботтың дәнекерлеу жұмыстарының жеңілдетілген математикалық модельдері қарастылылды. Дәнекерлеуді роботтандыру мақсатында әр түрлі ұсыныстар ұсынылды.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа выполнена по теме «Разработка роботизированной системы для производство сварочных работ». В ходе дипломной работы был проведен обзор 56 литературы. В том числе в статьях из базы IEEE. Дипломная работа состоит из трех разделов. В первом разделе проанализированы современные автоматизированные системы процессов дуговой сварки. Проанализированы принципы построения адаптационных работ с использованием видеодатчика и дана оценка качества сварки.

Во второй части была проанализирована видеосенсорная система. Обсуждались различные математические модели сварочных работ. В третьем разделе рассмотрены упрощенные математические модели сварочных работ в промышленности. С целью роботизации сварки были предложены различные рекомендации.

ANNOTATION

This thesis was completed on the topic «Development of a robotic system for welding operations». In the course of the diploma base, a review of 56 literature was conducted. Including articles from the IEEE database. The thesis consists of three sections. In the first section, modern automated systems of arc welding processes are analyzed. The principles of construction of adaptation works using a video sensor are analyzed and an assessment of the welding quality is given.

In the second part, the video sensor system was analyzed. Various mathematical models of welding operations were discussed. The third section discusses simplified mathematical models of welding work in industry. Various recommendations have been proposed for the purpose of robotization of welding.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Доғалық дәнекерлеу процестерін автоматтандырудағы заманауи ғылыми және техникалық жағдайды талдау	10
1.1 Дәнекерлеу кезінде бұзушы әсерлерді талдау	10
1.2 Дәнекерлеу роботтарын бейімдеудің заманауи әдістері мен құралдары	11
1.3 Бейне сенсорлық сенсорды қолдана отырып, бейімделу жүйесін құру принциптері	11
1.4 Дәнекерлеу сапасын бағалау және есеп беру	12
2 Видеосенсорлық жүйені әзірлеу түйіспеге бағытталған электрод	14
2.1 Фотоэлектрлік түрлендіргішті дамыту	14
2.2 Бейне сенсорлық жүйенің жұмыс істеуінің математикалық сипаттамасын жасау	16
2.3 Дәнекерлеу алауын түйіспеге бағыттау жүйесінің математикалық сипаттамасы	28
3 Доғалық дәнекерлеудің кешенді математикалық моделін құру және мототехника рамаларын доғалық дәнекерлеуді икемді роботтандыру ұсыныстарын әзірлеу	32
3.1 Өнеркәсіптік роботты дәнекерлеудің жалпыланған математикалық моделі	32
3.2 Өнеркәсіптік роботтың жеңілдетілген математикалық моделін алу	34
3.3 РТК дәнекерлеудің жұмысын математикалық модельдеу	34
3.4 РТК доғалық дәнекерлеудің математикалық моделін анықтаудағы факторлық талдау және параметрлік оңтайландыру	39
3.5 Бейне сенсорлық позиция сенсорын қолдана отырып, доғалық дәнекерлеу процесін талдау	43
3.6 Бейімделу құралдарымен РТК дәнекерлеудің динамикалық және дәл жұмыс істеу мүмкіндіктерін теориялық зерттеу	44
3.7 Дәнекерлеуді роботтандыру мақсатында мототехниканың рамалары конструкцияларының технологиялылығын арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу	47
Қорытынды	50
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	51

КІРІСПЕ

Өндірістік және автоматты желілерді, сондай-ақ әртүрлі мамандандырылған қондырғылар мен құрылғыларды пайдалануға негізделген өндірісті механикаландыру мен автоматтандырудың дәстүрлі әдістері негізінен ауқымды өндіріс жағдайында тиімді қолданылады. Сонымен қатар, дәнекерленген бұйымдардың негізгі бөлігі сериялы және шағын сериялы өндіріс жағдайында шығарылады, онда дәстүрлі әдістермен кешенді механизация мен автоматтандыруды жүзеге асыру мүмкін емес, оның нәтижесі төмен өнімділік және қол еңбегінің үлкен шығындары болып табылады.

Қазіргі жағдайды дәнекерлеу жұмыстарын автоматтандырумен өнеркәсіптік роботтарды қолдана отырып, икемді өндірістік жүйелер тиімді өзгерте алады [1].

Өнеркәсіптік роботтардың бүкіл паркінің шамамен 11% - ы контактілі дәнекерлеу, 72% - бір немесе бірнеше машиналарда бөлшектерді манипуляциялау және 12% бүрку. Роботтандырылған дәнекерлеу өндірісіндегі өнеркәсіптік роботтармен доғалық дәнекерлеудің үлесі шамалы [37].

Автоматты және Роботты дәнекерлеуді одан әрі кеңейту қамтамасыз етілуі мүмкін:

- дайындамаларды дайындаудың дәлдігін арттыру, оларды дәнекерлеу және жұмыс аймағында бекіту арқылы;
- дәнекерлеу процесін басқарудың сапалы параметрлерін арттыру арқылы;
- дәнекерлеуге арналған жабдықты кері байланыс жүйелерімен, атап айтқанда, дәнекерлеу қыздырғышының есептелген траекториясының дәнекерленген дайындамаларын қосу сызығының кездейсоқ жылжуын автоматты түрде өлшеуге және осы траекторияларды автоматты түрде реттеуге мүмкіндік беретін бейімделу құралдарымен жабдықтау арқылы.

Осылайша, дипломдық жұмыстың зерттеу тақырыбы дәнекерлеу процесінің сапасына әсер ететін адаптивті роботты дәнекерлеу кешенінің параметрлері болып табылады.

Осыған байланысты мынадай міндеттер шешілмеген болып табылады;

- дәнекерленетін бөлшектер параметрлеріне робототехникалық кешенді бейімдеу құралдарының математикалық модельдерін қалыптастыру әдістері;
- роботталған доғалық дәнекерлеудің математикалық моделін қалыптастыру әдістері, оның ішінде барлық модельдер; басқарудың тиісті контурын қалыптастыратын және дәнекерленетін бөлшектердің қателіктерін ескеретін түйіндер мен блоктар;
- бейімделу құралдарымен доғалық дәнекерлеудің РТК жұмысының математикалық модельдерін қалыптастыру әдістері.

1 ДОҒАЛЫҚ ДӘНЕКЕРЛЕУ ПРОЦЕСТЕРІН АВТОМАТТАНДЫРУДАҒЫ ЗАМАНАУИ ҒЫЛЫМИ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙДЫ ТАЛДАУ.

1.1 Дәнекерлеу кезінде бұзушы әсерлерді талдау

Дәнекерлеу процесі, кез-келген басқа процесс сияқты, қоршаған ортамен тығыз байланысты. Қоршаған ортадағы өзгерістер дәнекерлеу процесінің сипатын өзгертеді. Автоматикада мұндай процесс бұзылған деп аталады. Бұзылулар дәнекерлеу қасиеттерінің талап етілгеннен ауытқуына әкелуі мүмкін, яғни дәнекерлеуде қолайсыз ақаулардың пайда болуына.

Физикалық табиғаты бойынша әртүрлі бұзылыстар: дәнекерлеу контурының әртүрлі нүктелерінде көз-доға-бұйым, сондықтан дәнекерлеу процесінің бұзылуы оларды өлшеу және өтеу арқылы жеңілдетілуі немесе салыстырмалы түрде оңай жойылуы мүмкін, басқаларды жою белгілі бір қиындықтармен байланысты.

Автоматты басқару жүйелерін құру кезінде тек басым технологиялық бұзылулар ескеріледі, яғни олардың әсері дәнекерленген қосылыстың негізгі қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді, сонымен қатар қыздыру көзінің энергиясын тұрақтандыру жүйелерінің әсерінен әлсіреуі мүмкін емес. Доминантты бұзылулар және олардың жалпы саны, әдетте, дәнекерлеудің әр нақты жағдайы үшін эксперименталды түрде анықталады. Дәнекерлеу тізбегінде әрекет ететін негізгі бұзылулардың жіктелуі 1.1 суретте көрсетілген. Ол дәнекерлеу тізбегіндегі бұзылуларды қолдану нүктесін, бұзылудың физикалық сипатын ескереді.



1.1 Сурет - Дәнекерлеу тізбегіндегі бұзылулардың жіктелуі

Роботты дәнекерлеу жағдайында осы бұзылулардың бірлескен әсері дәнекерленген элементтердің жұптасу сызығының кездейсоқ ауытқуын және дәнекерлеуге дайындалған қосылыстың геометриялық параметрлерін есептеуден тудырады. Көрсетілген ауытқуларды елемеге болмайтын жағдайларда бұйымға (яғни геометриялық бейімделуге) және дәнекерлеу режимінің параметрлеріне (яғни технологиялық бейімделуге) қатысты дәнекерлеу құралының қозғалыс траекториясын автоматты түрде түзету әдістері мен құралдарын қолдану қажет.

1.2 Дәнекерлеу роботтарын бейімдеудің заманауи әдістері мен құралдары

Доғалық дәнекерлеуге арналған роботтарды қолдану саласына ең үлкен шектеулер дәнекерленетін элементтердің (геометриялық бейімделу) және дәнекерлеуге дайындалған қосылыстың геометриялық параметрлерінің жартылай түйісуінің бағдарламалық мәндерінен кездейсоқ ауытқуларға олардың бейімделу мүмкіндіктерінің болмауы немесе жеткіліксіздігі болып табылады (технологиялық бейімделу).

Бұл тұрғыдан алғанда, фотоэлектрондық түрлендіру принципіне негізделген бейне сенсорлық жүйелер ең перспективалы болып табылады, олардың негізгі артықшылықтары:

- бөлшектермен механикалық байланыстың болмауы;
- жоғары жылдамдық;
- бөлік бетінің жарықтандырылған бөліктерінің өлшемдерін өзгерту мүмкіндігі;
- дәнекерленетін материал түріне сезімталдық;
- түйісу сызығы туралы ғана емес, оның нысаны туралы да ақпарат алу мүмкіндігі;
- оларды қысқа дәнекерлеу кезінде қолдануға мүмкіндік беретін әмбебаптылық. Түйіспенің фотоэлектрондық датчиктерінің көпшілігі шағылысқан сәулелену қабылдағышының шығысындағы сигналдың күрт төмендеуін көрсетеді, бұл оның түйіспеден жоғары болуына сәйкес келеді.

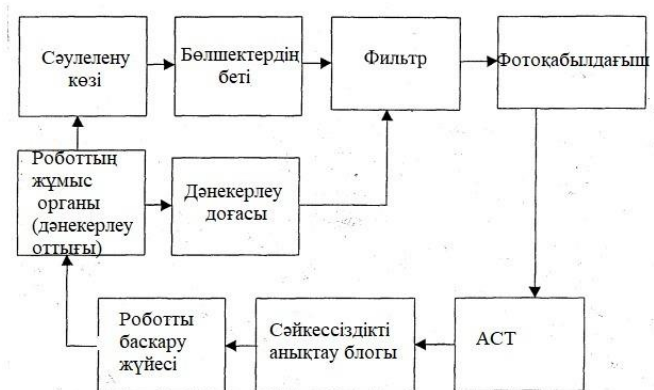
Жұптасатын бөліктер арасындағы алшақтықтың болуын жарық сәулесінің бөліктің бетімен кішкене өзара әрекеттесу аймағы бар сенсор арқылы анықтауға болады. Сол сенсордың көмегімен жиектердің артуының болуын анықтауға болады. Мұның бәрі осы жұмыста бейне сенсорды дәнекерлеу роботын бейімдеу жүйесі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді, оның әрекеті буын аймағындағы жарық деңгейін талдауға негізделген.

1.3 Бейне сенсорлық сенсорды қолдана отырып, бейімделу жүйесін құру принциптері

Әр түрлі физикалық принциптерге негізделген буынды танудың көптеген әдістері бар, олардың талдауы оптикалық өлшеу принципін қолдана отырып,

тану әдістерінде кең мүмкіндіктер бар деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Қосылысты анықтауға мүмкіндік беретін [23] негізгі белгілерінің бірі-дәнекерленген бөліктердің түйіскен жерінде саңылаудың болуы. Дәстүрлі түрде қолданылатын өлшеу схемасы келесідей. Жарық сәулесі бетіне бағытталған, буын арқылы сканерленеді.

Бұл жағдайда роботтың жұмыс органына бейне сенсор жүйесін орнату кезінде эмитент пен фотодетектордың сканерлеу қозғалысы дәнекерлеу алауының тербелісі кезінде орындалады. Бұл буындарды бақылау жүйесін техникалық іске асыруды айтарлықтай жеңілдетеді, өйткені қыздырғыш пен фотодетектордың орналасу координаттарын келісудің қажеті жоқ.



1.2 Сурет - Роботты бейімдеу жүйесінің жалпыланған құрылымдық схемасы

1.2-суретте дәнекерлеу сызығының берілген сызықтан ауытқу шамасын анықтау үшін фотоэлектрондық әдісті қолдана отырып, бейімделу жүйесінің жалпыланған құрылымдық диаграммасы көрсетілген. Электродтың тербелістерімен роботты дәнекерлеу процесінде лазерлік Эмитент буын аймағын сәулелендіреді. Металл бетінен шағылысқан сәуле интерференциялық сүзгілер арқылы Сәуле қабылдағыштың кірісіне түседі. Тар жолақты сүзгілер дәнекерлеу доғасының сәулеленуін басады, осылайша оның фотодетекторға әсерін жояды. ADC арқылы сәулелену қабылдағышының шығыс сигналы сәйкессіздіктерді анықтау блогының кірісіне түседі. Мұнда өлшеу нәтижелері талданады, бұл жоғарыда аталған белгілердің біреуін немесе басқасын анықтауға, уақыттың дискретті сәттерінде оның берілген тігіс сызығынан ауытқуын анықтауға және түзету сигналын жасауға мүмкіндік береді. Роботты басқару жүйесі түзету сигналына сәйкес роботтың манипуляциялық жүйесінің жетектерімен басқару әсерін жасайды. Осы әсерлерді өңдеу нәтижесінде дәнекерлеу роботының жұмыс органы - дәнекерлеу қыздырғышының позициясы өзгереді (түзетіледі).

1.4 Дәнекерлеу сапасын бағалау және есеп беру

Өнімнің шығыс параметрлерінің техникалық қондырғылардан ауытқуының пайда болуы. кейбір жағдайларда дәнекерлеу технологиялық

процестерінің бұзылуымен және дәнекерлеуден кейін алынған қосылыс сапасының төмендеуімен түсіндіріледі [29]. Осы кезеңде пайда болатын қателіктерді сандық бағалау қажет. Оларды орнату бойынша жұмыс технологқа жұмыс орнында іс-шараларды, қолданылатын жабдықты, дәнекерлеу процесінің параметрлерін тағайындауға мүмкіндік береді. Қателіктерді сандық бағалау есептеу және эксперименттік әдістермен жүзеге асырылады. Өкінішке орай, кейбір жағдайларда есептеу әдістері, тіпті қарапайым формулаларды қолдана отырып, қолданылмайды, ал пайда болған қателер мүлдем бағаланбайды немесе бағалау жұмысшы дәнекерлеушінің тәжірибесі негізінде жүзеге асырылады. Сонымен қатар, өрескел есептеулер сөзсіз, өйткені адам оларды көзбен аз қабылдайтындығына байланысты пайда болатын қателіктерді бағаламауға бейім, ал дәнекерленген қосылыстың қасиеттері олардан гөрі сапалы. Бұл жағдай әсіресе ұзындығы кішкентай тігістері бар дәнекерленген бөліктердің көп мөлшерін қамтитын құрылымдарды дәнекерлеу кезінде байқалады. Дәнекерлеу қателіктерін визуалды бағалау технологиялық процестерді әзірлеу кезінде мүмкіндігінше жойылуы керек [29] .

Осы процестің компьютерлерінде модельдеу арқылы бейімделу құралдарымен роботты доғалық дәнекерлеудің тиімділігі мен сапасын арттыру үшін келесі мәселелерді шешу қажет:

- жұмыс істеудің математикалық сипаттамасын әзірлеу
- дәнекерленетін бөлшектердің түйісуін айырып танудың фотоэлектрондық қағидатына құрылған бейнесенсорлық жүйе;
- дәнекерлеу жанарғысының бейне сенсорлық датчигі жағдайын пайдаланатын бейімдеу құралдарымен доғалы дәнекерлеудің робототехникалық кешенінің математикалық моделін жасау жұмыс;
- дәнекерленген бөлшектердің буынына бейімделу жүйесі бар роботтың бақылау дәлдігіне әртүрлі факторлардың әсер ету дәрежесін анықтау;
- түйістің ауытқуын анықтаудың фотоэлектрондық тәсіліне негізделген бейнесенсорлық жүйені қолдануға болатын жағдайларды анықтау;
- компьютерлік модельдеу нәтижелері негізінде дәнекерленетін бұйымдарға технологиялық талаптарды әзірлеу.

2. ВИДЕОСЕНСОРЛЫҚ ЖҮЙЕНІ ӘЗІРЛЕУ ТҮЙІСПЕГЕ БАҒЫТТАЛҒАН ЭЛЕКТРОД

2.1 Фотоэлектрлік түрлендіргішті дамыту.

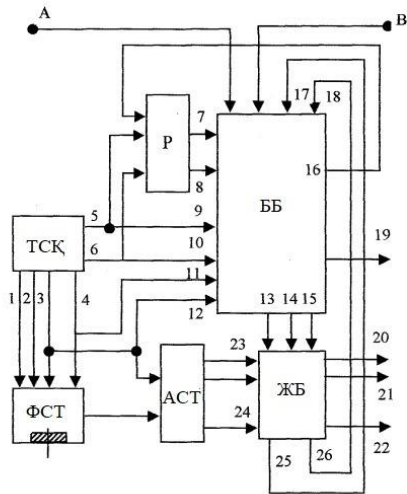
Фотоэлектрлік сенсорлардың мүмкіндіктерін зерттеу [17] қолда бар техникалық шешімдер жылжымалы механикалық бөліктердің болуына байланысты төмен жылдамдыққа ие екенін көрсетті. Жоғары жылдамдықты дәнекерлеу жағдайында нақты уақыт режимінде түйісу координаталарын анықтау үшін өлшеу құрылғысының қозғалмалы бөлігін түйісу бойымен бірдей жылдамдықпен жылжыту керек. Буынға жақын беттерді қарау үшін қажет сканерлеу қозғалысын пайдаланған кезде сканерлеу элементі әлдеқайда жоғары жылдамдықпен қамтамасыз етілуі керек. Сондықтан электр дәнекерлеу доғасының сәулелену әсеріне иммунитеті жоғары және бөлшектердің бетіндегі гетерогенділікке сезімтал емес сенсорды жасау керек.

Осындай датчиктердің аппараттық бөлігі, жоғарыда көрсетілген талаптардан басқа, мынадай сипаттамаларға ие болуы тиіс; ЭЕМ-мен қосылу мүмкіндігі, қоректендірудің шағын кернеуі, шағын габариттері мен салмағы. Бұл талаптар зарядтау байланысы бар фотосезгіш құрылғысы бар жүйелерге сәйкес келеді.

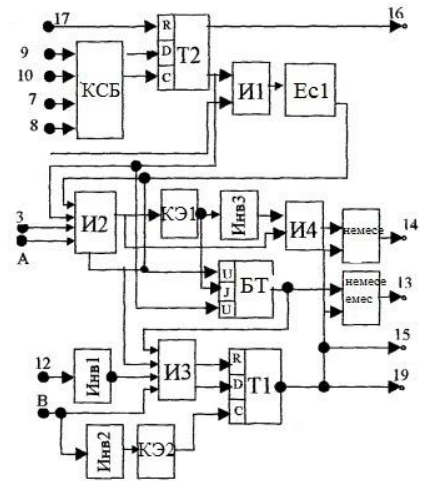
Бейне сенсорлық жүйелердің негізгі элементтерінің бірі-шағылысқан сәулеленуді дәнекерлеу алауының орнын сипаттайтын сигналға айналдыратын фотоэлектрлік түрлендіргіш.

2.1-сурет құрылғының блок-схемасы көрсетілген; зарядтау байланысы бар сызықтық фотосезгіш құрылғы СФҚ түрінде жасалған сигналдарын фотоэлектрлік түрлендіру блогы, Р регистрі, аналогты-сандық түрлендіргіші АСТ, кескіш тірек сигналдары КТС, жад блогы ЖБ және басқару блогы ББ, А, В кірістері мен шығулары 19-21 құрылғылар, 1-6 анықтамалық сигналдардың шығулары, 7-12 кіріс және 13-18 басқару блогының шығысы, 23,24 кіріс және 25 және 26 жад блогының шығысы.

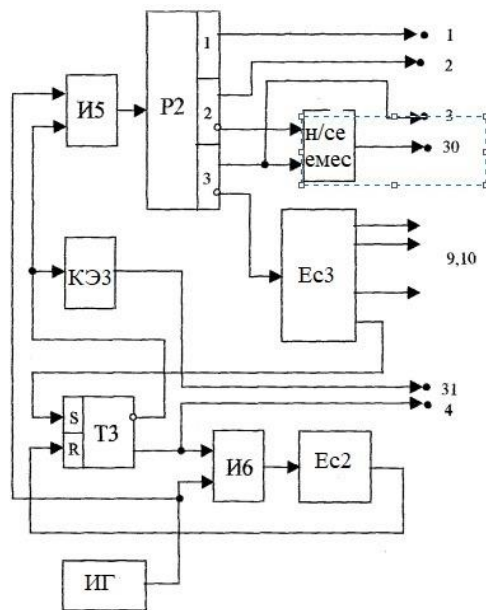
Басқару блогы (2.2-сурет) құрамында бірінші Т1 және екінші Т2 триггерлер, бірінші И1, екінші И2, үшінші және төртінші и4 "И" элементтері, бірінші есептегіші Ес1, бір түрлендіргіштер БТ, кодтарының сәйкестік блогы КСБ, бірінші КЭ1 және екінші КЭ2 кідіріс элементтері, бірінші Инв1, екінші инвертор Инв2 және үшінші төмен инверторлар, "НЕМЕСЕ" және элемент "НЕМЕСЕ-ЕМЕС" .



2.1 Сурет - Фотоэлектрлік түрлендіргіштің блок-схемасы



2.2 Сурет - Басқару блогының блок-схемасы



2.3-сурет. Анықтамалық сигналдардың Блок-схемасы

Тірек сигналдарын қалыптастыру (2.3-сурет) құрамында бірінші И5 және екінші И6 "И" элементтері, фазалық түзеткіш функцияларын орындайтын P2 регистрі, "және емес" элементі, КЭ3 кідірту элементі, бірінші Ec2 және екінші Ec3 санауыштар, Т3 триггері және ИГ импульс генераторы бар.

Құрылғы келесідей жұмыс істейді.

А кірісіне сигналдың бірлі-жарым белгісі түскен кезде "И" И2 және И3 элементтерінен және ББ блогынан бұғаттау алынады.

ТСК өзінің шығуларында ФСТ және ББ және АСТ блоктарының кірістеріне түсетін 1-6 басқару сигналдарын қалыптастырады.

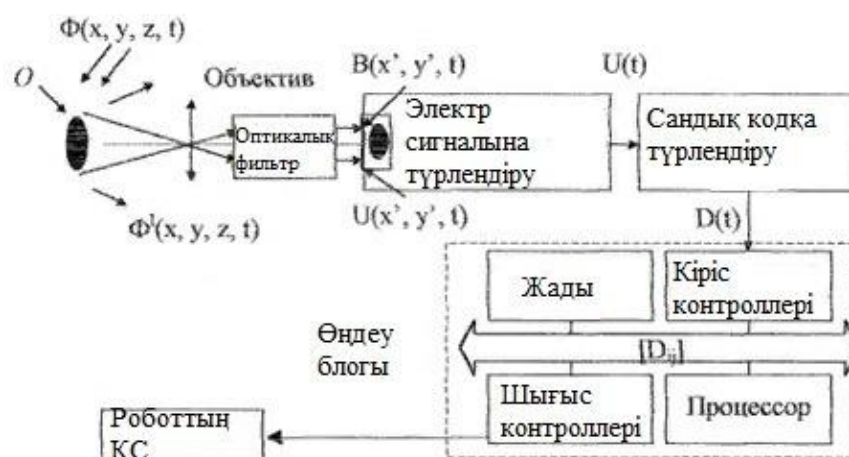
Тірек сигналдарын қалыптастырудың негізгі элементі P2 регистрі болып табылады, ол ИГ генераторынан "И" және И5 элементі арқылы оның кірісіне кіретін импульстар арқылы 1 шығуларына келетін сигналдарды шығарады.

Есептегіш Ес3 формироваля ТСК есептейді нөмірі фотосезгіш ұяшық оның ақпарат келіп түседі шығу блогының ФСТ.

Ес3 есептегішінің шығысы тірек сигналдарының мекен-жайының шинасын құрайды. ТСК Ес2 есептегіші 4 шығуынан сигналдың жалғыз күйінің ұзақтығын анықтайды.

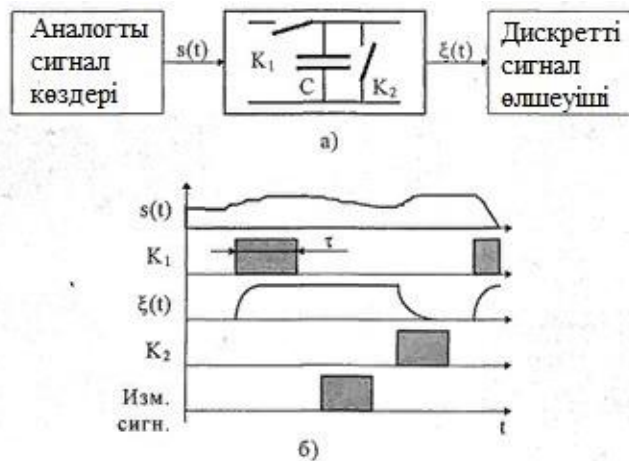
2.2 Бейне сенсорлық жүйенің жұмыс істеуінің математикалық сипаттамасын жасау

Беттерден шағылысқан сәулелену бөлшектерін өңдеу схемасы 2.4 суретте көрсетілген.



2.4 Сурет - Беттерден шағылысқан сәулелену бөлшектерін өңдеу схемасы

О нысаны бар жұмыс сахнасы(атап айтқанда, дәнекерленген буын) үш өлшемді $F(X, Y, Z, T)$ жарық ағынын құрайтын сыртқы көзден жарықтандырылады, жалпы жағдайда X, Y, Z және T уақыт координаттарында өзгереді. Дәнекерленген бөліктердің беттерінен шағылысқан жарық ағынының бір бөлігі линзаның кіріс оқушысына түседі, ол кескін енгізу жүйесінің дисплей элементі болып табылады. Объектив шағылысқан жарықты белгілі бір жазықтықта фокустайды, онда екі координатада көріністі шығаратын (X', Y, Z) жарықтылық үлестірімін құрайды, x, y және уақыт бойынша T . Егер алдыңғы кесінді көп болса, көріністің екі өлшемді Жарық моделі объективтің фокустық жазықтығында қалыптасады. фокустық ұзындықтан үлкен немесе егер олар сәйкес келсе, кескін жазықтығында. Тиісті жазықтықта сәулелендіргіштің жиілігінен өзгеше жиілікпен сәулеленудің әсерін жоятын оптикалық жарық сүзгісі орналастырылады. Сүзілген сәуле қандай да бір электр шамасын және (x', y', t) (x, y, t) жарықтығының әрбір нүктесінде пропорционал болатын фотоэлектрондық түрлендіргішке түседі. Сонымен қатар, фотоэлектрондық түрлендіргіш-бұл жарықтылықтың кеңістіктік таралуын $u(t)$ сериялық электр сигналына түрлендіретін элемент.



2.5 Сурет - Аналогтық сигналды іріктеу схемасы:
 а) құрылым; Б) уақыт диаграммасы

K_1 жабық кілтімен және K_2 ашық кілтімен с сақтау элементінде кіріс сигналының деңгейі есте сақталады. Келесі қадамда K_1 кілті ашылады және $S(1)$ сигналының деңгейі K_1 кілті ашылған кезде өлшенеді $\xi(t)$. Содан кейін K_2 кілті іске қосылады және сақтау элементіндегі ақпарат жойылады, ал дискретизатор келесі өлшемге дайындалады.

Нақты жүйелерде $s(t)$ сигналының уақыт шектеулері бар. Сонымен қатар, K_1 кілті жабық болатын t уақыты соңғы мәнге ие (дискретизатордың диафрагмалық уақыты). Іріктеу процесін талдау үшін уақыт бойынша шексіз $S(t)$ сигналын және $\tau \rightarrow 0$ болған кезде идеалды дискретизаторды іріктеу жағдайын қарастырған жөн.

Аналогтық сигналды іріктеу процесінің математикалық моделін құрамыз. Математикалық тұрғыдан алғанда, идеалды дискретизатордағы процесс $s(t)$ сигналының $\sigma(t)$ дискреттеу функциясына көбейтіндісі ретінде көрінеді:

$$E(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \xi(t) \exp(-j\omega t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta(t - iT) \exp(-j\omega t) dt, \quad (2.2)$$

(Бұл жерде $j = \sqrt{-1}$)

Жинақтау теоремасына сәйкес t аргументінің екі функциясының көбейтіндісінің спектрі осы функциялардың спектрлерінің жинақталуына тең, сондықтан дискреттелген сигнал спектрін келесі түрде көрсетуге болады:

$$E(\omega) = S(\omega) * \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta(t - iT) \exp(-j\omega t) dt, \quad (2.3)$$

мұндағы * - жинақтау операциясының символы.

Шексіз реттілік спектрі T периоды бар функциялар – бұл δ функцияның шексіз Ω периодтық тізбегі, олардың арасында $\Omega T = 2\pi$ қатынасы бар.

Сондықтан $\xi(\omega)$ үшін тәуелділікті келесі түрде қайта жазуға болады:

$$E(\omega) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} S(\omega) * \delta(\omega - i\Omega). \quad (2.4)$$

$S(\omega)$ Дирак функциясы $\delta(\omega - i\Omega)$ және δ -функциясының жиынтығы қандай екенін анықтаймыз:

$$S(\omega) * \delta(\omega - i\Omega) = \delta(\omega - i\Omega) * S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\theta - i\Omega) S(\omega - \theta) d\theta. \quad (2.5)$$

Айнымалы $u = \theta - i\Omega$ енгізіңіз, ол үшін $du = d\theta$. Айнымалы енгізілгеннен кейін қарастырылатын жинақтау келесідей жазылады:

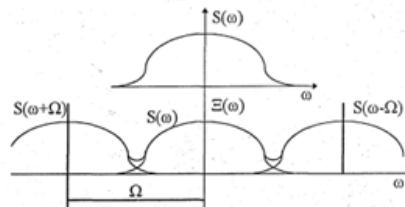
$$S(\omega) * \delta(\omega - i\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(u) S(\omega - u - i\Omega) du = S(\omega - i\Omega), \quad (2.6)$$

Яғни, $S(\omega)$ функциясының бұралуы $\delta(\omega - i\Omega)$ Дирак функциясы абсцисса осі бойынша $S(\omega)$ функциясының $i\Omega$ -ға тең мәнге ауысуына әкеледі бұл өз кезегінде дискреттелген $\xi(\omega)$ функциясының спектрі келесіге әкеледі:

$$E(\omega) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} S(\omega - i\Omega) \quad (2.7)$$

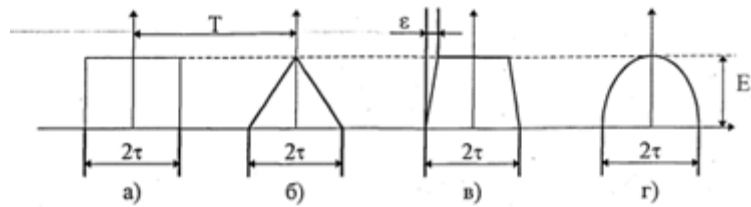
Яғни, ол абсцисса осіне қатысты $i\Omega$ - мәніне жылжытылған $S(t)$ бастапқы функцияның $S(\omega)$ спектрлерінің шексіз қосындысымен қалыптасады.

Бұл факт 2.7. суретте көрсетілген.



2.7 Сурет - Дискреттелген сигнал спектрін қалыптастыру

Мультипликативті іріктеу кезінде $\xi(t)$ дискретизация функциясын $S(t)$ сигналын бүкіл кезең ішінде дәл қайталайтындай етіп таңдауға болады немесе $\xi(t)$ $S(t)$ сигналына тек бір дискретті мәнде сәйкес келеді. Дәл мультипликативті дискретизация Дирак δ функциясының периодтық тізбегін қолдана отырып, жоғарыда көрсетілген іріктеу кезінде пайда болады. Дұрыс емес мультипликативті дискреттеу тікбұрышты, үшбұрышты, трапеция тәрізді, косинусоидты және т.б. формалармен дискреттеу функциясын қолдану кезінде пайда болады (2.8-сурет).



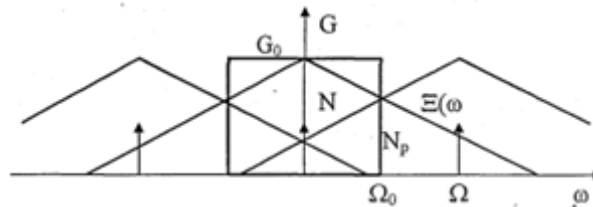
2.8 Сурет - Үлгі сигналдарының нақты формалары
 а) тікбұрышты; б) үшбұрышты; в) трапеция тәрізді;
 г) косинусоидальды ($\tau = T/4$)

Жалпы жағдайда, мультипликативті іріктеу кезінде функцияның спектрлік көрінісі, егер ол жұп болса, келесідей болады:

$$\sigma(t) = \alpha + \sum_{i=1}^{\infty} \beta_i \cos i\Omega t \quad (2.8)$$

Іріктеу сигналының α және β Д параметрлері ($\Omega = 2\pi/T$):

- импульстардың тікбұрышты нысаны жағдайында: $\alpha = 2E\tau/T$, $\beta_i = 2E(\pi i)^{-1} \sin(i\Omega\tau)$;
- импульстардың үшбұрышты формасы жағдайында: $\alpha = E\tau/T$, $\beta_i = E(\pi i)^{-1} \sin(i\Omega\tau)$;
- импульстардың трапеция тәрізді формасы жағдайында: $\alpha = E(2\tau - \varepsilon)/T$, $\beta_i = 4E(\pi i^2 \Omega \varepsilon)^{-1} \sin(i\Omega\varepsilon/2) \sin[i\Omega(\tau - \varepsilon)/2]$;
- импульстардың косинусоидтық формасы жағдайында: $\alpha = E/\pi$, $\beta_i = (-j)^i 2E [\pi(i-1)(i+1)]^{-1}$, $i \neq 1$, $\beta_1 = 0.5$.



2.9-сурет. Шексіз спектрлі сигналды іріктеу

Жиілік спектрлері (негізгі және жанама) нәтижесінде пайда болатын бұрмалануларды N_p спектрінің қабаттасатын бөлігіндегі сигнал энергиясының сигналдың N толық энергиясына қатынасы ретінде сипаттауға болады:

$$P = N_p/N. \quad (2.9)$$

Спектрдің қабаттасатын бөлігіндегі N_p энергиясы өрнекпен анықталады:

$$N_p = G_0 \int_{\Omega/2}^{\infty} (1 + (\omega/\Omega_0)^{2n})^{-1} d\omega, \quad (2.10)$$

2.9-суретке сәйкес жанама спектрлердің жеке жолақтарынан қабаттасатын компоненттердің энергиясының қосындысы. $\Omega/2$ асатын жиіліктердегі бастапқы сигналдың энергиясына тең. Сондықтан, сүзгі өткізу қабілеттілігінің жоғарғы жиілігінің шегінен тыс $(\omega/\Omega_0)^{2n} \gg 1$ орындалады

$$N_p = G_0 \int_{\frac{\Omega}{2}}^{\infty} \left(\frac{\Omega_0}{\omega}\right)^{2n} d\omega = 2^{n-1} G_0 \Omega_0 \left(\frac{\Omega_0}{\Omega}\right)^{2n-1} / (2n - 1). \quad (2.11)$$

Сигналдың жалпы энергиясы:

$$N = G_0 \int_0^{\infty} \left(1 + \left(\frac{\omega}{\Omega_0}\right)^{2n}\right)^{-1} d\omega = \frac{\pi G_0 \Omega_0}{\left[2n \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right)\right]}, \quad (2.12)$$

Спектрлердің қабаттасуы нәтижесінде пайда болған бұрмаланулар арақатынаспен бағаланады:

$$P = \frac{N_p}{N} = 2^{2n} n \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right) (\Omega_0/\Omega)^{2n-1} / [\pi(2n - 1)]. \quad (2.13)$$

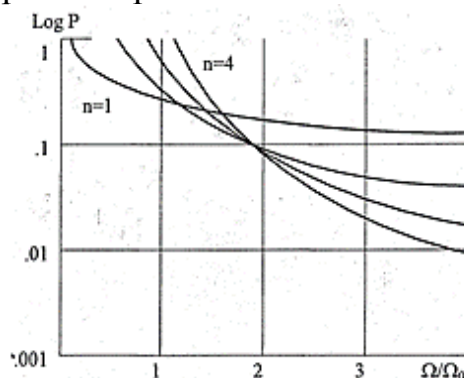
Кейбір дереккөздерде бұрмалау тиімді мәндердің қатынасы ретінде бағаланады:

$$P_{\text{эфф}} = 2^n \left\{ n \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right) \left(\frac{\Omega_0}{\Omega}\right)^{2n-1} / [\pi(2n - 1)] \right\}^{1/2}, \quad (2.14)$$

немесе бір-біріне сәйкес келетін компоненттердің бұрмалануын тудыратын тиімді мәндердің сигналдың ең жоғары мәніне қатынасы ретінде (бұл жағдайда 0,25-ке тең бейнесигналдың тиімді және ең жоғары мәндерінің арасындағы эксперименттік алынған қатынас қолданылады).

$$P = \frac{N_{p\text{эфф}}}{N_{\text{пик}}} = 2^{n-2} \left\{ n \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right) \left(\frac{\Omega_0}{\Omega}\right)^{2n-1} / [\pi(2n - 1)] \right\}^{1/2} \quad (2.15)$$

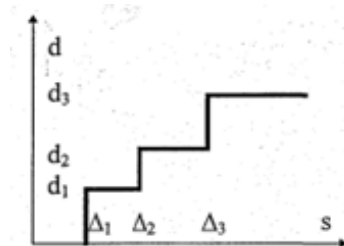
$P(\Omega/\Omega_0)$ тәуелділігі суретте көрсетілген. 2.10.



2.10 Сурет - Дискреттеумен беру кезінде сигнал спектрінің жиілігі бойынша толық емес шектеудің әсерін бағалау (n - Баттерворт сүзгісінің тәртібі)

Корреляциядан бұрмаланулар неғұрлым жоғары болса, сигнал спектрінің шекаралық жиілігі соғұрлым жоғары болады. іріктеу жиілігі неғұрлым аз болса. Екінші жағынан, n бұрмалау өсуде.

Ақпаратты сандық түрге айналдыру процесінің сапасына әсер ететін тағы бір фактор-сигналды деңгей бойынша кванттау операциясы.



2.11 Сурет -Кванттау сипаттамасының түрі

Бірполярлы s сигналын кванттаудың математикалық сипаттамасын келесі түрде жазуға болады:

$$d = \begin{cases} d_0, & s \leq \Delta_1 \\ d_k, & \Delta_k < s \leq \Delta_{k+1}, 1 \leq k \leq K - 1 \\ d_K, & \Delta_K < s, \end{cases} \quad (2.16)$$

мұндағы K-кванттау деңгейінің саны; d_k -өлшеу нәтижесінде сигналдың мәніне берілген код.

Кванттау деңгейлері мен шектерін біркелкі бөлу кезінде өрнек түрге айналады:

$$d = \begin{cases} d_0, & s \leq \Delta_1 \\ d_k, & \Delta_k < s \leq \Delta(k + 1) \\ d_K, & \Delta_1 + \Delta(K + 1) < s, \end{cases} \quad (2.17)$$

мұндағы Δ_1 – кванттаудың бастапқы деңгейі; Δ - кванттау қадамы.

Кванттау нәтижесінде кіріс сигналы аударылады.

Кванттау процесін кванттау сипаттамасы біркелкі және кванттау деңгейлерінің жеткілікті үлкен саны бар әрбір жеке кванттау интервалында өңделетін сигналдың ықтималдық тығыздығы тұрақты болады деген болжаммен қарастырыңыз, дегенмен жалпы жағдайда ол бір кванттау аралығынан екіншісіне ауысқан кезде өзгеруі мүмкін.

s сигналына шарттарға сәйкес мәндер берілсін:

$$d = \begin{cases} d_0, & s \leq \Delta_1, \\ d_k, & \Delta_k < s < \Delta_{k+1}, \\ d_k, & \Delta_k < s, \end{cases} \quad (2.18)$$

мұндағы Δ_1 - кванттаудың бастапқы деңгейі; Δ_k - кванттаудың шегі; $1 \leq k \leq K$.

Аналогтық шаманы s таралу тығыздығы бар Аналогты шама ретінде қарастыруға болады $f(s)$.

$$\varepsilon = \sum_{k=0}^K \int_{\Delta_k}^{\Delta_{k+1}} (s - d_k)^2 f(s) ds, \quad (2.19)$$

Егер k саны үлкен болса, онда $\Delta_k < s < \Delta_{k+1}$ диапазонындағы кванттық сигналдың $F(s)$ ықтималдық тығыздығын тұрақты және тең деп санауға болады $(\Delta_{k+1} - \Delta_k)^{-1}$. Осы жерден ортақвадраттық қателік шығады:

$$\varepsilon = 0,33 \sum_{k=0}^K (\Delta_{k+1} - \Delta_k)^{-1} [(\Delta_{k+1} - d_k)^3 - (\Delta_k - d_k)^3], \quad (2.20)$$

Кванттау деңгейінің оңтайлы жағдайы d_k АК интервалында $\Delta_k < s \leq \Delta_{k+1}$, $\Delta_{k+1}, \Delta_k < d_k \leq \Delta_{k+1}$ d_k функциясы ретінде ε қатесінің минималды мәселесін шешу арқылы табуға болады. Көрсетілген шама тәуелділік бойынша айқындалады:

$$\frac{d_k - (\Delta_{k+1} - \Delta_k)}{2}, \quad 1 \leq k \leq K - 1, \quad (2.21)$$

d_0 және d_k : мәндеріне келетін болсақ, $\Delta d_k = (\Delta_{k+1} - \Delta_k) = \text{const}$ теңдігін орындау кезінде $1 < k < K - 1$ үшін көрсетілген шамалар ретінде мәндер қабылдануы мүмкін:

$$d_0 = \Delta_1 - \frac{\Delta d_k}{2}, \quad d_K = \Delta_K + \Delta d_k / 2. \quad (2.22)$$

Осылайша, сандық сигнал деңгейінің оңтайлы мәні кванттау шектері арасындағы арифметикалық орташа мән болып табылады. Көрсетілген кванттау принципіне сәйкес $\Delta_k < s \leq \Delta_{k+1}$ шарты орындалатын s сигналының барлық мәндері кванттау қатесінің абсолютті мәні болған кезде d_k мәнімен алмастырылуы керек:

$$/ \varepsilon / \leq \Delta / d_k / 2 /. \quad (2.23)$$

Кванттау шуының өлшемі-орташа квадраттық қате, ол k интервалы үшін келесі түрде анықталады:

$$\varepsilon_k = (\Delta d_k)^2 / [12(K + 1)], \quad (2.24)$$

Кванттаудың жалпы шу қуаты кванттаудың жеке интервалдарының қуатының қосындысына тең:

$$N_d = (K + 1)\varepsilon_k = (\Delta d_k)^2 / 12. \quad (2.25)$$

Сигналдың қуатын $f(s)$ сигналының таралу тығыздығының екінші бастапқы моменті ретінде анықтауға болады:

$$N_s = \int_{-\infty}^{\infty} s^2 f(s) ds. \quad (2.26)$$

Егер кванттау аралықтарының жалпы саны $+1$ болса, s сигналының деңгейін S_{\min} -ден S_{\max} -қа дейінгі аралықта біркелкі бөлу кезінде ықтималдылықтың таралуы келесідей болады:

$$f_s = [(K + 1)\Delta d_k]^{-1}, \quad (2.27)$$

ал сигналдың қуаты тәуелділікпен анықталады:

$$N_s = (K + 1)^2 (\Delta d_k)^2 / 12. \quad (2.28)$$

N_s сигналының қуаты N_{SD} сандық сигналының қуаты мен кванттау шуының қосындысына тең болғандықтан, қатынас орындалады:

$$N_{sd} = N_s - N_d = 12^{-1} [(K + 1)^2 - 1] (\Delta d_k)^2. \quad (2.29)$$

Сандық сигнал үшін сигнал-шу кванттау қатынасы:

$$\psi = \frac{N_{sd}}{N_d} = (K + 1)^2 - 1 = (K + 1)^2, \quad K \gg 1, \quad (2.30)$$

немесе логарифмдік масштабта $\Psi_{\pi} = 20 \log_{10}(K + 1)$. Егер кванттау деңгейінің саны β биттерінің саны арқылы $K+1 = 2^{\beta}$ теңдігіне сәйкес білдірілсе, онда кванттау сигналының Шу коэффициенті $\Psi_{\pi} = 6.02 \beta$ болады.

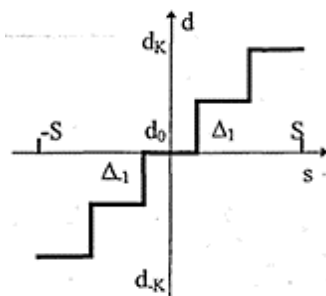
Жалпы жағдайда, кванттау қадамдарының жиынтық саны $(2K+1)$ кванттау биполярлық сипаттамасымен кванттау шуының қуаты

$$N_d = 12^{-1} \sum_{-K}^K p_k (\Delta d_k)^3, \quad (2.31)$$

мұндағы Δd_k – кванттаудың k -ші қадамы;

$$p_k = \int_{\Delta_k}^{\Delta_{k+1}} f(s) ds, \quad (2.32)$$

$f(s)$ - s сигналының таралу тығыздығы, Δ_k – кванттаудың k -ші шегі.



2.12 Сурет - Кванттаудың биполярлық сипаттамасы

Δd_k жеткілікті кішкентай қадамымен келесі қатынасты енгізуге болады

$$\sum_{-K}^K (p_k)^{1/3} \Delta d_k = \int_{-S}^S [f(s)]^{1/3} ds = A = const, \quad (2.33)$$

мұндағы $-S < s < S$ – сигналдың динамикалық диапазоны.

Егер $M_k = (p_k)^{1/3} \Delta d_k$ деп белгіленсе, онда кванттау шуының қуаты:

$$N_d = 12^{-1} \sum_{-K}^K (M_k)^3 \text{ у } A = \sum_{-K}^K M_k. \quad (2.34)$$

Шектер мен кванттау деңгейлерінің біркелкі бөлінбеуі арқылы кванттау шуылының қуатын азайту мәселесі бастапқы деңгейден алынған $(M_k)^3$ қосындысының минимумдарын анықтау проблемасына дейін азаяды ықтималдықтың таралу тығыздығы $f(s)$, егер $\sum M_k$ қосындысы тұрақты және A -ға тең болса, мәселені шешу өрнекке әкеледі:

$$M_{-K} = M_{-K+1} = \dots = M_K = A/(2K + 1). \quad (2.35)$$

Кванттау интервалы

$$\Delta d_k = A[(2K + 1)(p_k)^{1/3}]^{-1} = [(2K + 1)(p_k)^{1/3}]^{-1} \int_{-S}^S [f(s)]^{1/3} ds, \quad (2.36)$$

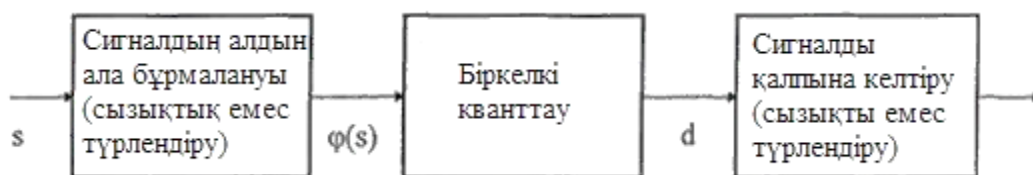
ал кванттаудың k аралығындағы Шу қуаты $(\varepsilon_k)^2 = A^3 12^{-1} (2K + 1)^{-3}$ қатынасы арқылы анықталады және k деңгейіне тәуелді емес. Шудың толық азайтылған кванттау қуаты $(2K+1)$ есе үлкен және тең:

$$N_{d \min} = A^3 12^{-1} (2K + 1)^{-2}, \quad (2.37)$$

Сонымен, деңгейлердің біркелкі бөлінбеуіндегі кванттау шуылының минималды мәні $2K+1$ кванттау деңгейінің квадратына кері пропорционал және $f(s)$ сигналының ықтималдық таралу тығыздығының функциясы болып табылады.

Кванттау шуылының минималды қуатына компандирлеу әдісін қолдана отырып, кванттаудың біркелкі сипаттамасымен қол жеткізуге болады, онда

сигналдың біркелкі емес квантталуы бұрын тиісті сызықты емес әдіспен түрлендірілген сигналдың біркелкі квантталуына тең болады. Сондықтан сигналды жинақтау мәселесі таратушы жағындағы алдын-ала іздеудің сипаттамаларын анықтау болып табылады (2.13-сурет).



2.13 Сурет - Компандирлеу әдісінің принципі

Сигналды осындай кодтау кезінде алдын-ала анықтау сипаттамасы кванттау сипаттамасына кері әсер етеді. Дите - Пантер кванттаушысы үшін $f(s)$ ықтималдылықты үлестірумен сигналды кванттау сипаттамасы келесі түрде кванттау интервалдары бойынша анықталады

$$d_k = d_0 + \frac{\Delta d_0}{2} + \Delta d_1 + \dots + \Delta d_{k-1} + \Delta d_k/2. \quad (2.38)$$

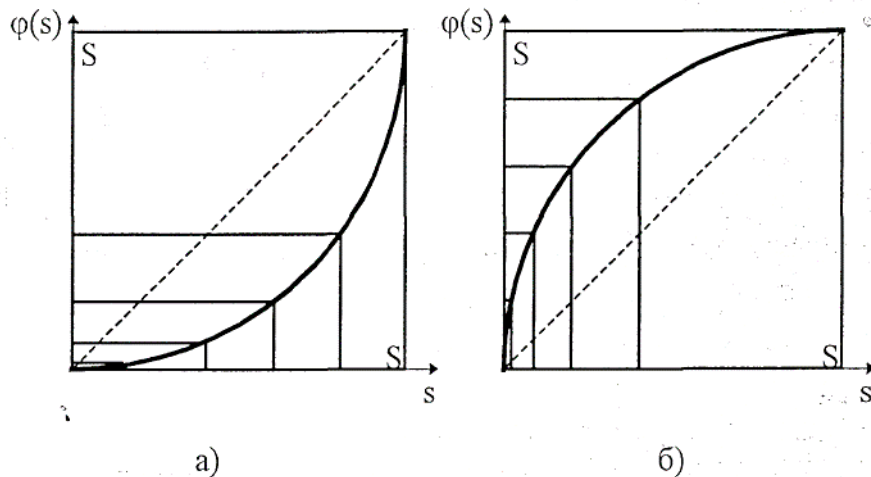
Алынған оңтайлы Дите – Пантер кванттау шартын қолдана отырып, бізде:

$$d_k = A(2K + 1)^{-1/3} [(p_0)^{-1/3} 2^{-1} + (p_1)^{-1/3} + \dots + (p_{k-1})^{-1/3} + (p_{k-1})^{-1/3} 2^{-1}].$$

Кванттаудың жеткілікті аз аралығымен тиісті нормалауды енгізу арқылы интегралдық өрнектің көмегімен кванттаудың айналмалы сипаттамаларын жақындатуға болады

$$\varphi(s) = S \int_0^s [f(\sigma)]^{-1/3} d\sigma \left[\int_0^s [f(\sigma)]^{-1/3} d\sigma \right]^{-1} \quad (2.39)$$

Айналмалы көрініс 2.14 а - суретте көрсетілген.



2.14 Сурет - а) Кванттаудың айналмалы сипаттамалары және б) сызықтық емес алдын-ала іздеудің сипаттамасы

Бұл сипаттаманы сызықтық емес алдын-ала болжауды қолдана отырып жүзеге асырған кезде, 0-ден S -ке дейінгі аралықта $\varphi(s)$ шығыс сигналының өзгеруі кері функциямен сипатталған және айнымалыларды суретке ауыстыруды ескере отырып ұсынылған заңға сәйкес s кіріс сигналының сызықты емес түрленуіне сәйкес келеді. 2.14 б - суреттен біркелкі екенін көруге болады

Сигналдың ықтималдықтарын нақты бөлу үшін кванттаудың оңтайлы сипаттамасын орындау қиын болуы мүмкін. Іс жүзінде оңай іске асыруға предисказения сигнал көмегімен қарапайым логарифмдік функцияларды, бұл арасындағы байланыс кіру және шығу сигналдары түрінде көруге болады

$$w = S \ln \left(1 + \frac{\alpha s}{S} \right) [\ln(1 + \alpha)]^{-1}, \quad (2.40)$$

мұндағы α -алдын-ала сығу сипаттамасының қисықтығын сипаттайтын және оның екі экстремалды нүктесіндегі беріктіктің қатынасымен байланысты, атап айтқанда функцияның дифференциалдануымен байланысты сығымдау коэффициенті w төтенше нүктелерде береді.

мұндағы α -алдын-ала сығу сипаттамасының қисықтығын сипаттайтын және оның екі экстремалды нүктесіндегі беріктіктің қатынасымен, атап айтқанда функцияның дифференциалдануымен байланысты сығымдау коэффициенті w төтенше нүктелерде береді

$$\left. \frac{\partial w}{\partial s} \right|_{s=0} = \left. \frac{\partial w}{\partial s} \right|_{s=S} = 1 + \alpha.$$

Жоғарыда келтірілген әдіс бойынша жүргізілген логарифмдік компандация кезінде кванттау шуының қуатын есептеу келесі мәндерді береді:

кванттау интервалы

$$\Delta d_k = a(S - \alpha s), a = 2 \ln(1 + \alpha) / (2K + 1); \quad (2.41)$$

кванттау шуы

$$N_d = 12^{-1} a^2 \sum_{-K}^K (S - \alpha d_k)^2 p_k \Delta d_k. \quad (2.42)$$

Кванттау шуын келесі тәуелділікке жақындатуға болады

$$N_d = 12^{-1} a^2 [S^2 \int_{-S}^S f(s) ds + 2\alpha S \int_{-S}^S s f(s) ds + \alpha^2 \int_{-S}^S s^2 f(s) ds]. \quad (2.43)$$

Соңғы өрнектегі ықтималдық тығыздығын анықтау үшін бірінші интеграл бірлікке тең, екінші интеграл S сигналының орташа мәні, ал үшіншісі - N_S сигналының орташа қуаты. Осылайша, логарифмдік іссапарға кванттау шуының қуаты

$$N_d = 12^{-1} a^2 (S^2 + 2\alpha S S + \alpha^2 N_S). \quad (2.44)$$

Кванттау шуының квантталған сигналдың қуатына қатынасы $\psi = [12^{-1} a^2 (S^2 + 2\alpha S S + \alpha^2 N_S)] / N_S$ өрнегімен анықталады және кванттау, компандирлеу параметрлеріне және сигналдың нақты параметрлеріне байланысты болады. Егер $\xi = S (N_S)^{-1/2}$ параметрлерін енгізсеңіз (сигнал амплитудасының оның тиімді мәніне қатынасы) $\eta = S S^{-1}$ (сигнал амплитудасының оның орташа мәніне қатынасы), онда шу/сигналдың кернеу қатынасын анықтауға болады

$$\sqrt{\psi} = 3^{-1/2} [(\alpha^2 \eta + \xi^2 \eta + 2\alpha^3) (\alpha^2 \eta)^{-1}]^{1/2} (2K + 1)^{-1} \ln(1 + \alpha). \quad (2.45)$$

Шу-сигналдың қатынасы көбінесе α қысу коэффициентіне, кванттау деңгейінің санына $(2K + 1)$ және ξ және η сигналының максималды, тиімді және орташа мәндерінің арақатынасына байланысты болады. Бұл қысу коэффициентінің үлкен мәндерінде сигналдың максималды, тиімді және орташа мәндерінің арасындағы айырмашылықтар азаятындығынан туындайды. Жеткілікті үлкен $\alpha \gg 1$ қысу коэффициенті үшін сигнал/шу кернеуінің қатынасы сигналдың статистикалық параметрлерінен тәуелсіз болады және $[3(2K + 1)]^{-1/2} \ln(1 + \alpha)$ мәніне жақындайды. Бұл қысу коэффициентінің үлкен мәндерінде сигналдың максималды, тиімді және орташа мәндерінің арасындағы айырмашылықтар азаятындығынан туындайды. α аз мөлшерде болғанда, керісінше, компандация біркелкі кванттауға жақындайды.

Айта кету керек, логарифмдік компандация кезінде α сығылу коэффициентінің оңтайлы мәні бар, оны шу/сигнал қатынасының α бойынша бірінші туындысын нөлге теңестіру арқылы анықтауға болады.

2.3 Дәнекерлеу алауын түйіспеге бағыттау жүйесінің математикалық сипаттамасы

Лазерлердің көптеген түрлері сәуленің осіне перпендикуляр бетінде қалыпты таралу заңымен сипатталған жеткілікті дәлдік деңгейімен сәулелену деңгейлерін жасайды. Металл бетінің сәулелену деңгейі келесідей анықталады.

$$E(r) = E_{max} \exp(-kr^2), \quad (2.46)$$

мұндағы $E(r)$ - шоқ осінен r қашықтықта орналасқан металл бетінің бөлігінің сәулеленуі;

E_{max} - шоқ осіндегі металл бетінің сәулеленуі;

k - қисықтың төмендеу жылдамдығын сипаттайтын коэффициент.

Өнім бетіне түсетін энергияның толық мәні

$$\Phi = \int_0^{\infty} E(r) 2\pi r dr = \frac{\pi}{r} E_{max}$$

Сонда

$$E_{max} = \frac{\pi}{r} \Phi$$

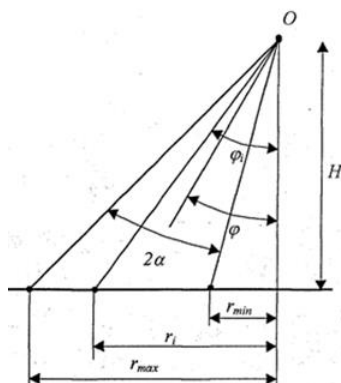
(2.46) өрнекке сәйкес $E(r) = E_{max} = const$ кезінде сәулеленетін жер бетінің тиімді ауданы

$$S_{эф} = \pi/k,$$

ал тиімді радиусы

$$r_{эф} = 1/\sqrt{k}.$$

Сәуленің осі мен оның экстремалды сәулесі арасындағы бұрыш



2.15 Сурет - Бұйым бетінің лазерлік сәулемен сәулелену схемасы

$$\theta \approx \arctg r_{\text{э}\phi} / R, \quad (2.47)$$

мұндағы R - сәуле шығарғыштан сәулеленетін бетке дейінгі сәуленің осі бойынша қашықтық.

θ кіші бұрыштарында (2.47) өрнек келесідей пайда болады

$$\theta \approx r_{\text{э}\phi} / R. \quad (2.48)$$

k коэффициентіне арналған (2.48) өрнек арақатынасын ескере отырып, мынадай түрге ие болады

$$k = 1/(R^2 \theta^2). \quad (2.49)$$

Сәулелену тұрақты және максималды мәнге тең болатын эквивалентті дене бұрышының мәні

$$\Omega = 4\pi \sin^2(\theta/2) \approx \pi \theta^2.$$

Лазер шоғы осіндегі бұйым бетінің максималды сәулеленуі

$$E(r) = \Phi / (\Omega R^2) = \Phi / (\pi \theta^2 R^2). \quad (2.50)$$

(2.46)-ға (2.49) және (2.50) тендеулерін алмастыра отырып, біз аламыз

$$E(r, R) = \Phi / (\pi \theta^2 R^2) \exp(-r^2 / \theta^2 R^2). \quad (2.51)$$

Егер өнімнің бетіне қалыпты болса және сәуленің осі φ бұрышын құраса, онда сәулеленуді есептеу үшін өрнек пайда болады

$$E(r, R) = \frac{\Phi \cos^3 \varphi_i}{\pi \theta^2 H^2 \cos^2(\varphi - \varphi_i)} e^{-\frac{\text{tg}(\varphi - \varphi_i)}{\theta^2}}, \quad (2.52)$$

мұндағы H - металл бетінен лазердің орналасу биіктігі;

φ_i - лазер мен сәулеленген беттің қарастырылатын бөлігін байланыстыратын сызықпен және осы бетке қалыпты түрде пайда болатын бұрыш

$$\varphi_i = \arctg r_i / H;$$

r_i - металл бетіне лазердің проекциясы мен сәулеленген беттің қарастырылатын бөлігі арасындағы қашықтық:

$$r_{i \text{ мин}} \leq r_i \leq r_{i \text{ макс}};$$

$$r_{i \text{ мин}} = H \operatorname{tg}(\varphi - \alpha);$$

$$r_{i \text{ макс}} = H \operatorname{tg}(\varphi + \alpha);$$

α - лазерлік сәуленің дивергенция бұрышы.
Түйістің координаттары келесідей анықталады:

$$x_{cm} = x_m - \Delta l \cos \alpha;$$

$$y_{cm} = y_n + \Delta l \sin \alpha$$

мұндағы x_m, y_n - фотоқабылдағыш сканерлеу қозғалыстарын жүзеге асыратын нүктенің координаттары;

α - фотоқабылдағыштың қозғалыс сызығы мен түйісу сызығы арасындағы бұрыш;

Δl - фотоқабылдағыш ортаңғы нүктеден өткен сәттен бастап «түйісу импульсі» бекітілген сәтке дейінгі қашықтық.

Фотоқабылдағыш тұрақты $v_\phi(t) = \text{const}$ жылдамдықпен қозғалғанда

$$\Delta l = (t_1 - t_2)v_\phi,$$

мұндағы t_1 - түйісу импульсін бекіту сәті;

t_2 - фотоқабылдағышдың орта нүктеден өту сәті.

Заң бойынша фотоқабылдағыш қозғалысы кезінде

$$l_\phi(t) = A \sin \omega t,$$

мұндағы A - фотоқабылдағышды орталықтан барынша алып тастау бағыттаушы;

ω - $2\pi/T_{\text{ск}}$ тең сканерлеу жиілігі;

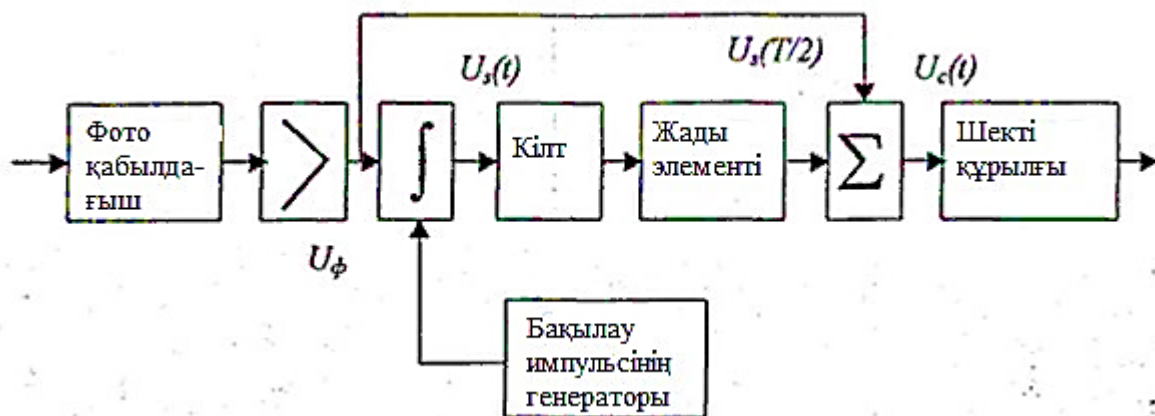
$T_{\text{ск}}$ - фотоқабылдағышдың сканерлеу периоды.

Δl мәні келесі өрнекпен анықталады

$$\Delta l = \int_{t_1}^{t_2} l_\phi(t) dt = -\frac{A}{\omega} (\cos \omega t_1 - \cos \omega t_2). \quad (2.53)$$

Түйісу импульсін таңдау құрылғысының жұмыс тәртібі келесідей.

$t=T/2$ кезіндегі интегратордың шығыс сигналының мәні өрнекпен анықталады



2.16-сурет. «Түйісу импульсін» таңдау құрылғысының құрылымдық схемасы

$$U_s\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} U_\phi(t) dt. \quad (2.54)$$

Бұл мән металл бетінің орташа шағылысу коэффициентіне сәйкес келеді. $\Delta t = T/2$ уақыт өткеннен кейін кілт ашылады және интегратордың шығысы жад элементіне қайта жазылады.

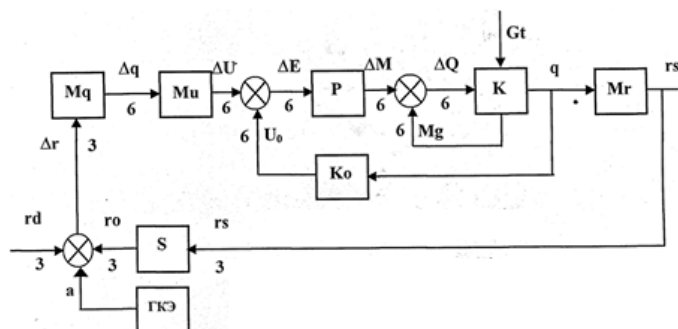
Жиынтық құрылғының шығысында сигнал түрі бар

$$U_c(t) = U_\phi(t) - U_s\left(\frac{T}{2}\right), \quad (2.55)$$

3 ДОҒАЛЫҚ ДӘНЕКЕРЛЕУДІҢ КЕШЕНДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ ЖӘНЕ МОТОТЕХНИКА РАМАЛАРЫН ДОҒАЛЫҚ ДӘНЕКЕРЛЕУДІ ИКЕМДІ РОБОТТАНДЫРУ ҰСЫНЫСТАРЫН ӨЗІРЛЕУ

3.1 Өнеркәсіптік роботты дәнекерлеудің жалпыланған математикалық моделі

Өнеркәсіптік роботтарды және олардың элементтерін дәнекерлеу кезінде қолданылатын талдау басқару жүйесінің және манипулятордың атқарушы жүйесінің жұмысын модельдеуге арналған ПР-ның математикалық моделінің құрылымдық диаграммасын келесі 3.1-суретте көрсетуге мүмкіндік берді, мұнда;



3.1 Сурет - Алты сатылы роботтың математикалық моделінің құрылымдық схемасы.

$a = A \sin 2\omega t$ - ЭТГ әсерінен электронның қозғалысын сипаттайтын заң, мұндағы A -тербелістердің амплитудасы, мм; ω -тербелістердің жиілігі, c^{-1} ;

Осылайша, өнеркәсіптік роботтың математикалық моделі кинематиканың кері есебін шешуді, сілтемелердің бұрыштық позицияларын басқару электр сигналдарына түрлендіруді, электр жетектерінің динамикалық моделін интеграциялауды, манипуляциялық жүйенің динамикасының тікелей мәселесін шешуді және манипулятордың жұмыс нүктесінің жағдайын шешуді қамтиды.

Содан кейін кинематиканың кері есебінің таңдалған шешімі үшін жұмыс органының (қыздырғыштың) орналасу векторының және жалпыланған координаттардың - ұтқырлық дәрежелерінің айналу бұрыштарының байланыс теңдеулері төменде келтірілген:

$$q1 = -\arccos(sm/\sqrt{((xd - xs)^2 + (yd - ys)^2)} + \arccos((xd - xs)/\sqrt{((xd - xs)^2 + (yd - ys)^2)});$$

$$q2 = -\arccos((zd - zs - l1)/\sqrt{(xd - xs)^2 + (yd - ys)^2 + (zd - zs - l1)^2 - sm^2}) + \arccos((132 - 122 - (((xd - xs)^2 + (yd - ys)^2 + (zd - zs - l1)^2 - sm^2)))/$$

Жалпы алғанда, ол квадраттық формадағы жүйенің кинетикалық энергиясына ұқсас жазылады, бірақ жылдамдықтың орнына формулада үдеу болады. Жалпыланған координаттар, жылдамдық және үдеу арқылы көріністе Аппеля функциясы келесі форманы алады:

$$S = 0.5 * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{ij}(\bar{q}) \cdot \ddot{q}_i \ddot{q}_j + \sum_{i=1}^n B_i(\bar{q}, \dot{\bar{q}}) \cdot \ddot{q}_i + C(\bar{q}, \dot{\bar{q}}), \quad (3.4)$$

мұндағы \bar{q} - жалпыланған координаталардың векторы, $\dot{\bar{q}}$ - жалпыланған жылдамдықтың векторы.

Әрбір жиынтықты пайдалану кезінде координаталардың өтпелі жүйелеріндегі бұрыштық үдеулерді, координаталар жүйелері орталықтарының сызықтық үдеулерін, масса орталықтарының сызықтық үдеулерін, олармен байланысты координаттар жүйелерінде, үдеу энергиясын формула бойынша есептеу жүргізіледі:

$$S = 0.5 * \sum_{i=1}^n (m_i \cdot \overline{a_{ci}^2} + \overline{e_i^T} \cdot [J_{ci}] \cdot \overline{e_i} - \{4 \cdot ([J_{ci}] \cdot \overline{w_i}) \times \overline{w_i}\} \cdot \overline{e_i}), \quad (3.5)$$

Мұндағы m_i - сілтеменің массасы, $\overline{a_{ci}}$ - сілтеменің масса центрінің сызықтық үдеу векторы, $\overline{e_i}$ - бұрыштық үдеу векторы, $\overline{w_i}$ - бұрыштық жылдамдық векторы, J_{ci} - сілтеменің инерция тензоры. Барлық көрсетілген шамалар сілтемелермен байланысты координаттар жүйелерімен анықталады. Содан кейін (3.4) және (3.5) теңестіру негізінде A_{ij} , B_i , C коэффициенттері алынады.

Есептеудің соңғы кезеңі-алты теңдеуден тұратын жүйенің оң бөлігін серво жетегінің жүктеме моментінің, ауырлық моментінің және жалпыланған үдеулерді табу үшін сілтемелердің өзара динамикалық әсер ету моментінің айырмашылығы ретінде қалыптастыру және жалпыланған үдеулердің жаңа мәндерін алу үшін Гаусс әдісімен осы теңдеу жүйесінің нақты шешімі., содан кейін жалпыланған жылдамдықтар мен координаттардың жаңа мәндерін біріктіру нәтижесінде манипуляциялық жүйе.

3.2 Өнеркәсіптік роботтың жеңілдетілген математикалық моделін алу

Қайта бағдарламаланатын көп функциялы манипуляторды қолданудың кеңдігі оның әмбебаптығының дәрежесіне, динамикалық және дәл сипаттамаларына, өнеркәсіптік роботты құрайтын элементтердің күрделілігі мен құнына байланысты.

Мұндай ауыстырудың заңдылығы дәнекерлеудің жұмыс нүктесінен X және Y осьтері бойынша 1 мм шамаға бөлінген төрт нүктеде Mg ауырлық күші векторының есептелген шамаларымен расталады [52]:

X0=450,5 мм, Y0=450,0 мм кезінде Mg=-70.95819 Нм

X0=448,5 мм, Y0=450,0 мм кезінде Mg=-70.73265 Нм

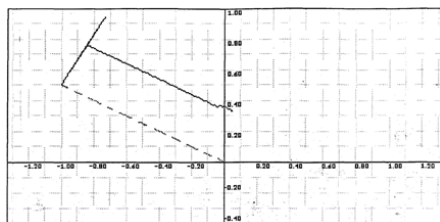
X0=449,5 мм, Y0=450,0 мм кезінде Mg=-70.84537 Нм (құрастыру орны)

$X_0=449,5$ мм, $Y_0=451,0$ мм кезінде $M_g=-70.95832$ Нм

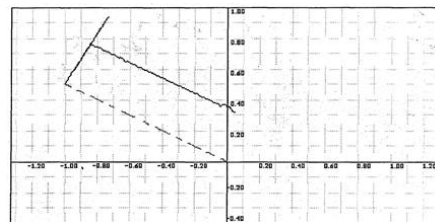
$X_0=449,5$ мм, $Y_0=449,0$ мм кезінде $M_g=-70.73252$ Нм

Бұл жеңілдету ұзындығы кішкентай тігістердің дәнекерлеуін модельдеу кезінде де заңды.

Осылайша, берілген графиктер негізінде байланыстардың өзара әсерін модельдеу кезінде немқұрайдылық мүмкіндігі дәлелденді.



а



б

3.3 Сурет - Манипулятордың орналасуын есептеу: а-толық модельге сәйкес, б-манипулятор байланыстарының өзара әсерін ескерусіз

----- ---- -- қамту траекториясы

- - - - - басқару траекториясы

3.3 РТК дәнекерлеудің жұмысын математикалық модельдеу

Өнеркәсіптік роботтың жұмыс істеуінің математикалық модельдері және манипулятордың жұмыс органының жағдайын жеке-жеке түзету жүйесі, сондай-ақ олардың күрделі математикалық моделі РТК дәнекерлеу аясында осы объектілердің жұмысын теориялық зерттеуге қажетті аппарат болып табылады. Бірлескен жұмыс істеуді модельдеу роботты басқару жүйесі мен дәнекерленген бөліктердің түйісу орнын анықтаудың фотоэлектрондық әдісін қолданатын сенсорлық бейімделу жүйесінің өзара әрекеттесуінің ең ұтымды режимін орнату үшін қажет. Сондай-ақ, бөлшектерді дәнекерлеу кезінде ПР орналасу дәлдігін жақсарту шектерін және робототехникалық кешеннің орналасуын тиімді түзету үшін осы бейімделу жүйесін қолдану шарттарын анықтауға болады.

Біріншіден, автоматты басқару жүйесі болып табылатын модельделген роботтың динамикалық сипаттамаларын анықтау үшін қажет ПР Р-01 манипуляторының массалық инерциялық сипаттамалары алынды.

Қозғалысқа қатысатын элементтердің массаларын есептегеннен және жинақтағаннан кейін m_s (кг) ұтқырлық дәрежелерінің массаларының келесі мәндері алынды:

$$m_{s1}=24,53; m_{s2}=21,1; m_{s3}=12,78;$$

$$m_{s4}=4,58; m_{s5}=1,00; m_{s6}=0,50.$$

Сол сияқты қозғалатын элементтердің инерция моменттерін есептеу және конструкцияны талдаудан кейін координаттар жүйесінің қозғалмалы

дәрежелерімен немесе сілтемелерімен байланысты J_c (кг*м²) манипулятор буындарының инерция тензорлары анықталды:

$$J_{c1} = \begin{vmatrix} 1.3698 & 0.0 & -0.7263 \\ 0.0 & 1.5121 & 0.0 \\ -0.7263 & 0.0 & 0.3222 \end{vmatrix} \quad J_{c2} = \begin{vmatrix} 0.9405 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.8008 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1521 \end{vmatrix}$$

$$J_{c3} = \begin{vmatrix} 0.2772 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.2771 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix} \quad J_{c4} = \begin{vmatrix} 4.69e-3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 8.41e-3 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.74e-3 \end{vmatrix}$$

$$J_{c5} = \begin{vmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{vmatrix} \quad J_{c6} = \begin{vmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 4.5e-4 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 4.5e-4 \end{vmatrix}$$

Байланысты жүйелердегі ұтқырлық дәрежелерінің массалық орталықтары үшін радиус-векторлардың мәндері R_c (м) есептеледі:

$$R_{c1} = (-0,071; 0,0; 0,417), R_{c2} = (0,0; -0,0016; -0,0342), R_{c3} = (0,0; 0,0; 0,127), R_{c4} = (0,0; 0,0; 0,032), R_{c5} = (0,0; 0,0; 0,0), R_{c6} = (0,0; 0,0; 0,12)$$

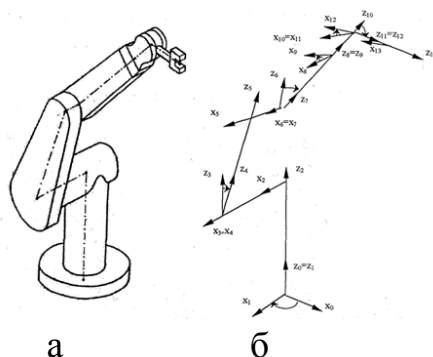
Бағдарламаның есептеу процедуралары осы дизайнға тән Бұрылыстар мен сызықтық ығысулармен анықталатын ауыспалы координаттар жүйелері арқылы манипулятор кинематикасының көрінісін қолданады. Жүйелердің нөмірленуі 3.4-суретте көрсетілген.

Осыған сәйкес 14 өлшемді C_d ауысу түрінің векторы анықталады:

$$0-1 \quad 1-2 \quad 2-3 \quad 3-4 \quad 4-5 \quad 5-6 \quad 6-7 \quad 7-8 \quad 8-9 \quad 9-10 \quad 10-11 \quad 11-12 \quad 12-13$$

$$C_d = (p, \quad s, \quad s, \quad p, \quad s, \quad s, \quad p, \quad s, \quad p, \quad s, \quad p, \quad p, \quad s)$$

мұндағы p - "бұрылыс" типті түрлендіру символы; s - "сызықтық орын ауыстыру" типті түрлендіру символы



3.4-сурет. Манипулятордың ауыспалы координаттар жүйесі: а-құрылымның көрінісі, б-сәйкес координаттар жүйесі

Сондай-ақ, РР-01-де техникалық жазуда келтірілген роботтың сызықтық жылдамдығы $V=500$ мм/с болатын жетектердегі тұрақты ток қозғалтқыштарының механикалық сипаттамаларының параметрлері $W_{ном}$ бұрыштық жылдамдығының номиналды мәндеріне және $M_{ном}$ моментіне сәйкес келетіні анықталды (3.2-кесте).

3.2 Кесте - Серво жетектердің механикалық сипаттамаларының номиналды мәндері

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$W_{ном}$ (рад/с)	1,4	0,9	2,1	4,0	4,2	4,0
$M_{ном}$ (Н*м)	67	113	57	14	12	14

Сонымен қатар, шекті сызықтық жылдамдық 3000 мм/с, ал бірінші сілтеменің максималды іске қосу моменті - 136 Н*м болғандықтан, осы сілтеменің максималды бұрыштық жылдамдығы $W_{max}=2,898$ рад/с, манипулятордың максималды радиусы $R =0,965$ м.

Серво қозғалтқыштарының электрлік параметрлері келесі тәуелділіктерді қолдана отырып, номиналды механикалық сипаттамаларға сәйкес есептеледі:

$$P_{нагр} = W_{ном} * M_{ном};$$

$$P_{дв} = P_{нагр} / K_{ред};$$

$$P_{потр} = P_{дв} / K_{дв};$$

$$P_{потерь} = P_{потр} - P_{дв};$$

$$I_{ном} = P_{потр} / U_{ном};$$

$$R_{я} = P_{потерь} / I_{ном}^2;$$

$$C_{тприв} = (U_{ном} - I_{ном} * R_{я}) / W_{ном};$$

$$C_{еприв} = M_{ном} / I_{ном};$$

3.3 Кесте - Серво жетектерінің электрлік параметрлерін есептеу нәтижелері.

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$P_{нагр}$ (Вт)	93,8	101,7	119,7	56,0	50,4	56,0
$P_{дв}$ (Вт)	104,2	113,0	133,0	62,2	56,0	62,2
$P_{потр}$ (Вт)	122,6	132,9	156,5	73,2	65,9	73,2
$P_{потерь}$ (Вт)	18,4	19,9	23,5	11,0	9,9	11,0
$I_{ном}$ (А)	6,13	6,65	7,82	3,66	3,30	3,66
$R_{я}$ (Ом)	0,49	0,45	0,38	0,82	0,91	0,82
$C_{тприв}$ (Н*м/А)	10,93	16,99	7,29	3,83	3,64	3,83
$C_{еприв}$ (В*с/рад)	12,14	18,90	8,11	4,25	4,05	4,25

3.4 Кесте - Серво модельдері үшін электр параметрлері

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$R_{я} (Ом)$	0,45	0,45	0,45	0,82	0,82	0,82
$C_{тприв} (Н*м/А)$	12,0	16,0	8,0	4,0	4,0	4,0
$C_{еприв} (В*с/рад)$	12,0	16,0	8,0	4,0	4,0	4,0

3.5 Кесте - Манипулятор буындарының қаттылық коэффициенттері

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$C_g (Н*М/рад)$	30565	88235	69880	700	886	738

3.6 Кесте - Серво жетектердің айналу инерциясының моменттері және тұтқыр үйкеліс күштерінің коэффициенттері

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$J_p (Н*с^2/рад)$	0,9	2,1	1,0	0,15	0,15	0,15
$H_p (Н*с/рад)$	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0

3.7 Кесте - Құрғақ үйкеліс сипаттамаларының параметрлері.

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$T_p (Н*м)$	10,92	7,28	2,19	1,82	1,60	2,08
$T_d (Н*м)$	2,73	1,82	0,55	0,46	0,40	0,52
$W_t (рад/с)$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

3.8 Кесте - Таңдалған манипулятор конфигурациясындағы жүктеме және бұзылу моментінің параметрлері.

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$J_n (Н*с^2/рад)$	6,129	6,163	1,674	0,0233	0,0242	0,00045
$M_v (Н*м)$	0,0	-70,79	-38,79	0,0	0,005	0,0

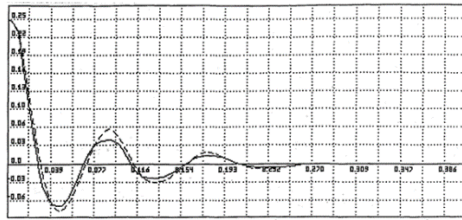
3.9 Кесте - Серво жетектерінің анықталған параметрлері.

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$H_v (Н*с/рад)$	3000,0	2000,0	500,0	10,0	10,0	10,0
K_u	1000	1000	1000	5,0	5,0	5,0
$K_v (В*с/рад)$	0,02	0,015	0,023	0,7	0,7	0,7
$K_v (В/рад)$	3,181	3,181	3,181	3,181	3,181	3,181

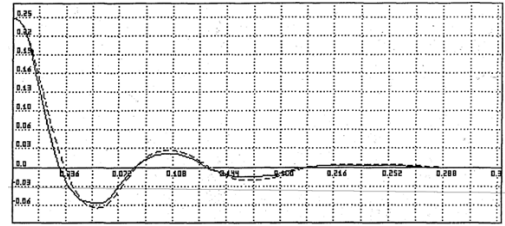
3.10 Кесте - Байланыстардың бұрыштық люфтінің шамасы.

Жетек №	1	2	3	4	5	6
$z_l (рад)$	1.73e-6	1.73e-6	3.00e-6	1.60e-5	1.60e-5	1.60e-5

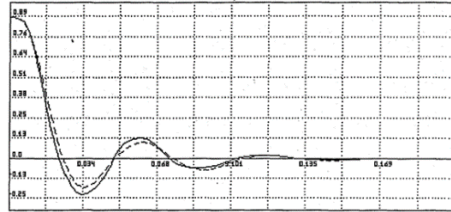
Жоғарыда келтірілген барлық параметрлер енді бейімделу жүйесімен РТК құрастыру құрамындағы роботтың жұмысын математикалық модельдеуге мүмкіндік береді. 3.5а-е-суретте салыстырмалы сәйкестік үшін ПР қозғалғыштығының эксперименттік және есептік өтпелі процестері ұсынылған.



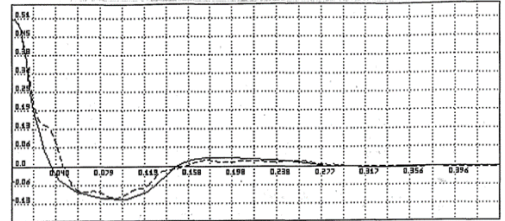
а)



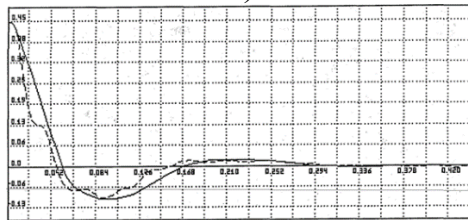
б)



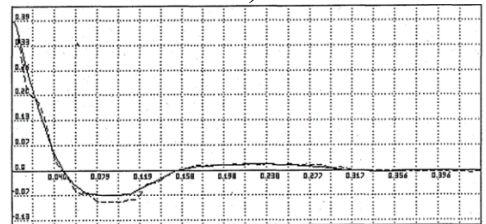
в)



г)



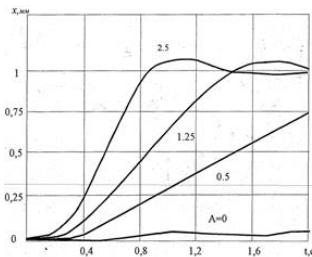
д)



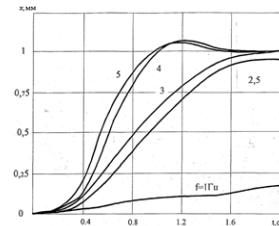
е)

3.5 Сурет - Манипулятор буындарының өтпелі процестері: а-1 буын, б-2 буын, в-3 буын, г-4 буын, д-5 буын, е - 6 буын (---- -нақты, - - - - модельдік)

f_k көлденең тербеліс жиілігінің қажетті f_0 -дан ауытқуы сонымен қатар 3.7-суретте көрсетілген өтпелі процестердің созылуына әкеледі. Бұл амплитудасының төмендеуіне және f_0 жиілігіне реттелген жолақ сүзгісінің шығысындағы фазалық ығысудың пайда болуына байланысты.



3.6 Сурет - Көлденең тербелістердің амплитудасының әртүрлі мәндеріндегі түзету жүйесіндегі өтпелі процестер



3.7 Сурет - Электродтың тербеліс жиілігі өзгерген кезде түзету жүйесіндегі өтпелі процестер

3.4 РТК доғалық дәнекерлеудің математикалық моделін анықтаудағы факторлық талдау және параметрлік оңтайландыру

Анықталған математикалық модельді құру үшін, яғни нақты объектінің оның кіріс айнымалыларының (факторларының) өзгеруінің зерттелетін

диапазонында дұрыс сипаттайтын модель, сайып келгенде, экспериментті жоспарлауды орындау қажет болады [3,57]. Бұл математикалық сипаттаманың жеткілікті қарапайымдылығымен ұқсастыққа жету үшін қажет. Бұл мәселені нақты жағдайда шешу, әдетте, объектіге белгілі бір дәрежеде әсер ететін көптеген кіріс айнымалыларынан туындаған күрделі қиындықтармен байланысты.

3.11 – Кесте

Фактордың атауы	Фактор	Белгіленуі
Электродтың тербеліс амплитудасы	X_1	A
Электродтың тербеліс жиілігі	X_2	ω
Бөліктер арасындағы алшақтықтың мөлшері	X_3	b
Дәнекерлеу жылдамдығы	X_4	v
Тігіс сызығының ауытқу шамасы	X_5	$x_{откл}$
Бөлу шамасы	X_6	r
Манипулятордың 6-шы буынының қаттылық коэффициенті	X_7	$Cg [6]$
Манипулятордың 5-ші буынының қаттылық коэффициенті	X_8	$Cg [5]$
Манипулятордың 4-ші буынының қаттылық коэффициенті	X_9	$Cg [4]$
Манипулятордың 3-ші буынының қаттылық коэффициенті	X_{10}	$Cg [3]$
Манипулятордың 2-ші буынының қаттылық коэффициенті	X_{11}	$Cg [2]$
Манипулятордың 1-ші буынының қаттылық коэффициенті	X_{12}	$Cg [1]$
Манипулятордың 6-шы буынының шамасы	X_{13}	$zl [6]$
Манипулятордың 5-ші буынының шамасы	X_{14}	$zl [5]$
Манипулятордың 4-ші буынының шамасы	X_{15}	$zl [4]$
Манипулятордың 3-ші буынының шамасы	X_{16}	$zl [3]$
Манипулятордың 2-ші буынының шамасы	X_{17}	$zl [2]$
Манипулятордың 1-ші буынының шамасы	X_{18}	$zl [1]$
Манипулятордың 6-буыны жетегінің тұтқыр үйкеліс коэффициенті	X_{19}	$Hp [6]$
Манипулятордың 5-буыны жетегінің тұтқыр үйкеліс коэффициенті	X_{20}	$Hp [5]$
Манипулятордың 4-буыны жетегінің тұтқыр үйкеліс коэффициенті	X_{21}	$Hp [4]$
Манипулятордың 3-буыны жетегінің тұтқыр үйкеліс коэффициенті	X_{22}	$Hp [3]$
Манипулятордың 2-буыны жетегінің тұтқыр үйкеліс коэффициенті	X_{23}	$Hp [2]$
Манипулятордың 1-буыны жетегінің тұтқыр үйкеліс коэффициенті	X_{24}	$Hp [1]$

Барлық факторлар екі деңгейде өзгерді: төменгі деңгей X_{min} факторының төменгі мәніне, жоғарғы деңгей - X_{max} -тың үлкен мәніне сәйкес келді.

Бұл мәндер мүмкіндігінше ең үлкен болып таңдалды.

Факторларды нормалау мынадай формула бойынша жүзеге асырылды

$$X_i = (X_i^* - X_{i0}^*)/L_i, \quad (3.6)$$

мұндағы X_i^* - табиғи масштабтағы фактор; X_{i0}^* - негізгі (табиғи масштабтағы фактор үшін нөлдік деңгей); L_i - түрлену аралығы, $L_i = (X_{i max}^* - X_{i min}^*)/2$. Бұл жағдайда біз $X_{i min}^* = -1$; $X_{i max}^* = +1$ аламыз.

Эксперимент жоспарын құру үшін бөлшек факторлық жоспарлардан кездейсоқ үлгілерді араластыру әдісі қолданылды.

Факторлар (3.11-кестені қараңыз) келесі топтарға бөлінді

1. $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$;
2. $X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$;
3. $X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}$;
4. $X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}$;

Барлық төрт топқа арналған жоспар матрицасы 2^{6-2} типті бөлшек факторлық экспериментке арналған жоспар матрицалары негізінде жасалды.

3.12-кестеде құру коэффициенттері бар 2^{6-2} жоспарлау матрицасы берілген:

$$X_5 = X_1 X_2 X_3 X_4;$$

$$X_6 = X_1 X_2 X_3 ;$$

Кездейсоқ сандар генераторының көмегімен 2^{6-2} -жоспардың әр матрицасынан әр факторлар тобы үшін кездейсоқ жолдар таңдалды:

1-топ: 11,12,4,16,6,10,3,15,7,1,9,8,5,14,13;

2-топ: 7,6,9,10,12,13,11,8,15,5,16,1,4,2,14,3;

3-топ: 15,14,11,4,1,8,2,12,7,5,3,13,10,9,6,16;

4-топ: 7,13,6,16,15,3,10,5,14,11,12,1,9,4,8,2;

Жауап беру функциясы үшін-дәнекерленген түйісу сызығын бақылау қателігі, Идентификатор Y ретінде көрсетілген.

Экспериментті жоспарлау матрицасы 3.13-кестеде келтірілген.

$$\begin{aligned} a_i &< t_{кр} s\{a_i\}; \\ s^2\{a_i\} &= \frac{1}{N_m} s_{вос}^2\{Y\}; \end{aligned} \quad (3.7)$$

мұндағы $t_{кр}$ - маңыздылықтың белгілі бір деңгейі үшін t - үлестірімнің кестелік мәні;

N - бастапқы жоспарлау матрицасының жалпы саны;

m – ондағы параллель тәжірибелер саны;

$s_{вос}^2$ - репродуктивтіліктің дисперсиясын орташа бағалау (3.14-кестені қараңыз).

Берілген дәйекті есептеу [3] параметрлерді ранжирлеуге мүмкіндік берді (3.15-кесте) және бөлшектердің дәнекерлеу сызығын бақылау қатесіне айтарлықтай әсер ететін факторларды (математикалық модельдегі айнымалылар) таңдаңыз.

Дәлел ретінде электродтың сканерлеу тербелістерінің жиілігін таңдап, (2.20) және (3.24) жүйелерге сәйкес мақсатты түзетуді жазамыз. Мақсатты функцияны қалыптастыру кезінде біз өлшенген қосымша мультипликативті өлшемді қолданамыз [56] түрі :

$$F = \chi(\lambda_1\mu_1x_3 + \lambda_2\mu_2T_\phi) + (1 - \chi)(\mu_1x_3^{\lambda_1} + \mu_2T_\phi^{\lambda_2}); \quad (3.8)$$

мұндағы χ - аддитивті және мультипликативті өлшемдердің маңыздылығының арақатынасын анықтайтын салмақ коэффициенті

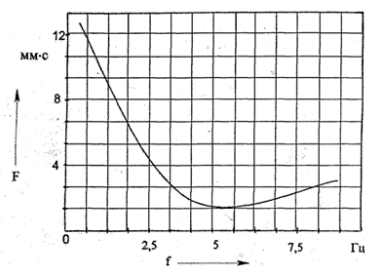
3.12 Кесте - Бөлшектердің дәнекерлеу сызығын бақылау қатесіне айтарлықтай әсер ететін факторлар

Фактордың атауы	Пайызбен салым
1. Электродтың тербеліс жиілігі	43
2. Тігіс сызығының ауытқу шамасы	12,6
3. Манипулятордың 2-ші буынының қаттылық коэффициенті	6,4
4. Манипулятордың 3-ші буынының қаттылық коэффициенті	6,12
5. Электродтың тербеліс амплитудасы	6
6. Бөлу шамасы	4,8
7. Дәнекерлеу жылдамдығы	4,2
8. Манипулятордың 2-ші буыны жетегінің тұтқыр үйкелісі	3,6
9. Бөліктер арасындағы алшақтықтың мөлшері	3
10. Манипулятордың 1-ші буынының қаттылық коэффициенті	1,92
11. Манипулятордың 3-ші буыны жетегінің тұтқыр үйкелісі	1,71
12. Манипулятордың 5-ші буынының шамасы	1,6
13. Манипулятордың 1-ші буыны жетегінің тұтқыр үйкелісі	1,54
14. Манипулятордың 4-ші буынының шамасы	1,5
15. Манипулятордың 3-ші буынының шамасы	1,2
16. Манипулятордың 6-шы буынының шамасы	0,3
17. Манипулятордың 4-ші буыны жетегінің тұтқыр үйкелісі	0,27
18. Манипулятордың 5-ші буыны жетегінің тұтқыр үйкелісі	0,26
19. Манипулятордың 6-буыны жетегінің тұтқыр үйкелісі	0,25
20. Манипулятордың 1-ші буынының шамасы	0,2
21. Манипулятордың 2-ші буынының шамасы	0,18
22. Манипулятордың 5-ші буынының қаттылық коэффициенті	0,065
23. Манипулятордың 6-шы буынының қаттылық коэффициенті	0,064
24. Манипулятордың 4-ші буынының қаттылық коэффициенті	0,063

$$T_{n\phi} = \frac{1}{9,42 f}; \quad (3.9)$$

Табылған (3.8) өрнектерді (3.9) ауыстыру және $\chi = 0.5$ және $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.5$ қою арқылы біз қалаған мақсатты функцияны аламыз. Осы функцияның графигін салғаннан кейін электродтың сканерлейтін тербелістерінің оңтайлы жиілігін анықтауға болады (3.8-суретті қараңыз), және оның негізінде бақылау жүйесінің басқа параметрлері [56].

Жоғарыда келтірілген мысалда мақсатты функция нақты жүйенің параметрлерін ескере отырып құрылғанын атап өткен жөн.



3.8 Сурет – Бақылау жүйесінің

Алынған мәндердегі сәйкессіздік 7% құрады. Бұл экспериментті жоспарлау Жеке оңтайландыру және жобалау тапсырмаларында пайдалы болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Осылайша, жүргізілген зерттеулер экспериментті жоспарлау теориясының әдістерінің бірін және РТК математикалық моделіне негізделген мақсатты функцияны параметрлік оңтайландыру процедураларын бөлісу оны анықтауда да, жобалаудың бастапқы кезеңдерінде де пайдалы болатындығын көрсетті.

3.5 Бейне сенсорлық позиция сенсорын қолдана отырып, доғалық дәнекерлеу процесін талдау

Доғалық дәнекерлеу процесін Тәжірибелік зерттеулер тігіс сызығының кездейсоқ ауытқуларына бейімделу құралдарын қолдана отырып, келесі параметрлерде жүргізілді:

- электродтың тербеліс жиілігі - 5 Гц;
- тербеліс амплитудасы-1 мм;
- сым диаметрі-1,2 мм;
- кесу шамасы (қырдың бұрышы) - 45°;
- саңылау шамасы- 0 және 1 мм;
- тігіс сызығын имитациялайтын шеңбердің диаметрі - 6 мм;
- айналу жиілігі-30 айн/мин.

Берілген айналу жиілігі тігіс сызығын имитациялайтын шеңбердің көрсетілген диаметрі кезінде 9 мм/с тең дәнекерлеудің сызықтық жылдамдығына сәйкес келеді.

Жоғарыда сипатталған қондырғыда тігіс сызығының кездейсоқ ауытқуларына бейімделу құралдарын қолдана отырып, доғалық дәнекерлеу процесін зерттеу бойынша эксперимент жүргізілді.

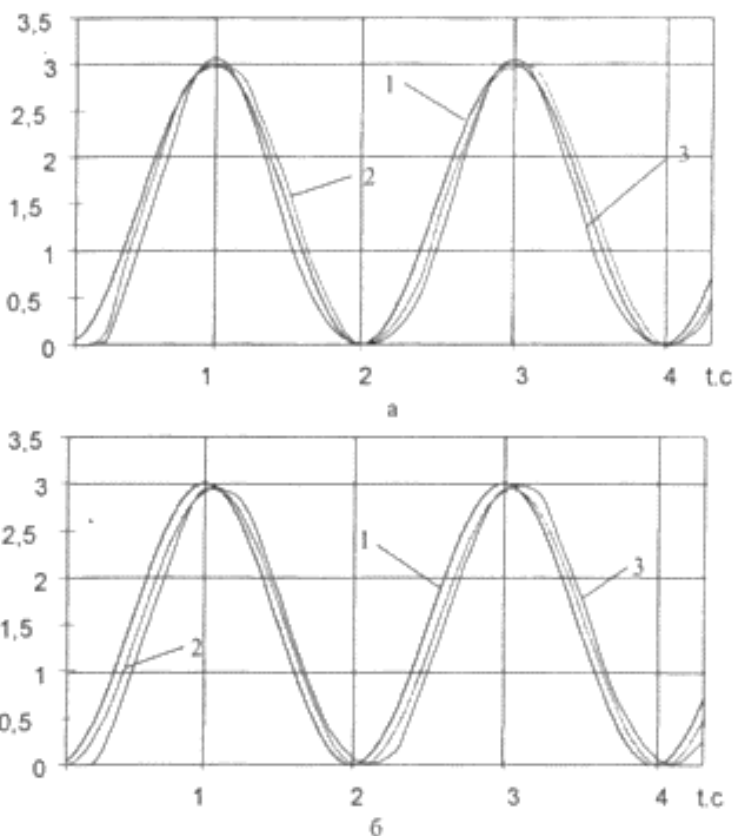
3.9-суретте математикалық модельдеу (2) және эксперимент (3) нәтижесінде алынған электродтың ұшының тігіс бойымен қозғалу траекториясының графиктері көрсетілген (1-график). 3.9-сурет, ал саңылаусыз орнатылған бөлшектерді дәнекерлеуге сәйкес келеді, 3.9-сурет, б - 1 мм саңылаумен графиктер әр жағдай үшін 5 эксперименттің нәтижелері бойынша электродтың соңын жылжытудың орташа нүктелеріне сәйкес салынған.

Алынған нәтижелерді талдау:

- эксперимент және модельдеу кезінде алынған электродтың ұшының траекториясының сапалық сипаты сәйкес келеді. Саңылауы жоқ тігіс жағдайында траектория 5,5% - дан аспайды, ал саңылауы 6%-дан аспайды.

- саңылаусыз болған жағдайда тігіс сызығының ауытқуын қадағалау қатесі 5% - дан аспайды, ал саңылаумен - 6,5%-дан аспайды.

Осылайша, жүргізілген эксперименттік зерттеулер дамыған математикалық модельдің, сондай-ақ тігіс сызығының кездейсоқ ауытқуларына бейімделу құралдарын қолдана отырып, роботты доғалық дәнекерлеу процесін зерттеуге арналған бағдарламалық жасақтаманың сәйкестігін растайды.



3.9 Сурет - Қозғалу траекториясының графиктері

3.6 Бейімделу құралдарымен РТК дәнекерлеудің динамикалық және дәл жұмыс істеу мүмкіндіктерін теориялық зерттеу

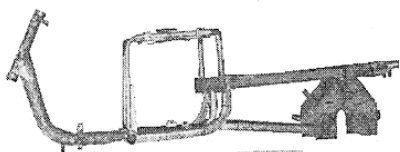
Дәнекерлеу басының жағдайын түзету жүйесін зерттеу (3-бөлімді қараңыз) электродтың тербелісі мен түйісті кесу параметрлерінің жүйенің динамикалық және статикалық сипаттамаларына әсерін анықтауға мүмкіндік берді.

Бұл бөлімде мототехника рамаларының типтік түрлерін дәнекерлеу кезінде робот пен бейімделу жүйесінің бірлескен жұмыс режимі модельденді.

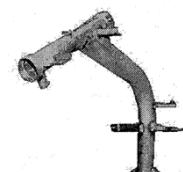
В. М. Рябиков атындағы Тула машина жасау зауыты шығарған мотоцикл мен жүк мотороллерінің рамаларының дизайн және технологиялық ерекшеліктерін қарастырыңыз.

«Муравей» жүк мотороллерінің жақтауы (3.11-сурет) келесі құрастыру бірліктерінен тұрады: алдыңғы бөлігі (3.12-сурет), орындықтың бөлігі (3.13-сурет), қораптар (3.14-сурет) және лонжерон (3.15, 3.16 - сурет).

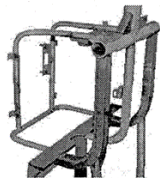
Мотоциклдің де, жүк мотороллерінің де рамалары өте күрделі кеңістіктік құрылымдар болып табылады, олардың құрамына минималды өңдеумен жасалған құбырлар, парақтар, иілген және илектелген профильдер кіреді. Мұның салдары-бөлшектердің өлшемдерінің кең таралуы (3 немесе одан да көп мм-ге дейін), бұл роботты дәнекерлеуге негіз болуды қиындатады және кейбір жағдайларда қосылыстарда автоматты дәнекерлеу кезінде рұқсат етілмеген саңылаулардың пайда болуына әкеледі.



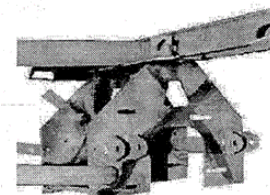
3.10 Сурет - «Муравей» жүк мотороллерінің жақтауы



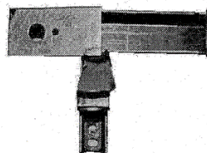
3.12 Сурет - Жақтаудың алдыңғы жағы



3.13 Сурет - Орындықтың бөлігі



3.14 – Сурет - Қорап



3.15 Сурет. Лонжеронның фрагменті

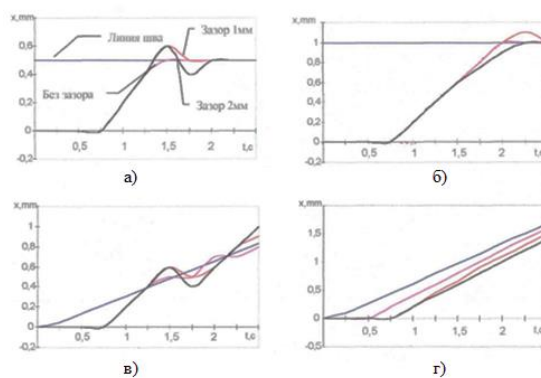


3.16 Сурет - Лонжерон

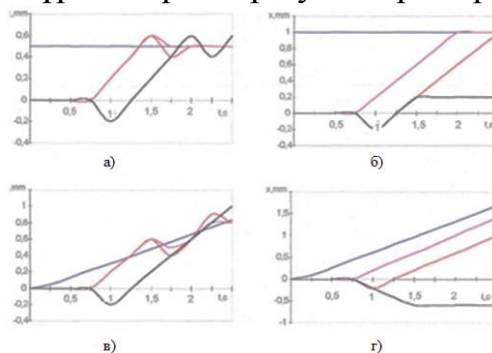
Рамалық конструкциялардың осындай ерекшеліктерінің салдары-бұл бөлшектердің өлшемдерінің кең таралуы, тігістердің жалпы ұзындығы, роботты құралға арналған кейбір элементтердің қол жетімділігі және т.б., дәнекерлеуді роботтауды қиындатады.

Мототехниканың рамалық конструкцияларын талдау сонымен қатар дәнекерлеудің ең көп таралған түрлері-кесілген таврлы және түйіспелі тігістер екенін көрсетті.

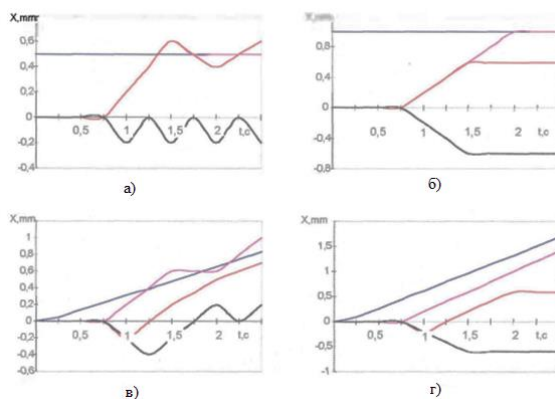
Графиктерден бөлшектер арасындағы алшақтықтың ұлғаюымен өтпелі уақыттың ұзаруы байқалады, ал кейбір жағдайларда жүйе жұмыс істемейтін болып көрінеді. Бұл бейне сенсорды алшақтық аймағында тапқан кезде түзету сигналын қалыптастыру үшін қажет ақпараттық компонент аз мәнге ие болатындығына байланысты.



3.17 Сурет - Кесу бұрыштары бар буындарға арналған модельдеу



3.18 Сурет - Кесу бұрыштары бар буындарға арналған модельдеу



3.19 Сурет - Кесу бұрыштары бар буындарға арналған модельдеу

Түзету жүйесі келесі жағдайларда тігістің ауытқуын пысықтау мүмкін емес:

- 2 мм саңылау және 1 мм бастапқы ауытқу кезінде, егер кесу бұрышы 90° және одан аз болса, ал көмір 60° және 0,5 мм-ден артық ауытқу болса.
- егер кесу бұрышы 60° қалдырса, 1 мм бос және 1 мм бастапқы ауытқу кезінде.

- 10° бұрыштық ауытқу кезінде, егер 1 - бөлімнің саңылауы мен бұрышы сәйкесінше 2 мм және 90° болса, ал 60° кесу кезінде-1 мм-ден асатын алшақтық болса.

- 5° - тан жоғары бұрыштық ауытқуларда, егер алшақтық 2 мм болса және кесу бұрышы 60° болса.

Осылайша, жүргізілген модельдеуге сүйене отырып, дәнекерленген өнімдердің параметрлері және оларды орнатуға қойылатын талаптар туралы қорытынды жасаймын. Дәнекерлеу процесіне қойылатын технологиялық талаптар (бейне сенсорлық жүйесі бар қыздырғыштың жиілігі мен амплитудасы) адаптивті роботты доғалық дәнекерлеу мүмкін:

- кезінде зазоре арасындағы свариваемыми бөлшектермен 1мм-ге дейін
- 60-120° кесу бұрыштарында
- тігіс сызығының бастапқы ауытқуы 1 мм-ге дейін, бұрыштық-10° дейін.

3.7 Дәнекерлеуді роботтандыру мақсатында мототехниканың рамалары конструкцияларының технологиялылығын арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу

Құрылымдардың тиімділігін қамтамасыз ету жөніндегі техникалық шешімдердің негізгі мақсаты өндірістің нақты ерекшеліктері мен пайдалану жағдайларын ескере отырып, өнімді әзірлеу, өндіру және пайдалану процесінде әр түрлі экономикалық ресурстарды ұтымды пайдаланудың алғышарттарын жасау болып табылады. Құрылымды технологиялыққа дайындау жан-жақты жүзеге асырылады: бөлшектер, құрастыру бірліктері және тұтастай алғанда бұйымдар деңгейінде. Өнімнің жарамдылығын қамтамасыз етудің міндетті шарты-бұл өнімнің дизайнына және оған кіретін құрастыру қондырғылары мен бөлшектеріне қойылатын бірқатар талаптарды орындау. Бұл талаптардың негізгі ережелері дизайндағы келесі қасиеттердің болуына байланысты:

- бұйымдарды және олардың құрамдас бөліктерін бөлудің, құрастырудың, сондай-ақ қолданылатын дайындамалардың типін таңдаудың ұтымдылығы;
- құрылымдық және технологиялық сабақтастық, біріздендіру және стандарттау принциптерін кеңінен қолдану;
- қолданылатын материалдардың маркалары мен сұрыпталымдарының санын ұтымды шектеу;
- бөлшектерді өңдеу кезінде олардың орналасу ыңғайлылығын қамтамасыз ету және құрылымның жеткілікті қаттылығына қол жеткізу;
- өңделетін беттер түрлерінің әртүрлілігін және бөлшектің конструкциясының бір типті элементтерінің геометриялық өлшемдерін азайту;
- құрастыру бірліктері мен бөлшектерінің конструкциясын барынша оңайлату;
- өнімнің материал сыйымдылығының төмендеуі;
- пайдалану процесінде техникалық қызмет көрсету, жөндеу ыңғайлылығы;

- прогрессивті технологиялық процестерді, жоғары өнімді жабдықтарды және еңбекті ұйымдастырудың жетілдірілген әдістерін қолдану мүмкіндігі.

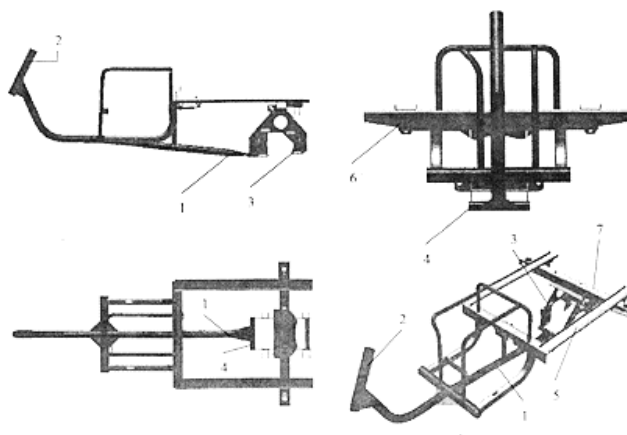
3.13 Кесте – Ұсынылған роботтың параметрлері

Құрастыру бірлігі	Дәнекерлеу жіктерінің жиынтық ұзындығы, мм		Дәнекерлеу уақыты, с *	
Рама (жалпы)	860	920	116	122
Балка	2175	1500	248	180
Оң жақ құбыр	1050	620	135	92
Сол жақ құбыр	590	590	89	89
Рамка	1470	1470	177	177
Жоғарғы бөгеті	70	70	20	20
Төменгі бөгеті	70	70	20	20
Барлығы	6285	5240	784	680

* Қолданыстағы дизайн үшін роботты дәнекерлеу уақыты тігістердің ұзындығына есептелген шартты болып табылады.

- қозғалтқыштың алдыңғы бөлігін раманың қосалқы бөлігіне бекіту.

Сондай-ақ, бөліктердің жалпы саны және дәнекерленген жіктердің жалпы ұзындығы азаяды.



3.20 Сурет - Жүк мотороллерінің рамасының модификацияланған дизайны

Мотоцикл жақтауының дизайнын жақсарту үшін жасалған талдау келесі құрастыру бірліктерін бөлуге мүмкіндік береді:

- рама (жалпы дәнекерлеу), тігістердің ұзындығы 920 мм, дәнекерлеу уақыты 10 мм / с жылдамдықта және роботтың бір тігістен екіншісіне өту ұзақтығы 3-4 с 122 с;

- Арқалық, тігістердің ұзындығы 1500 мм, дәнекерлеу уақыты 180 с;

- оң құбыр, - тиісінше 620 мм және 92 с;

- сол жақ құбыр, - тиісінше 590 мм және 89 с;

- рамка, - тиісінше 1470 мм және 177 с;

- жоғарғы және төменгі бөгеттер, - әрқайсысы 70 мм және 20 с;

Құрастыру қондырғыларына қабылданған бөлу дәнекерлеу РТК-нің оңтайлы жүктелуіне ықпал етпейді, сондықтан оларды кеңейту және дәнекерлеу жұмысының жалпы ұзақтығына сәйкес біркелкі бөлуді алу үшін құрастыру қондырғыларының бір бөлігін біріктіру қажет. Келесі құрастыру бірліктеріне және, тиісінше, бір РТК-да орындалатын операцияларға бөлу орынды болып көрінеді:

- Арқалық-180 с;
- рамка -177 с;
- рамка (екі құбырды, секіргіштерді, Арқалық пен раманы дәнекерлеу арқылы) - барлығы 351 с.

Жүк мотороллерінің рамалық конструкциясының тиімділігін арттыру үшін жетілдірілген қолдану келесі үлкен құрастыру бірліктерін бөлуді қамтиды:

- қорап, тігістердің ұзындығы 770 мм, дәнекерлеу уақыты 150 с;
- қорабы бар лонжерон, тігістерінің ұзындығы 980 мм, дәнекерлеу уақыты 170 с;

- 'отырғыш бөлігі, тігістердің ұзындығы 1750 мм, дәнекерлеу уақыты 350 с;

- алдыңғы бөлігі (көлденең құбырсыз), тігістердің ұзындығы 950 мм, екі кезеңде дәнекерлеу уақыты 210 с; 2 кезең-1 кезеңнің тігістерінің үстінен орамалдарды дәнекерлеу;

- лонжероны бар орындықты бөлік, тігістердің ұзындығы 1800 мм, дәнекерлеу уақыты 360 с;

- рамка (алдыңғы бөлігінің құбырымен отырғыш бөлігін дәнекерлеу), тігістердің ұзындығы 350 мм, екі кезеңде дәнекерлеу уақыты 100 с; 2 - кезең-орамалды 1-кезеңнің тігістерінің үстінен дәнекерлеу.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты - жабдықты басқару тиімділігін арттыру арқылы роботты доғалық дәнекерлеудің сапасын арттыру және Робот манипуляторын дәнекерленген бөлшектердің орналасу қателіктеріне бейімдеу құралдарын қолдану.

Дипломдық жұмыс үш бөлімнен тұрады. Бірінші бөлімде доғалық дәнекерлеу процестерін автоматтандыру саласындағы заманауи ғылыми және техникалық жағдайға талдау жасалады, дәнекерлеу процесіне әсер ететін бұзылулар, өнеркәсіптік роботтарды осы бұзылуларға бейімдеу құралдары қарастырылған, бейне сенсорлық жүйелерді құру принциптері ұсынылған және жұмыс міндеттері тұжырымдалған.

Екінші бөлімде бейнесенсорлық жүйенің жұмыс істеуінің математикалық сипаттамасы жасалды, оның жұмыс принципі шағылысқан сәулеленуді өңдеуге негізделген. Түйіспеге қатысты дәнекерлеу алауының орнын сипаттайтын сигналдарға шағылысқан сәулеленуді түрлендіруді қамтамасыз ететін фотоэлектрондық түрлендіргіш жасалды. Дәнекерленген бөліктердің беттерінің гетерогенді шағылысу қасиеттері бар буынды іздеуді қамтамасыз ететін алгоритм ұсынылған. Бейнесенсорлық жүйенің статикалық және динамикалық модельдері оны адаптивті РТК дәнекерлеудің кешенді математикалық моделіне қосуға жарамды.

Үшінші бөлімде алты сатылы өнеркәсіптік роботтың жұмыс істеу динамикасының математикалық моделі жасалды. Сандық модельдеу арқылы РТК дәнекерлеу, манипулятор және дәнекерлеу басының жағдайын түзету жүйесінің бөлігі ретінде бірлескен жұмыс зерттелді. Электродтың тербелісі мен түйісті кесу параметрлерінің бақылау жүйесінің динамикалық және статикалық сипаттамаларына әсері зерттелді. Дәнекерленетін бөліктердің буынына бейімделу жүйесі бар роботтың бақылау дәлдігіне мойын әсер ететін параметрлерді анықтау үшін РТК дәнекерлеудің толық математикалық моделіне факторлық талдау жасалады. Факторларды олардың түпкілікті нәтижеге әсер ету тәртібімен саралау жүргізілді. Факторлық талдау нәтижелері бойынша оңтайландыруды жобалау міндеттерін құру мүмкіндігі көрсетілген.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Robot intelligent welding programming based on line structure light sensing. Yao Xiao;Bo Zhou;Jiahui Xuan 2018 33rd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)
2. A calibration algorithm of the structured light vision for the arc welding robot Wen-Bo Li;Guang-Zhong Cao;Jun-Di Sun;Yu-Xin Liang;Su-Dan Huang 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)
3. Weld Seam Detection, Finding, and Setting of Process Parameters for Varying Weld Gap by the Utilization of Laser and Vision Sensor in Robotic Arc Welding Amruta Rout;B. B. V. L. Deepak;Bibhuti Bhusan Biswal;Golak B. Mahanta IEEE Transactions on Industrial Electronics
4. Бесекерский В.А., Попов е. п. автоматты реттеу жүйелерінің теориясы. - М.: Ғылым, 1975. - 768 Б.
5. Бухаров В. А. қорғаныс газдарында доғалық дәнекерлеуді басқару модельдерін әзірлеу // дәнекерлеу өндірісі, 1997, №2, -Б.15-18.
6. Гладков Э. А. дәнекерлеу процестерін автоматтандыру. I бөлім-М.: MVTU, 1976. -68с.
7. Гладков Э. А. дәнекерлеу процестерін автоматтандыру. II бөлім. - М.: MBTU, 1976. – 65 б.
8. СП Дегтерев, М. П. Зайцев, М.М. Иншаков және т. б. дәнекерлеу басының қозғалысын басқару жүйесі // электр өнеркәсібі. Электрмен дәнекерлеу. -1983. - №2. - С. 15-17.
9. Догановский с.а. кідірту құрылғылары және оларды автоматты жүйелерде қолдану. -М.: Машина жасау, 1986, 278 б.
10. Евсюков В.В. дәнекерленген бөліктердің түйісу координаталарын анықтаудағы қателік компоненттерін талдау. // Алгоритмдер және мамандандырылған есептеу құрылғыларының құрылымдары. Тула, ТПИ, 1980, Б.78-84.
11. Евсюков В. В. дәнекерлеу электродының мақсатты қозғалысының параметрлерін анықтайтын ақпараттық-өлшеу жүйесі. // Алгоритмдер және мамандандырылған есептеу жүйелерінің құрылымдары. Тула, 1981, 0.145-152.
12. Евсюков В.В. дәнекерлеу роботын басқаруға арналған стохастикалық буын моделін жасау. // Дәнекерлеу өндірісінің технологиялық дайындығын автоматтандыру. Тула, ТПИ, 1986, Б.90-94.
13. Жилкин А.М. контактісіз оптикалық-электронды позиция түрлендіргіштері. // Оптика-механикалық өнеркәсіп, -1987, - №6,-С.58-64.
14. Ищенко Е. Ф., Климов Ю. М. оптикалық кванттық генераторлар. - М.: Үкі.радио, 1978,470 Б.
15. Коренькова Г. А. дәнекерленген бөліктердің түйісуін тану. // Дәнекерлеу процестерін басқару. Тула, ТПИ, 1983, С.92-96.
16. Курапаткин П. В. оңтайлы және бейімделгіш жүйелер. - М.: Жоғары Мектеп, 1980. - 287 б.

17. Куркин Н.С., Панкратов с., Фишкис М. М. доғалық дәнекерлеуге арналған өнеркәсіптік роботтарды қолдану тәжірибесі // дәнекерлеу өндірісі. - 1985. -№1. -Б.27-28.
18. Лесков Г. И. электр дәнекерлеу доғасы. -М.: Машина Жасау, 1970. - 335 Б.
19. Лимаренко Д. П. жоғары технологиялық емес конструкцияларды жобалауды автоматтандыру, // Междунар. ғылыми.- техн. конф. Аспап Жасау-97: Тез. докл. - Симеиз, 1997. - 1 бөлім. - Б.215-216.
20. Логвинов В.Н. дәнекерленген жиектердің буынын тану кезінде лазерді қолдану. // Дәнекерлеу процестерін басқару. Тула, ТПИ, 1980, 0.115-124.
21. Логвинов В.Н. электрод тоғысының автоматты бағыттау жүйесі. // Технологиялық процестерді оңтайлы басқарудың автоматты жүйелері. Тула, ТулПИ, 1988, Б.126-129.
22. Лумельский В.Я. кездейсоқ процестің қасиеттерінің өзгеру сәтін анықтаудың бір алгоритмі. // Автоматика және телемеханика, - 1982, - №10,-с.67-73.
23. Львов Н.С. кеңсені Автоматтандыру және дәнекерлеу процестерін реттеу. - М.: Машина Жасау. 1973. - 128 б.
24. Львов Н. С.дәнекерлеу басының буынға бағытын автоматтандыру. - М.: Машина Жасау. 1966. - 156 б.
25. Львов Н.С., Гладков э. а. дәнекерлеу процестерін автоматтандыру және автоматтандыру. - М.: Машина Жасау, 1982. - 302 б.
26. Мазель а. г. дәнекерлеу доғасының технологиялық қасиеттері. - М.: Машина Жасау, 1969. - 178 б. ,
27. Мельбард С. Н., Красильников Б. и., Ермолов М. И. және т. б. қыздырғыштың қозғалысын бақылау жүйелері //автоматты дәнекерлеу. - 1984. - №2.-0.64-68.
28. Манипуляциялық жүйелер механикасы: оқу. оқу құралы / В. Б. Пенков; Тул. политехи, Ин-т. Тула, 1990. -100с.
29. Мошиц г., Хорн П.белсенді сүзгілерді жобалау / Пер. ағылшын тілінен. М. н. Микшиса және И.Н. Теплюк. Под ред. И. Н. Теплюка. - М.: Элем, 1984. - 320 Б.
30. Мучник Р. Б. қисықтардың тән аймақтарын және олардың өзара орналасуын анықтау және талдау алгоритмдері. // Техникалық кибернетика. Каунас, 1970, 0.196-204.
31. Николаев Г.А., Куркин С. А., Винокуров В. А. дәнекерленген құрылымдарды есептеу, жобалау және өндіру. - М.: Жоғары мектеп, 1971. - 760 Б.
32. Нуждихин в.г., Лимаренко Д. П. өнеркәсіптік роботты бейімдеу жүйесі үшін доғалық дәнекерлеу процесінің моделін жасау // автоматтандыру және заманауи технологиялар. - 1999. - № 3. - Б.17-20.
33. Панарин В.М., Карпов В. С., дәнекерлеу процестерін модельдеу және электр доғалы дәнекерлеуге арналған екінші буын роботтарын бейімдеу

жүйелері // дәнекерлеу технологиясының компьютерлік модельдері. - Тула: ТПИ, 1990. -С. 26-34.

34. Панарин В.М., Карпов В. С., Тинких О. Е. электр доғалы дәнекерлеуге арналған өнеркәсіптік роботты басқару жүйесі // дәнекерлеу өндірісі. -1994. - №3.-С. 31-33.

35. Патон Б. Е., спину Г.А., Киселевский Ф. Н. және дәнекерлеудегі басқа Роботтар. Дәнекерлеу және арнайы. электрометаллургия. - Киев: Наукова думка, 1984. - Б.228-243.

36. Свевалов В.В. дәнекерленген түйісті іздеуді ұйымдастыру. // Дәнекерлеу процестерін басқару. Тула, ТПИ, 1982, Б.126-132.

37. Субсевалов в.в. оптикалық өлшеу жүйесін дамыту және зерттеу. // Градиент оптика элементтерін әзірлеу. Тула, 1979, Б.93-100.

38. Ратнер А. М. лазерлердің спектрлік, кеңістіктік және уақыттық сипаттамалары. -М.: Үкі.радио, 1988, 202 б.

39. Робототехника. / Под. ред. Е. П. Попов және Е. и. Юревич. - М: Машина Жасау, 1984. -288 Б.

40. Теориялық фотометрия. -Л.: Ғылым, 1987.

41. Дәнекерлеу роботтары / астында. Ред. Г. Гердена. - М.: Машина Жасау, 1988. -288 Б.

42. Сергацкой Г. И., Коротун Ю. М. дәнекерлеу желісін автоматты түрде көшіру әдістері // Автоматты дәнекерлеу. - 1981. - №5. - 38-43 б.

43. Сергацкий Г. И., Родичев СИ. Кешіктіріп Автоматты көшіру жүйелерін зерттеу // Автоматты дәнекерлеу. - 1982. - №6. - 37-41 б.

44. Сезімтал жүйелер және бейімделгіш өнеркәсіптік роботтар. /Под. ред. Е. П. Попова. - М.: Машина Жасау, 1985. - 256 б.

45. Кемеші В.А., Ерофеев В. А., Зенглевский Л. А. саңылауларды кесуге доғалық дәнекерлеу кезінде тігісті зерттеу және қалыптастыру. Балқитын электродпен Плазмалық және доғалық дәнекерлеудің компьютерлік моделі // дәнекерлеу технологиясының компьютерлік модельдері. - Тула: ТулПИ, 1990, 17-26 Б.

46. Бұл ретте, дәнекерлеу өндірісін роботтандыру: Техника, 1988. - 175 б.

47. Тимченко В. А., Дубовецкий Сент. роботтармен доғалық дәнекерлеудің кейбір технологиялық ерекшеліктері. // Автоматты дәнекерлеу. -1984. - №6,-44-52 с.

48. Тимченко в.а., Цыбулькин Г. А., Власов О. в. дәнекерлеу доғасын РМ-01 өнеркәсіптік роботын "сезіну" үшін ақпарат көзі ретінде пайдалану. // Автоматты дәнекерлеу. - 1990. - №10. - 69 - 72 б.

49. Титов Н. И. Кешіктірілген жүйелерді модельдеу: Энергия, 1989, 97 б.

50.Холокнова Н. В.дәнекерленген бөлшектердің түйісуін тану кезінде сәуле қабылдағыштың қозғалысын талдау. // Алгоритмдер және мамандандырылған есептеу құрылғыларының құрылымдары. Тула, 1984, 118-124 Б.

51. Трефилов в.ф., Коробко г. И. адаптивті дәнекерлеу роботын басқару жүйесі // дәнекерлеу өндірісі. - 1981. - №10. - 5-7 б.

52. Трефилов в.ф., Коробко г. И., Култыгин Ю. И. доғаны магниттік басқаруға негізделген түйісу сенсоры // дәнекерлеу өндірісі. - 1985. - №6.-24-25 б.

53. Ту Дж., Гонсалес р. үлгіні тану принциптері. М.: ғылым, 1988, 411 б.

54. Тұйық н. г. түйісу бойынша электродты автоматты бағыттау жүйесі. // Алгоритмдер және мамандандырылған есептеу құрылғыларының құрылымдары. Тула, ТПИ, 1981, 124-127 Б.

55. Фу К., Гонсалес Р., Ли К., Робототехника: Пер. ағылшын тілінен. - М. - : Әлем, 1989. -634 Б.