

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Иматаев Ержан Кубейұлы

«Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелет құрастыру»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



SATBAYEV  
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ**

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі  
техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов  
«23» мамыр 2020 ж.

## ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелет құрастыру»

5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындады

Иматаев Ержан

Ғылыми жетекшісі  
профессордың ассистенті, к.т.н.

Тулешов Е.А.

« 23 » мамыр 2020 ж.

Алматы 2020



SATBAYEV  
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

**БЕКІТЕМІН**

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі  
техника ғылым кандидаты



Қ.А. Ожикенов  
«23» қаңтар 2020 ж.

### **ТАПСЫРМА**

#### **дипломдық жұмысты орындауға**

Білім алушыға Иматаев Ержан Кубейұлы

Тақырыбы: Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелет құрастыру

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген №726-б «27» қаңтар 2020 ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелет құрастыру әзірлеу болып табылады, Proteus бағдарламасында функционалдық сұлбасын құрып, зерттеу.

Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

- а) Экзоскелеттің басқару құрылымын құрастыру;
- б) Экзоскелеттің қозғалыс динамикасын анықтау;
- в) Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелеттің прототипінің 3D моделін әзірлеу;
- г) Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелеттің функционалдық схемасын тұрғызу;

Графикалық материалдың тізбегі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

8 слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 20 әдебиеттер тізімі


## Дипломдық жобаны дайындау

### КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертпелер
Теориялық бөлім	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Есептеу бөлімі	22.01 – 15.02.2020 ж.	Орындалды
Бағдарламалық бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Зерттеу бөлімі	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды
Қорытынды бөлім	15.03 – 20.04.2020 ж.	Орындалды

Аяқталған дипломдық жобаға және оған қытысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының

### ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекшілер, кеңесшілер, (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Қалып бақылаушы	Е.А. Тулешов, профессордың ассистенті, к.т.н.	23.05.2020 ж.	

Ғылыми жетекшісі



Тулешов Е.А.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Иматаев Е.К.

Күні «23» мамыр 2020 ж.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста жауынгердің тиімділігін арттыру үшін әскери мақсаттағы экзоскелетті әзірлеу тақырыбы қозғалды. Жұмыс жасау барысында соғыс жағдайындағы экзоскелеттің басқару құрылымы негізінде экзоскелеттің функционалдық сұлбасы келтірілді. Экзоскелеттің қозғалыс динамикасы келтіріліп, экзоскелет прототипінің 3D моделі жасалды. Отандық әскери салаға экзоскелеттерді одан әрі енгізу қажеттілігіне назар аударылды.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе затрагивается тема разработки экзоскелета военного назначения, для увеличения эффективности пешего бойца. В ходе выполнения работы была приведена функциональная схема экзоскелета на основе структуры управления экзоскелетом военного назначения. Приведена динамика движения экзоскелета, разработана 3D модель экзоскелетного прототипа. Особое внимание было уделено необходимости дальнейшего внедрения экзоскелетов в отечественную военную сферу.

## ABSTRACT

In this diploma project work refers to the theme of development of the exoskeleton for military use, to increase the efficiency of the soldier. In the course of the work, a functional diagram of the exoskeleton was given based on the control structure of the military exoskeleton. The dynamics of the exoskeleton movement is shown, and a 3D model of the exoskeletal prototype is developed. Special attention was paid to the need for further implementation of exoskeletons in the domestic military sphere.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Экзоскелет	10
1.1 Экзоскелеттің даму тарихына шолу	10
1.1.1 Қазіргі ресейлік экзоскелет	14
1.2 Әскери қызметтегі экзоскелет	15
1.3 Биомеханиканың негізгі ережелері	16
1.4 Экзоскелетті басқару құрылымы	19
2 Экзоскелеттің қозғалыс динамикасы	20
2.1 Зерттеу құрылғысы мен әдістері	20
2.2 Қозғалыс теңдеуі және динамикалық сипаттамалары	21
2.3 Жалпы модельді құру	23
2.3.1 Экзоскелеттің қозғалысын гидрожетек арқылы басқару	23
2.3.2 Жалпы моделін құру барысындағы есептеулер	25
3 Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелетті іске қосу	26
3.1 Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелеттің 3D моделі	26
3.2 Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелетті бағдарламалау және функционалдық сұлбасы	29
Қорытынды	
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	



## КІРІСПЕ

Аяқтың экзоскелеті жүкті тасымалдаумен айналысатын адамдарға жүк көтергіштігін арттыру, аяқтың немесе арқаның жарақат алу ықтималдығын азайту, метаболикалық локомоторлы үнемдеуді жақсарту немесе қиындық деңгейін төмендету арқылы пайда әкелуі мүмкін,

Қазіргі уақытта экзоскелеттерді қолданудың басым салалары олар әскери өнеркәсіп және оңалту медицинасы болып табылады. Экзоскелеттер дайындық немесе әскери іс-қимылдар кезінде әскери қызметшілердің тиімділігін арттыру үшін қолданылады. Бүгінгі таңда біздің еліміздің әскери құрылымында сарбаздың жауынгерлік қабілетін немесе төзімділігін арттыратын әскери мақсаттағы экзоскелеттер әзірленбеді.

Дипломдық жұмыстың мақсаты: жүк көтергіштігін арттыратын әскери мақсаттағы экзоскелетті әзірлеу. Соғыс жағдайындағы экзоскелетті құрастыру мынадай тапсырмаларды қарастырады:

- экзоскелетті басқару құрылымын құрастыру;
- экзоскелеттің қозғалыс динамикасын анықтау;
- соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелеттің прототипінің 3D моделін әзірлеу;
- соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелетті қосудың функционалды схемасын құру.

## 1 Экзоскелет

### 1.1 Экзоскелеттің даму тарихына шолу

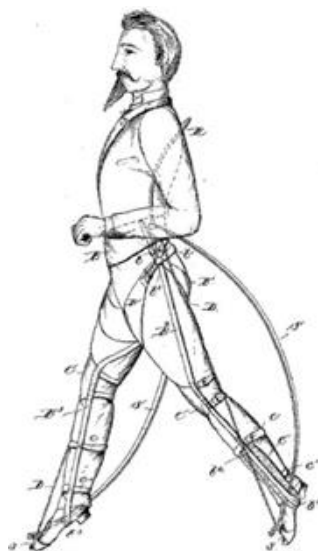
Экзоскелет (грек. экзо-сыртқы және акелетод-қаңқасы) – жоғалған функциялардың орнын толтыруға, адам бұлшық етінің күшін арттыруға және қозғалыс амплитудасының сыртқы қаңқасы мен жетекті бөліктері есебінен кеңейтуге арналған құрылғы. Экзоскелет адам биомеханикасын қозғалыс кезінде күштерді пропорционалды арттыру үшін қайталайды.[1]

Белсенді экзоскелеттерді жасау саласындағы зерттеулер 1960 жылдардың соңында, АҚШ-та және бұрынғы Югославияда бірнеше зерттеу топтары арасында параллельді түрде басталды. Экзоскелеттерді қолдануда бірнеше айырмашылықтар болды. Олар: мүмкіндіктері шектеулі адамдар үшін, көбінесе әскери мақсаттар үшін, мүмкіндігі шектеулі адамдарға көмекші технологияларды дамыту ретінде пайдаланылды.

Экзоскелеттер өнімділікті арттыруда сау адамдарға күрделі тапсырмаларды және басқаша орындауға болмайтын тапсырмаларды неғұрлым оңай орындауға мүмкіндік беру үшін жасалған.

Экзоскелеттердің екі түрі бар: пассивті экзоскелеттер, қоректену көзі жоқ және оператордың күшімен жұмыс істейтін және күш беретін (ағылш. powered) немесе жетекті, қозғалысқа арналған қосымша қозғалтқыштар қолданылады.

Пассивті экзоскелеттің атасы деп эластипедті санауға болады. (1.1-суретте бейнеленген.) Эластипед – жаяу жүруді, жүгіруді және секіруді жеңілдетуге арналған құрылғы әскери қолдануға арналған. Бұл өнертабыстың авторы орыс өнертапқышы Николай Александрович Ягн (1849 — 1905). XIX ғасырдың соңында ол пассивті экзоскелеттің "Эластипед" бірнеше модификациясын жасап патенттеді.[15]



1.1 сурет – Ягн құрылғысы

Экзоскелеттерді жобалаудағы бұл бағыт кейінірек Александр Боктың — powerbook немесе powerskip — тренажер-джампер ойлап табуында дамытылды.



1.2 сурет – А.Боктың құрылғысы

1963 жылы АҚШ армиясының баллистикалық лабораториясында Зарудный Владимир Семенович өзінің арнайы экзоскелет жұмысы туралы баяндады. Оның айтуынша ұсынылған экзоскелет жұмысқа қабілетті тасымалдаушының жүк көтеру қабілетін арттыруға арналғанын көрсетеді. Кейіннен Зарудный осындай құрылғыны іске асыруда төмендегі мәселелерді шеше бастады:

- портативті қуат көзін құру;
- адам интерфейсін жеке іске асыру;

Оның ұсынысы қаржылай қамтамасыз етіле алмағанына қарамастан, бұл есеп бірінші рет өнімділікті арттыру экзоскелеттерін құрудағы инженерлік қиындықтарды қарастырады.

1960 жылдардың соңында General Electric Research Cornell University зерттеушілері мен Құрама Штаттардың әскери-теңіз күштері басқармасының қаржылық қолдауымен Hardiman (Human Augmentation Research and Development Investigation) атты толыққанды экзоскелеттің прототипін жасады. Бұл экзоскелет орташа салмағы 700 кг дейін көтеруге мүмкіндік берді. Дегенмен, ол 750 кг салмаққа дейін көтерді.[2]



1.3 сурет –Hardiman экзоскелетінің жалпы көрінісі

Экзоскелетті күшейту жұмысында жұмыс жасауға негізгі ынталандыру ЕНРА (адамның өнімділігін арттыру үшін экзоскелеттер) деп аталатын DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) демеушілік бағдарламасынан келді. Бағдарламаның мақсаты жердегі жауынгерлердің қарапайым адамнан басқа мүмкіндіктерін арттыру болып табылады.

ЕНРА бағдарламасы кезінде үш институт жұмыс экзоскелеттерін көрсетті. Сондай-ақ басқа да көптеген институттар портативті қуат көздері сияқты технологияларға қатысқан. DARPA бағдарламасынан ең көрнекті экзоскелет BLEEX (Berkeley төменгі экстремалды экзоскелеттер) болды (1.4 – суретте бейнеленген). Бұл жобаның айрықша ерекшеліктерінің бірі - энергетикалық дербестігі немесе өзінің қуат көзі болуы мүмкін. Өзірлеушілер бұл бірінші зарядтаушы және қуатты автономды экзоскелет деп мәлімдеді.

BLEEX экзоскелеттік жүйесі сарбаздарға, қызметкерлерге табиғи апаттар жағдайында көмек көрсету бойынша, орман өрттері бар күресшілерге және басқа да шұғыл қызметтер қызметкерлеріне ұзақ уақыт бойы кез келген жерде аз күш-жігермен азық-түлік, құтқару жабдықтары, алғашқы көмек заттары, байланыс құралдары және қару сияқты негізгі жүктерді тасымалдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл құрылғының көрінісі-бұл өте маңызды жабдық үшін әмбебап көлік платформасын қамтамасыз етеді.[17]



1.4 сурет – BLEEX экзоскелеті

DARPA EHRA бағдарламасы бойынша Sarcos Research корпорациясы толыққанды экзоскелет бағытында жұмыс істеді. Ол WEAR (энергетикалық автономды робот) деп аталды. Атауынан көрініп тұрғандай, Саркос экзоскелеті энергетикалық тұрғыдан автономды, өзінің қуат көзіне ие. Берклидің экзоскелетіне ұқсайтын Саркос экзоскелеттің гидравликалық қозғалысының тұжырымдамасын ұсынды. Алайда, экзоскелетте күшейтілген буындарды құрылғысында тікелей лақтыруға, айналмалы гидравликалық жетектерді пайдаланады. Квазимемлекеттік пассивті экзоскелете тұжырымдамасы бағдарламасының DARPA EHRA екінші фазасында MIT (MIT экзоскелет) кезінде ықпал етті. Бұл тұжырымдама адамдардың жүруінің пассивті динамикасын қолдануды және жеңіл, тиімді экзоскелеттерді жасауды көздейді. MIT экзоскелетінде буындарға қуат қосу үшін ешқандай жетекті қолдануға болмайды. Оның орнына, даму сатылардың теріс фазалары кезінде толығымен бақыланатын босату энергиясына сүйенеді. Квазимемлекеттік пассивті экзоскелет элементтері адам жүрістерінің кинематика және кинетика талдау негізінде таңдап алынды (1.5-суретте көрсетілген).



1.5 сурет – метаболикалық тест кезіндегі mit экзоскелеті

### 1.1.1 Қазіргі ресейлік экзоскелет

Қазіргі уақытта ресейлік ExoAtlet – төменгі параплегиясы бар (аяқтардың локомоторлық функцияларының бұзылуы) адамдарды оңалту және әлеуметтік бейімдеу үшін медициналық экзоскелетті құру бойынша ресейлік жоба. Бұл экзоскелеттің әзірлеушілері ММУ механика ҒЗИ базасында жиналған ғалымдар тобы болып табылады. Қазіргі уақытта экзоскелеттің үш нұсқасы бар: ExoAtlet-P, ExoAtlet-A және ExoAtlet Med.

Бастапқыда пассивті экзоскелет ТЖМ қажеттілігі үшін, атап айтқанда, құтқарушылар мен өрт сөндірушілердің жұмысы үшін әзірленген.



1.6 сурет – ExoAtlet-P экзоскелеті

Ерекше конструкцияның арқасында бұл модификация қосымша қозғалтқыштарды немесе қоректендіру көздерін пайдаланбай, оператор 70-100 кг жүкті алып кете алатындай мүмкіндік берді. Жетектер мен қорек көздерінің болмауына байланысты, бұл құрылғының жұмыс уақыты тек оператор адамның тұрақтылығымен шектеледі. Экзоскелеттің бұл моделі «Кешенді қауіпсіздік 2013 VI Халықаралық салонында» ұсынылды және «Кешенді қауіпсіздік саласындағы үздік инновациялық шешімдер» номинациясы бойынша Алтын медальмен марапатталды. Бірінші қазіргі ресейлік экзоскелет РФ Қорғаныс министрлігінің "инновация күнінде" ұсынылды.

Ары қарай жетілдіру кезінде экзоскелеттің белсенді немесе күшті (powered) нұсқасы-ExoAtlet-A әзірленді. Бірақ экзоскелет ауыр болды, оның салмағы қуат көздерін есепке ала отырып, 28 кг-ға жуық болған. Бұл түрі еш жерде жоқ. Алайда, өндірушінің сайтында және әзірлеушілердің өтініштеріне

сәйкес мәлімдегеніндей, конструкцияда 6 гидрожетек пайдаланылды: әр бөлікке бір-бірден. Гидрожетектер тізе буындарында орналасқан қысым датчиктерімен іске қосылады.

2014 жылдың басында EhoAtlet Ehoatlet-Med атауын алған және локомотив қызметі мен тірек-қимыл аппараты бұзылған тұлғаларды оңалту үшін экзоскелеттің медициналық нұсқасын әзірлеудің басталғаны туралы жариялады.

Бірінші модельдің шығарылымы 2014 жылдың мамыр айының соңында қаралды. Экзоскелеттің медициналық нұсқасы электр жетектерде жұмыс істейтін болады және өздігінен жүріп-тұру қабілетін жоғалтқан адамдарға қайта оралуға мүмкіндік береді. Мұндай құрылғылар Еуропа, АҚШ, Жапония елдерінде оңалту үшін белсенді қолданылады. Ehoatlet-Med экзоскелеті 1.7-суретте көрсетілген.



1.7 сурет – EhoAtlet-Med экзоскелеті

## 1.2 Әскери мақсаттағы экзоскелеттер

Жабдықтауды жетілдірудің перспективалық бағыттарының бірі оның құрамына кәсіби қызметтің тиімділігін арттыруға ықпал ететін жаңа элементтерді біріктіру болып табылады. Бүгінгі күні осы бағыт шеңберінде әскери қызметшіні жаудың атыс әсерінің зақымдаушы факторларынан қорғау, сондай-ақ оның дене күші мен төзімділігін арттыру мүмкіндігі бар жеке



жауынгерлік жарактандырудың біріктірілген кешенін құру идеясы қалыптасты. Бұл ретте дене күшін және төзімділікті арттыру, сондай-ақ функционалдық мүмкіндіктерді кеңейту жөніндегі міндеттерді экзоскелетті конструкцияларды (экзоскелеттерді) жабдықтау кешені негізінде пайдалану есебінен шешу ұсынылады.

Экзоскелеттерді жасау саласындағы әлемдік ғылыми әзірлемелер туралы деректерді талдау әскери мақсаттағы экзоскелеттерді жасауға өсіп келе жатқан қызығушылықты көрсетеді (1.8 сурет). Жасалған және әзірленетін экзоскелеттер әрекет принципі мен конструктивтік орындалуы, қолданылатын жетектер мен қоректендіру көздері бойынша әртүрлі конструкциялардың көп түрлілігін ерекшелейді.



1.8 сурет – Қолданыстағы әскери мақсаттағы экзоскелеттер

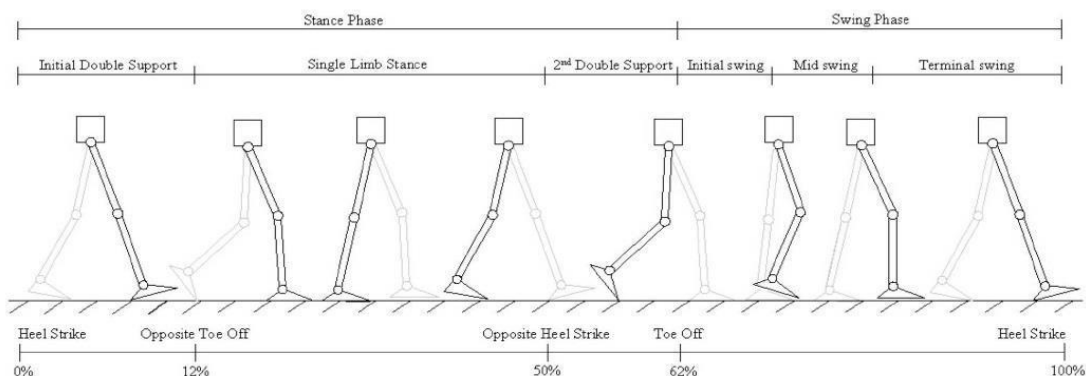
Жаяу жауынгер оның дене салмағының 80-100% асатын жүктерді әр түрлі қиын өтетін және күрделі жер учаскелері бойынша алып жүруге міндетті. Қосымша массаға жауап ретінде шаршау уақытының азаюы және тірек-қимыл аппаратының шамадан тыс пайдалану немесе созылмалы жарақаттарының таралуының артуы орын алады. Жауынгерлік іс-қимылдарға жаяу қатысушы қарулы қақтығыс шеңберінде жауынгерлік іс-қимылдарға тікелей қатысады, бұл жүктерді тасымалдаудың жағымсыз әсерін азайтуға және жауынгерлік іс-қимылдарды жүргізу кезінде олардың қабілетін арттыруға мүмкіндік береді. Солтүстік Атлант Шарты Ұйымы (САШҰ) демонстрацияланған жақын ұрыс үшін әлеуеттің бес негізгі саласын анықтады: мобильділік, өлім-жітім, өмір сүру, тұрақтылық және С4І (қолбасшылық, басқару, байланыс, Компьютерлер және барлау). Жүк тасымалдау кезінде қозғалушылықты арттыруға арналған экзоскелеттер жаяу сарбазға кез келген күрделі жерден жеңіл өтуге және сол арқылы өзінің географиялық ықпал ету саласын кеңейтуге мүмкіндік берер еді.

### 1.3 Биомеханиканың негізгі ережелері

Адам жүрісінің биомеханикасын түсіну экзоскелеттер мен аяқтар үшін белсенді корсеттер жасау кезінде шешуші мәнге ие. 1.9 суретте адам жүрісінің оңайлатылған схемасы көрсетілген. Жаяу жүру орын тұрақтылығын сақтай



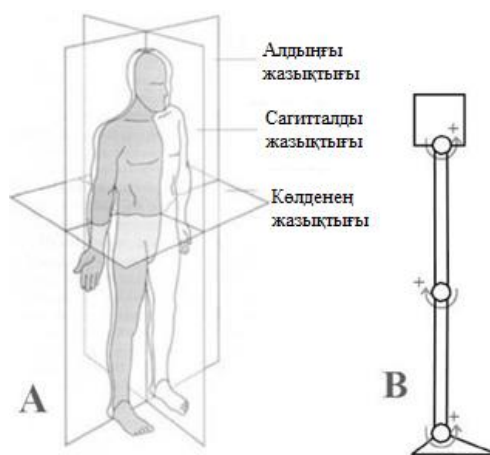
отырып, алға жылжу үшін аяқ қозғалысының қайталанатын кезектілігін пайдаланады. 1.9 суретте қарастырылатын цикл бір аяқтың өкшесімен беттің жанасу сәтінде басталады (0%) және аяқталады (100%). 1.9 суретте көрсетілген: *Stance Phase* – тірек фазасы, *Swing Phase* – аяқты алмастыру фазасы, *Initial Double Support* – бастапқы екі жақты фаза, *Single Limb Stance* – бір жақты фаза, қарастырылатын аяққа тірек фазасы, *2nd Double Support* – екінші екі жақты фаза, *Initial/Mid/Terminal Swing* – қарастырылатын аяқты алмастырудың бастапқы/орта/қорытынды фазасы, *Heel Strike* – табанмен жанасу, *Toe Off* – аяқтың ұшының жерден көтерілуі.



1.9 сурет – Адамның жүрісінің толық циклі

Сагитталды жазықтықта іске қосылатын экзоскелет тізде реттелетін демпфирлеуші механизмнен және тобықта серіппеден тұрады. 2 жамбас жетегі иесін алға жылжыту және экзоскелет массасының әсерін азайту үшін бүкіл жаяу цикл бойы қажетті моменттерге қуат қосуға мүмкіндік береді.

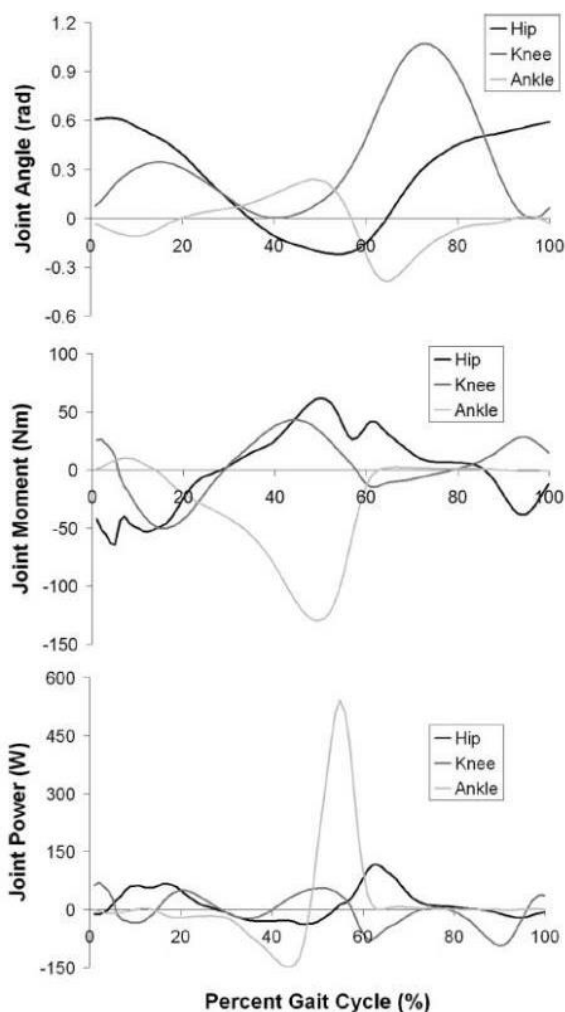
1.10 суретте адамның анатомиялық жазықтығы және адам қозғалысының басты жазықтығы болып табылатын сагитталды жазықтықтағы адам аяғының кинематикалық моделі бейнеленген.[12]



1.10 сурет – А-адамның анатомиялық жазықтығы моделі; Б-сагитталды жазықтықтағы аяқтың кинематикалық моделі

Осылайша, осы жазықтықта қозғалыс оң бағытта - бұғу, ал теріс бағытта – жазу болады. Санның короналды (фронталды) жазықтықтағы қозғалысы бұрылу (дененің ортасынан) және келтіру деп аталады. Бұдан басқа, сирақтабан буынының короналды жазықтықтағы қозғалысы (дененің ортасынан) және инверсия деп аталады. Сан мен тобық еркіндігінің қалған дәрежесі "айналмалы" деп аталады.

1.11 суретте 1.27 м/с жылдамдықпен жүретін қарапайым, сау адамға (82кг, 0.99 м – Аяқ ұзындығы, 28 жас, ер адам) биомеханикалық деректер көрсетілген және белгіленген: Joint Angle/Moment/Power - бұрыш/момент/қарастырылатын буындардың қуаты (Hip – жамбас, Knee – тізе, Ankle – тобық).



1.11 сурет – Бұғу/жазу кезінде аяқ буынының бұрыштары, моменттері және күші

Жаяу жүру деректері әртүрлі адамдар мен күйлер үшін біршама өзгеше болуы мүмкін, бірақ деректердің сапалық сипаты бірдей болып қалады. Бұл деректер экзоскелеттердің және белсенді корсеттердің әрбір буынының тұтынылатын қуат мөлшерін түсіну үшін пайдалы. Жорық бойынша деректерден, атап айтқанда, төменгі жылдамдық кезінде жамбас қуаты оң

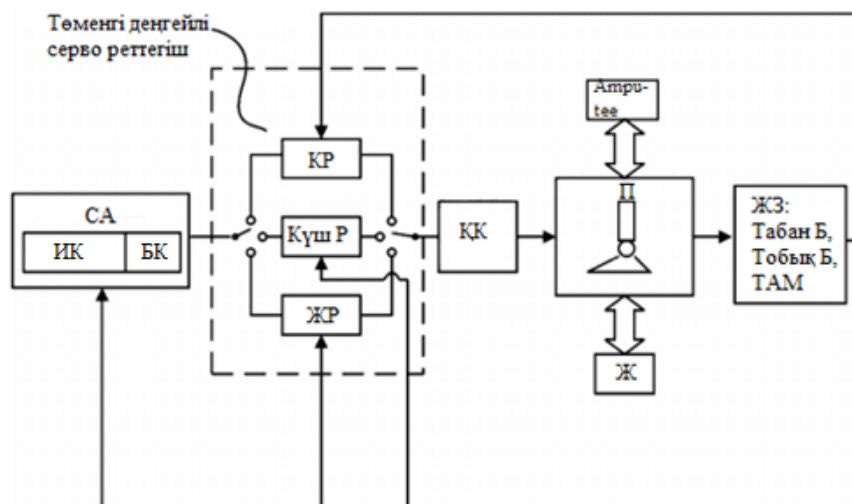
немесе нөлге жақын екенін көруге болады, тіздегі күш көбінесе теріс (қуат таратады), ал тобық күші оң және теріс мәндердің арасында біркелкі бөлінген.

#### 1.4 Экзоскелетті басқару құрылымы

Басқару жүйесінің жалпы архитектурасын қарастырайық. Басқару міндеттерін қамтамасыз ету үшін жүйенің төменгі деңгейдегі үш қосалқы реттеуші бар:[14]

- 1) тобық бүгілген кезде аяқты жерден жұлуға мүмкіндік беретін жоғары өнімді крутящего моментінің реттеуші.
- 2) тірек фазасы (stance phase) ішінде буындардың қаттылығын (қозғалмауын) анықтауға арналған кедергі реттегіші.
- 3) тасымалдау фазасы (swing phase) кезінде аяқтың орналасуын басқару үшін реттеуші.

Бұдан басқа, жоғары деңгейдегі бақылау жүйесі болуы қажет. Бұл берілген жағдайларда қажетті функцияларды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. 1.12 суретте көрсетілген: СА-соңғы автомат, low – level Servo Controllers-төменгі деңгейді реттегіш, КР-кедергі реттегіш, Күш Р-күш реттегіш, ЖР-жағдайды реттегіш, ҚК-қуатты күшейткіш (ИК-идентификация күй, БК-бақылау күйі, П-протез; Ж-жер, ЖЗ-жергілікті зондтау, Табан Б-табан байланыстары, Тобық Б-тобық бұрышы, ТАМ-Тобық айналу моменті).



1.12 сурет – Басқару жүйесінің архитектурасы

Басқару жүйесі төмен деңгейдегі үш қосалқы реттеушінен және соңғы автоматтың тұрады. Соңғы автомат екі бөліктен тұрады: идентификация күйінен және басқару күйінен. Бірінші бөлігі аяқтың ағымдағы жағдайын анықтау үшін, ал екінші бөлігі осы күй үшін алдын ала анықталған басқару процедурасын орындау үшін қолданылады.

## 2 Экзоскелеттің қозғалыс динамикасы

### 2.1 Зерттеу құрылғысы мен әдістері

Қадамды роботтарды басқарудың қолданбалы міндетін адам қызметінің көптеген салаларында табуға болады: робототехника, көлік, медицина.

Роботтардың жарқын мысалы – экзоскелет. Экзоскелеттер адамның қозғалыс қабілетін қалпына келтіру немесе күшейту үшін тиімді құрылғылардың бірі болып табылады. Олардың тиімділігі көп жағдайда екі ғылыми-техникалық міндеттерді шешудің табыстылығымен анықталады:

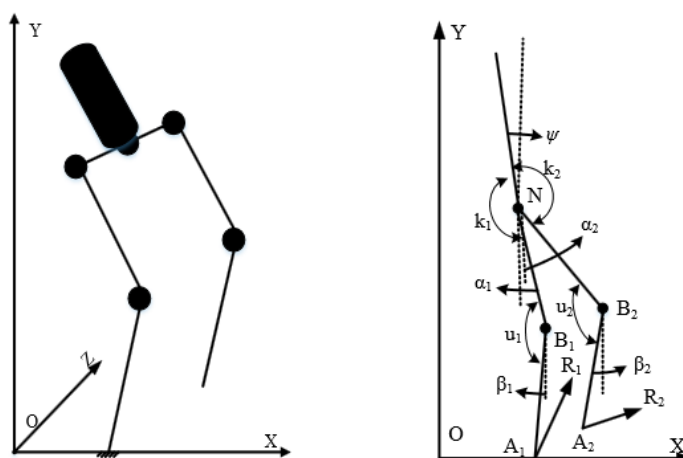
1. Экзоскелеттің қозғалыс динамикасының нақты математикалық моделін алу:

- қозғалу дәрежесі бойынша қозғалыстардың өзара байланысы;
- жетектердегі электромагниттік және механикалық процестердің өзара байланысы;

2. Экзоскелетті динамикасының ерекшеліктерін ескере отырып басқаруды құру.

Бұл тарауда бес жүйелі экзоскелеттің қозғалыс динамикасының моделі қарастырылады, оның көмегімен адам жүрісінің динамикасын жаңғыртуға болады, бұл өз кезегінде экзоскелеттерді тиімді басқаруды құруға мүмкіндік береді.

2.1 суретте екі жақты экзоскелеттің моделі мен сұлбасы бейнеленген, мұнда  $\psi$  – корпус пен тік арасындағы бұрыш;  $\alpha_i$  – жамбас пен тік арасындағы бұрыштар;  $\beta_i$  – балтыр мен тік арасындағы бұрыштар;  $u_i$ ,  $k_i$  – басқару моменттері, ол ішкі күш ретінде қарастырылады;  $R_1, R_2$  – аяқтың шетіне салынған сыртқы күштер. Бұл модель қатты инерциялық элементтерді қамтиды: корпус және екі бірдей аяқ. Әрбір аяқты қозғалудың екі дәрежесі бар – жамбас және жіліншік.



2.1 сурет – Екі жақты экзоскелеттің моделі мен схемасы

Келесі белгілерді енгіземіз:

$m_k, m_a, m_b$  – корпус, жамбас, балтыр массасы;

$l_k, l_a, l_b$  – корпус ұзындығы, жамбас, балтыр;

$r_k, r_a, r_b$  – жамбас-сан буынынан, тізе буынынан корпус массасының ортасына, сан массасының ортасына, жіліншік массасының ортасына дейінгі қашықтық;

$J_k, J_a, J_b$  – жамбас, балтыр корпусының Инерция моменті;

$g$  – ауырлық күшін жеделдету;

OXYZ-қозғалмайтын тікбұрышты координаттар жүйесі болсын. Экзоскелет OX осінің бойымен OXY жазықтығында қозғалады деп болжаймыз.

Қарастырылып отырған экзоскелеттің бес еркіндік дәрежесі бар. Q – тік буындарды құрайтын бұрыштардың жалпыланған координаттарының векторын таңдаймыз.

## 2.2 Қозғалыс теңдеуі және динамикалық сипаттамалары

Зерттелетін экзоскелеттің қозғалыс теңдеулерін формулада жазылған екінші текті Лагранж теңдеулері негізінде құрастырамыз (2.1):

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (2.1)$$

(2.1) теңдеулерде:  $q$  – жалпыланған координаттар векторы,  $Q$  – жалпыланған консервативті емес күштің векторы,  $L = T - P$  – Лагранж функциясы,  $T$  – кинетикалық энергия,  $P$  – потенциалды энергия жүйесі. Қарастырылып отырған жүйе үшін  $n = 5$ .

$T$  жүйесінің кинетикалық энергиясын табу үшін, әрбір буындағы кинетикалық энергияны жеке табамыз. Осылайша, жалпыланған координаттарда ол мына түрде:

$$T = \sum_{i=1}^5 T_i \quad (2.2)$$

$i$ -ші буын үшін кинетикалық энергия мына формула бойынша есептеледі:

$$T_i = \frac{m_i v_{ci}^2}{2} + \frac{J_i q_i^2}{2} \quad (2.3)$$

Орталық жылдамдық салмағы

$$v_{ci}^2 = v_{xci}^2 + v_{yci}^2 \quad (2.4)$$

Жүйенің потенциалды энергиясын мына түрде жазамыз.

$$P = \sum_{i=1}^5 P_i = \sum_{i=1}^5 m_i g y_{ci} \quad (2.5)$$

$$P = g \left[ M y + m_k r_k \cos \psi - \sum_{j=1}^2 \left( m_a r_a \cos a_j + m_b r_b \cos \beta_j \right) \right], \quad (2.6)$$

мұндағы

$x, y$  – аяқтың ілу нүктесінің декартты координаттары және (2.7) және (2.8) формулаларда көрсетілген, ал  $M$  – барлық бес звенолы механизмнің массасы:

$$x = x_{A1} - l_a \sin a_1 - l_b \sin \beta_1 = x_{A2} - l_a \sin a_2 - l_b \sin \beta_2 \quad (2.7)$$

$$y = y_{A1} + l_a \cos a_1 + l_b \cos \beta_1 = y_{A2} + l_a \cos a_2 + l_b \cos \beta_2 \quad (2.8)$$

$$M = m_k + 2m_a + 2m_b \quad (2.9)$$

Жалпыланған күштерді  $Q_i$  біз барлық күштің элементарлық жұмысынан  $\delta W$  табамыз:

$$\begin{aligned} Q_\psi &= -k_1 - k_2 \\ Q_{a_j} &= -u_j + k_j - l_a (R_{jx} \cos a_j + R_{jy} \sin a_j) \\ Q_{\beta_j} &= u_j + l_b (R_{jx} \cos \beta_j + R_{jy} \sin \beta_j); j = 1, 2. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Екінші ретті Лагранж дифференциалдық теңдеулер жүйесі (2.11):

$$\begin{aligned} Q_\psi &= J_r \ddot{\Psi} - g K_r \sin \Psi - K_r (\ddot{x} \cos \Psi + \ddot{y} \sin \Psi) \\ Q_{a_j} &= J_a \ddot{a}_j + K_a (\ddot{x} \cos a_j + \ddot{y} \sin a_j) + g K_a \sin a_j + I_{ab} [\ddot{\beta} \cos(a_j - \beta_j) - \beta_j^2 \sin(a_j - \beta_j)] \\ Q_{\beta_j} &= J_b \ddot{\beta}_j + K_b (\ddot{x} \cos \beta_j + \ddot{y} \sin \beta_j) + g K_b \sin \beta_j + I_{ab} [\ddot{a}_j \cos(a_j - \beta_j) - a_j^2 \sin(a_j - \beta_j)] \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$I_a = J_a + l_a^2 m_b; K_a = r_a (m_a + 2m_b); K_b = r_b m_b; I_{ab} = 2r_a r_b m_b; (j = 1, 2);$$

Механизм массасының орталығының координаттары  $x_c, y_c$ :

$$M_{x_c} = M x - m_k r_k \sin \Psi + \sum_{j=1}^2 \left( m_a r_a \sin a_j + m_b r_b \sin \beta_j \right) \quad (2.12)$$

$$M_{y_c} = M y - m_k r_k \cos \Psi + \sum_{j=1}^2 \left( m_a r_a \cos a_j + m_b r_b \cos \beta_j \right) \quad (2.13)$$

Механизм массасының орталығының қозғалыс теңдеуін осылай жазуға болады:

$$M\ddot{x}_c = R_{1x} + R_{2x} \quad (2.14)$$

$$M\ddot{y}_c = R_{1y} + R_{2y} - Mg \quad (2.15)$$

Роботтың буындарындағы басқару моменттерінің теңдеулері (2.16) формулаға сәйкес есептеледі:

$$k_j = F_{1j} + u_i - l_a (R_{jx} \cos a_j + R_{jy} \sin a_j)$$

$$u_j = F_{2j} - l_b (R_{jx} \cos \beta_j + R_{jy} \sin \beta_j);$$

$$F_{1j} = (J_a + l_a^2 m_b) \dot{a}_j + K_a (\ddot{x} \cos a_j + \ddot{y} \sin a_j) + gK_a \sin a_j + I_{ab} [\ddot{\beta}_j \cos(a_j - \beta_j) + \dot{\beta}_j^2 \sin(a_j - \beta_j)] \quad (2.16)$$

$$F_{2j} = J_b \ddot{\beta}_j + K_b (\ddot{x} \cos \beta_j + \ddot{y} \sin \beta_j) + gK_b \sin \beta_j + I_{ab} [\ddot{a}_j \cos(a_j - \beta_j) + \dot{a}_j^2 \sin(a_j - \beta_j)]$$

Адам жүргенде екі фаза, атап айтқанда – екі тіректі қозғалыс фазасы (қос тіректің фазасы) және бір тіректі қозғалыс фазасы (тасымалдау фазасы) ажыратылады. Екі аяқты қозғалыс кезінде екі аяқты да бетінде, бір аяқты кезінде – бір аяқты ғана бетінде-тіреуіш, ал екіншісі тасымалдау процесінде болады. Жүру кезінде бұл екі фаза кезектеседі. Мысалы, егер бірінші аяғы ( $j = 1$ ) тірек аяғы болса, онда  $R_{2x} = R_{2y} = 0$  және біз роботтың буындарында басқарушы моменттерді есептей аламыз.

Алайда, екі сатылы фазада осы сәттерді анықтау бір мәнді емес. Сегіз белгісіз анықтау үшін  $R_{jx}$ ,  $R_{jy}$ ,  $k_j$ ,  $u_j$  ( $j = 1, 2$ ) біз тек бес теңдеуді ғана орналастырамыз. Белгісіздердің бөлігін анықтау керек (жарты айналым әдісі), мысалы, екі тіректің бірінің күш реакциясын келесідей қоюға болады:

$$R_{2x} = a_1 + a_2 t + a_3 t^2 \quad (2.17)$$

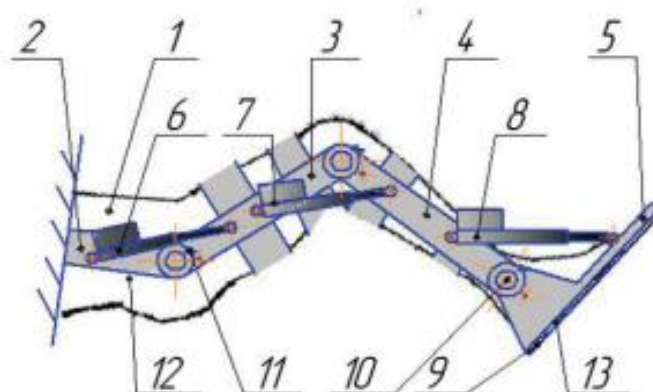
$$R_{2y} = b_1 + b_2 t + b_3 t^2 \quad (2.18)$$

Мұндағы  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  - уақыт параметрлерінен және екі сатылы фазаның соңында механизмнің қалаулы күйлерінен анықталған коэффициенттер.

## 2.3 Жалпы модельді құру

### 2.3.1 Экзоскелеттің қозғалысын гидрожетек арқылы басқару

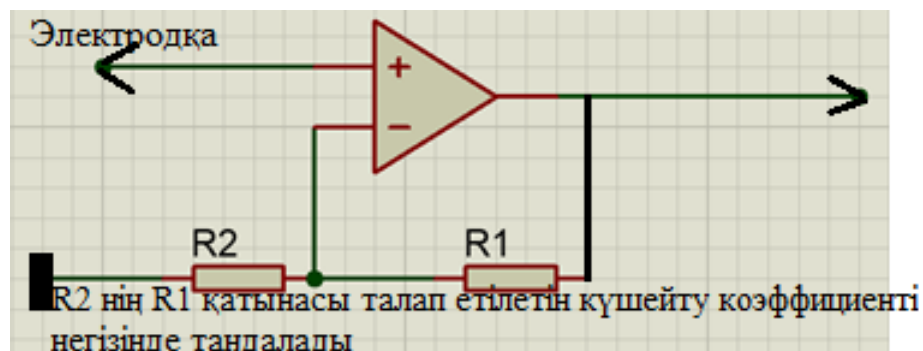
Гидротаратқышпен бақыланатын, оператор рычагтар жүйесі арқылы басқаратын, гидравликалық жетегі бар жүйе ұсынылады. Бар аналогтардан айырмашылығы, кое жүйесін әзірлеуде-оператордың бұлшық ет күштерін қандай буынды тораптар қозғайды. Омыртқаға, бұлшықетке және адам буындарына жүктемені төмендету үшін адам денесінің толық қаңқасы, тізе, және аяқ буындарындағы, бел бөлігіндегі қосымша гидроцилиндрлер пайдаланылады. Экзоскелеттің қаңқасы тығыз амортизациялайтын материалдан жасалады. Аяқ конструкциясының сызбасын 2.2 суретте қарастыруға болады.[13]



2.2 сурет – Адам экзоскелетінің аяқ конструкциясының сызбасы (бүйірдің түрі): 1 - адамның аяғы; 2 - тіреуіш; 3 - сан буыны; 4 - сирақ; 5 - табан; 6, 7, 8 - желілік қозғалу жетектері; 9 - резеңке табаны; 10 - бұрылу бұрышының датчигі (энкодер); 11 - сақтандырғыш ұштық датчигі; 12 - адамның аяғын нығайтуға арналған белдіктер; 13 - тірек өкшесіне жүктеме датчигі.

Басқару жүйесіндегі негізгі айырмашылық ол электрониканы қоспағанда, механизмдер негізінде құрылғаны болып табылады. Бұл жөндеу мүмкіндігін арттырады және өнімнің құнын төмендетеді. Күштік қондырғыда гидронасос білігінің қозғалуына әкелетін электр моторымен біріктірілетін шағын габаритті бензогенераторларды қолдануға болады. Бұл механизмді 12 клапанды гидротаратқыш көмегімен басқаруға болады. Су бөлгіш штоктарын қозғалысқа оператор бақылайтын тартпалардың көмегімен әкелуге болады, бұл дала жағдайында жөндеуді жеңілдетеді. Батареяны толық разрядтан қорғау және пайдаланушыны автономды жұмыстың қалған уақыты туралы хабардар ету үшін жүктеме және қуат кернеуін бақылау датчигі қосымша енгізілуі мүмкін. Үлгі схема 2.3-суретте көрсетілген.





Сурет 2.3 – Датчиктің схемасы

### 2.3.2 Жалпы моделін құру барысындағы есептеулер

Мехатрон жүйесінің жалпыланған координаталарының векторын енгіземіз:  $q^T = [q_M^T; q_D^T] \in R^{2n \times 1}$  механикалық  $q_M^T$  және электр  $q_D^T$  ауыспалы.

Лагранж–Максвелл теңдеулері формулада көрсетілгендей:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i; i = \overline{1, 2n}, (2.19)$$

Мұндағы  $L = T(q_i, \dot{q}_i) - P(q_i) + W_M(q_i) - W_D(q_i)$  - Лагранж - Максвелл функциясы;  $i = \overline{1, n}$ : -  $i$ -ші буынның бұрылу бұрышы;  $Q_i = M_i$  -  $i$ -ші буын күштерінің моменті;  $i = \overline{n+1, 2n}$ :  $\dot{q}_i = J_i$  -  $i$ -қозғалтқышының жалпы тогы;  $Q_i = U_i$  - электр кернеуі.

Егер  $i = \overline{1, n}$ : болса, онда  $M_i = M_{ДВ} + M_{собр}$  (2.20) формулада  $i$ -ші буынның айналмалы моментінің өрнегі жазылған:

$$M_{ДВ} = \frac{1}{2} \frac{d}{dq_i} L(q_i) J_j = \frac{1}{2} \frac{d}{dq} L(q_i) \dot{q}_{n+i} (2.20)$$

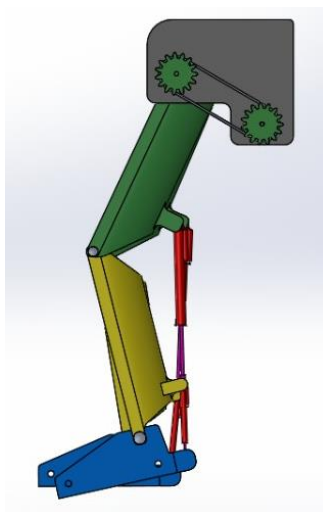
Мұндағы  $L$  индуктивтілік – электр бұрылысының функциясы,  $q_i$  қозғалтқыштың роторы болып табылады.

Лагранж-Максвелл теңдеулері есептеу үшін тікелей пайдаланыла алмайды. Мұндай объектілер үшін есептеу модельдерін алу қиын міндет болып табылады, өйткені мұны қолмен жасау мүмкін емес, ал модельдерді компьютерлік құрастыру әдістерінің көпшілігі классикалық механика шеңберімен шектеледі. Бұл жұмыста экзоскелет роботы қозғалысының компьютерлік моделін құру үшін монографияда егжей-тегжейлі сипатталған арнайы технологияны пайдалану ұсынылады.

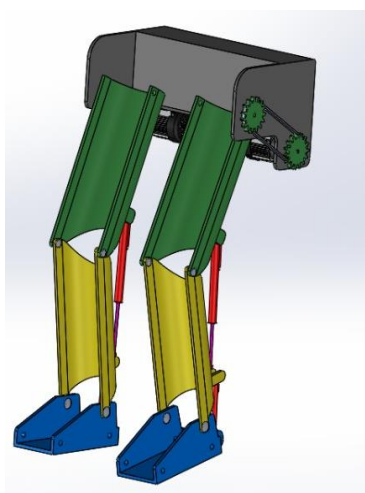
### 3 Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелетті іске қосу

#### 3.1 Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелеттің 3D моделі

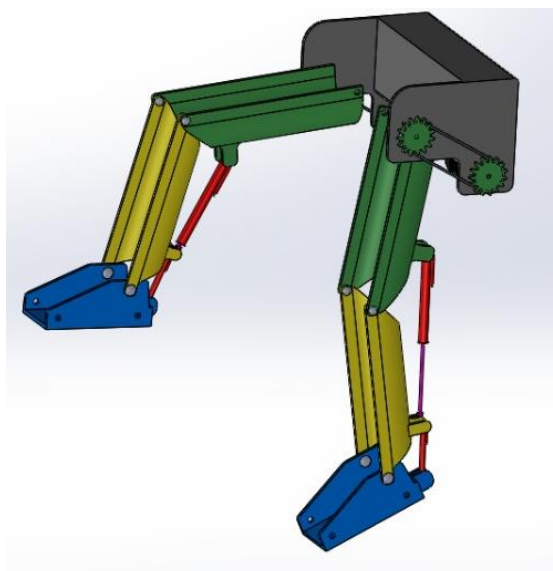
Жоғарыда жасалған барлық есептеулер негізінде SolidWorks бағдарламасында 3D моделін жасадық. SolidWorks (солидворкс, ағылш. Solid - қатты дене және work-жұмыс істеу) - өндірісті конструкторлық және технологиялық дайындау кезеңдерінде өнеркәсіптік кәсіпорынның жұмысын автоматтандыруға арналған АЖЖ бағдарламалық кешені. Күрделілік пен тағайындаудың кез келген дәрежедегі бұйымдарды әзірлеуді қамтамасыз ететін бағдарлама болып табылады.



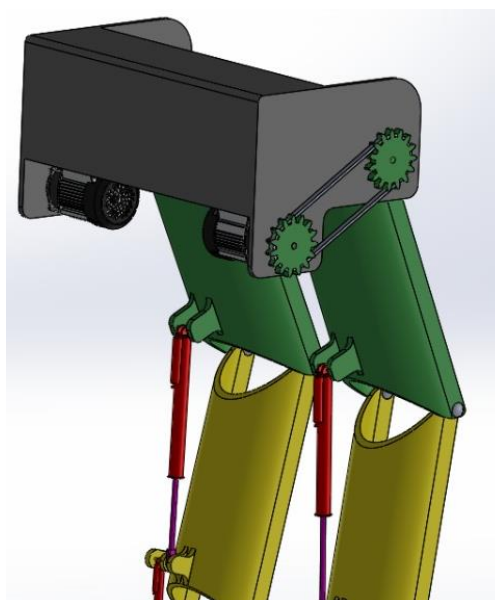
3.1 сурет – Экзоскелеттің жанынын қарағандағы 3D сұлбасы



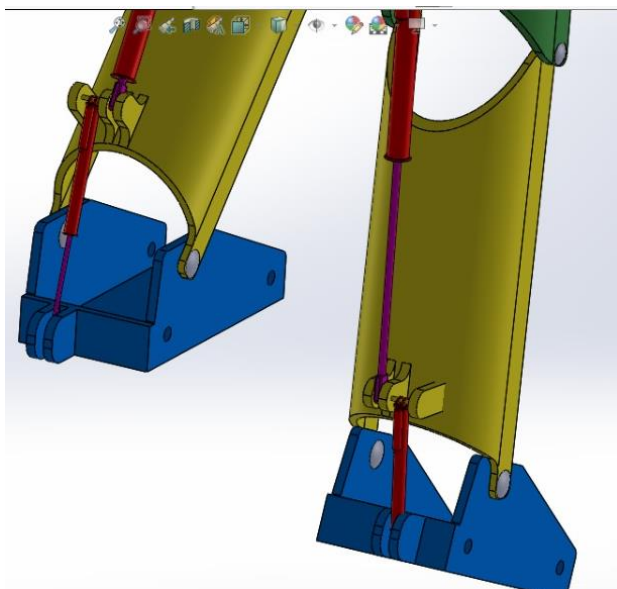
3.2 сурет – Экзоскелеттің 3D сұлбасы



3.3 сурет – Экзоскелеттің бүгілу-қозғалу процесі



3.4 сурет – Экзоскелеттің артынан қарағандағы 3D сұлбасы



3.5 сурет – Экзоскелеттің төменгі бөлігі

Бұл костюм оның иесіне белгілі күш-жігерсіз ондаған килограмм түрлі жүктерді тасымалдауға мүмкіндік береді. Біздің экзоскелет костюмді тиеу және тасымалдау кезінде 3 сарбазды алмастыра алады. Сонымен қатар, бірқатар басқа әзірлемелерден айырмашылығы, ол өзінің операторының қимылдарын тез арада игере алады, сондықтан экзоскелет ішіндегі адам өте күшті темірдің ішінде қысылып қалмайды. Экзоскелеттің дәлдігі оның операторына, тіпті футбол доптарымен ойнауға мүмкіндік береді. Экзоскелеттің салмағы 45 кг болса да, оператор адам үшін оның салмағы әдеттегі пиджак салмағынан аспайды. Бұл ретте жаңа әзірлеу энергияны аз пайдаланады — қоршаған ортаның жағымсыз әсеріне 50% және одан да төзімді.

- күшті және жылжымалы қаңқасы;
- гидравликалық поршеньдердің ең аз қажетті жиынтығы;
- екі вакуумдық сорғы, құбырмен жалғанған клапандар жүйесі бар;
- екі барокамералар;
- жоғары қысымға төзімді түтік;
- экзоскелеттің қуат көзі.

Клапандар жүйесін басқару үшін:

- Шағын компьютер;
- Клапандардың ашықтық деңгейіне пропорционал жеті деңгейлі 30-ға жуық датчиктер;
- Арнайы бағдарлама датчиктердің күйін санауға және клапандарға тиісті командаларды жіберуге қабілетті.

Мұның бәрі не үшін қажет:

- "Бұлшық ет" және қаңқасы, бұл барлық тірек қозғалтқыш аппараты.
- Вакуумдық сорғылар. Екі сорғы: біреуі барокамералар мен бұлшықеттердің қысымын арттыру үшін, екіншісі оны азайту үшін.

- Барокамералар түтікпен қосылған: біріншісінде қысым артады, екіншісінде төмендейді, ал түтікті екі жағдайда ғана ашылатын клапанмен жабдықтау керек: қысымды теңестіру және сұйықтықтың бос жүрісін қамтамасыз ету кезінде.
- Клапандар. Бұл барокамерадағы қысымға және компьютерді басқаруға байланысты болатын қарапайым және тиімді басқару жүйесі. Барокамерадағы қысымды арттыра отырып, "күш түсіретін бұлшық еттер" арналарының клапандарын ашып, экзоскелеттің (қаңқаның) бөліктерін қозғай отырып, гидравликалық поршеньге қысымды арттыра отырып, қандай да бір әрекеттерді жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Алға жылжитын аяқ ішінен экзоскелетке және оның ішкі жағындағы датчикке қысу үшін датчиктердің екеуі табанға, үшеуі аяққа, аяқ қозғалысына қарсы орналасады.

Бағдарлама бар Компьютер. Компьютер мен бағдарламаның басты міндеті датчиктер қысымға ұшырамайтындай етіп жасау, сол кезде адам ішіндегі экзоскелеттің артық кедергісін сезбейді, ол адамның қозғалысын жүйке, бұлшықеттердің белсенділігіне немесе қандай биометриялық көрсеткіштерге қарамастан қайталауға тырысады, осылайша жоғары технологиялық экзоскелеттерге қарағанда әлдеқайда арзан датчиктерді пайдалануға мүмкіндік береді. Компьютер үшін датчиктер сигналдары екі топқа бөлінуі тиіс: гидравликалық жүйені сөзсіз басқарумен және оған қарама-қарсы датчик сөзсіз басқарумен қысымға ұшырамаған жағдайда ғана қабылданатын.

Бұл адам өзі аяғын бүкпесе, тізе арқылы жерге тіреп, автоматты түрде бүгуден ұстап қалады. Бірақ ол үшін экзоскелеттің ішінде адамға аяқты жерден көтеру керек (немесе шарт бойынша жұмыс істейтін датчиктердің сезімталдығын бағдарламалық түрде төмендету керек мысалы, аяқтар: сигнал датчиктері алдыңғы жағынан, және артқы жағынан орналастыру қажет. Себебі: адам аяғын бүккенде, экзоскелеттің аяғы адамның бүкіл салмағы бүгілген аяқтың датчиктерінде болса да бүгіледі. Бұл жерде акселерометрдің (немесе басқа вестибулярлы аппараттың көмегімен) бағдарлама арқылы кеңістіктегі дененің жағдайына байланысты датчиктер сигналдарының сөзсіз өзгеруін орнатуға болады.

### 3.2 Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелетті бағдарламалау және функционалдық сұлбасы.

Сұлбаны тұрғызбас бұрын, экзоскелетті қозғалту үшін Arduino ide бағдарламасында C++ тілінде код жаздық. Arduino – аппараттық-есептеу платасына, Arduino контроллерге қосылған құрылғыларды басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу үшін орта болып табылады. Осы маңызды бөліктердің өзара әрекеттесуі негізінде, пайдаланушы сыртқы элементтерді

басқарудың қарапайым немесе күрделі алгоритмдерін жасай және өзгерте алады.

```

sketch_may15b
#include <AccelStepper.h> // Библиотека для управления двигателями
|
#define FULLSTEP 4 // полный шаг
#define HALFSTEP 8 // половина шага

#define motorPin1 2 // A пины для шаровых двигателей
#define motorPin2 3 // B
#define motorPin3 4 // C
#define motorPin4 5 // D

#define motorPin5 6 // E
#define motorPin6 7 // F
#define motorPin7 8 // G
#define motorPin8 9 // H

#define motorPin9 10 // J
#define motorPin10 11 // K
#define motorPin11 12 // L
#define motorPin12 13 // M

AccelStepper stepper1(HALFSTEP, motorPin1, motorPin3, motorPin2, motorPin4);
AccelStepper stepper2(HALFSTEP, motorPin5, motorPin7, motorPin6, motorPin8);
AccelStepper stepper3(HALFSTEP, motorPin9, motorPin11, motorPin10, motorPin12);
void setup()
{
Serial.begin(9600);
stepper1.setMaxSpeed(1000.0);
stepper1.setAcceleration(50.0);
stepper1.setSpeed(200);
stepper1.moveTo(2048);

stepper2.setMaxSpeed(1000.0);
stepper2.setAcceleration(50.0);
stepper2.setSpeed(200);
stepper2.moveTo(-2048);

stepper3.setMaxSpeed(1000.0);
stepper3.setAcceleration(50.0);
stepper3.setSpeed(200);
stepper3.moveTo(2048);

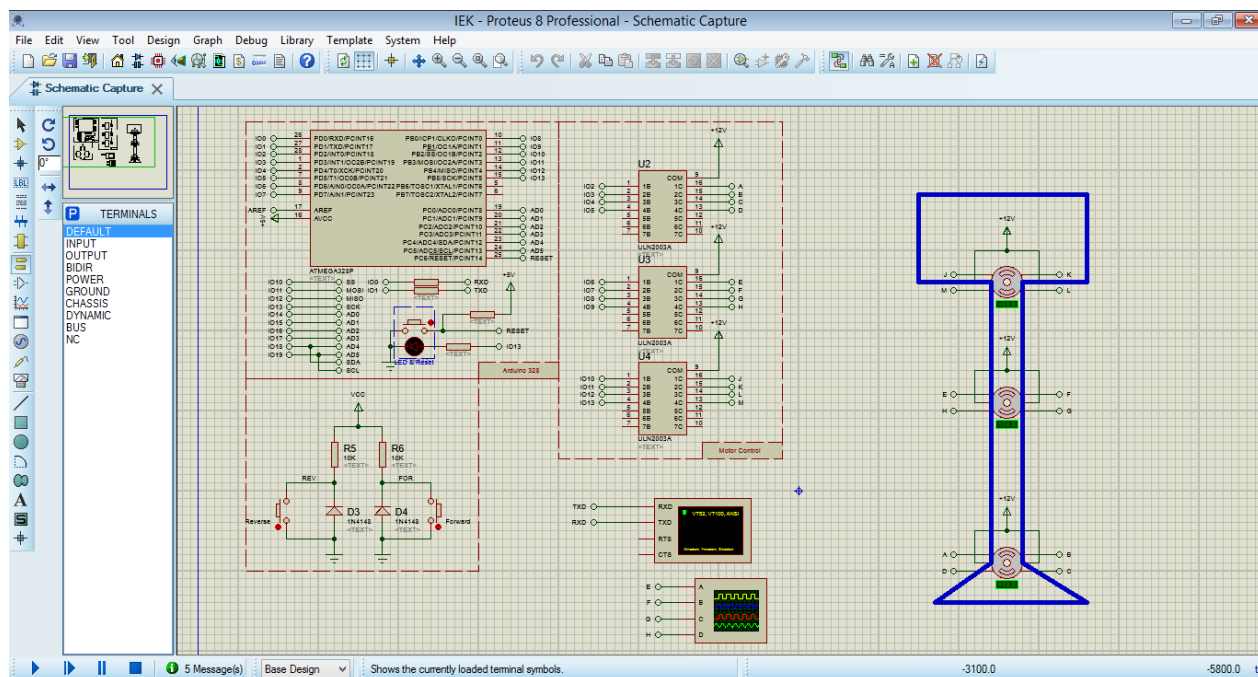
}

void loop()
{
if (stepper1.distanceToGo() == 0)
stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
if (stepper2.distanceToGo() == 0)
stepper2.moveTo(-stepper2.currentPosition());
if (stepper3.distanceToGo() == 0)
stepper3.moveTo(-stepper3.currentPosition());
Serial.print("Position of 1-st Stepper Motor: ");
Serial.print(stepper1.currentPosition());
Serial.println();
Serial.print("Position of 2-nd Stepper Motor: ");
Serial.print(stepper2.currentPosition());
Serial.println();
Serial.print("Position of 3-rd Stepper Motor: ");
Serial.print(stepper3.currentPosition());
Serial.println();
stepper3.run();
delay(500);
stepper2.run();
delay(500);
stepper3.run();
}

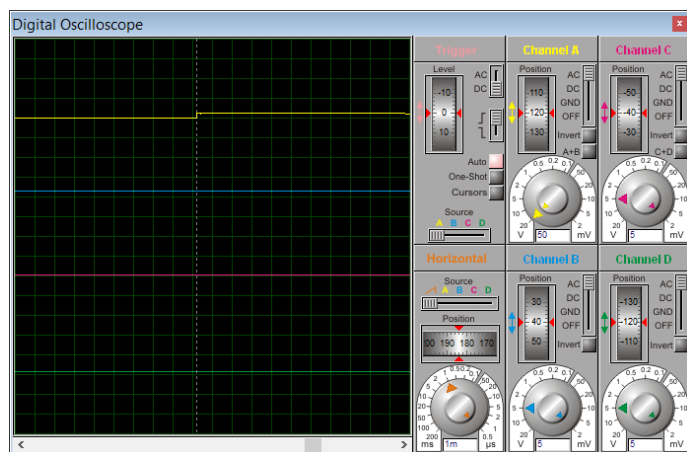
```

3.6 сурет – Arduino ide бағдарламасында жұмыс жасау барысы

Шыққан нәтиже арқылы Proteus бағдарламасында сұлбаны іске қостық. Proteus – электронды құрылғыларды, оның ішінде әр түрлі микроконтроллерлер негізінде орындалған жобалау және жөндеу үшін орта болып табылады. Графикалық редакторда схеманы енгізу, оның жұмысын моделдеу және баспа платасын, оның құрастыруын үш өлшемді визуализациялауды қоса алғанда, әзірлеу мүмкіндігін береді.



3.7 сурет – Proteus бағдарламасындағы функционалдық сұлба



3.8 сурет – Симуляция жасау барысындағы осциллограф

```

Virtual Terminal
Position of 3-rd Stepper Motor: 18
Position of 1-st Stepper Motor: 0
Position of 2-nd Stepper Motor: -13
Position of 3-rd Stepper Motor: 20
Position of 1-st Stepper Motor: 0
Position of 2-nd Stepper Motor: -14
Position of 3-rd Stepper Motor: 22
Position of 1-st Stepper Motor: 0
Position of 2-nd Stepper Motor: -15
Position of 3-rd Stepper Motor: 24
Position of 1-st Stepper Motor: 0
Position of 2-nd Stepper Motor: -16
Position of 3-rd Stepper Motor: 26
Position of 1-st Stepper Motor: 0
Position of 2-nd Stepper Motor: -17
Position of 3-rd Stepper Motor: 28
  
```

3.9 сурет – Симуляция жасау барысында әмбебап терминалдан алынған мәлімет

## ҚОРЫТЫНДЫ

Қазіргі уақытта әскери қызметшілерге дене күші мен тұрақтылығын арттыру, сондай-ақ экзоскелеттерді пайдалану есебінен функционалдық мүмкіндіктерді кеңейту мүмкіндігі бар. Жүк тасымалдау кезінде қозғалуды арттыруға арналған экзоскелеттер жаяу сарбазға кез келген күрделі жерден жеңіл өтуге және сол арқылы өзінің географиялық ықпал ету саласын кеңейтуге мүмкіндік береді.

Жұмыс жасау барысында экзоскелеттің буындық компоненттері сагитталды жазықтықта жетектің басқарылатын күшімен, тізедегі реттелетін демпфирлеуші механизмнен және сирақ-табан буынындағы пассивті серіппеден тұратынын білдік.

Дипломдық жұмыстың барысында экзоскелеттің қозғалыс динамикасын анықтап, экзоскелеттің қозғалысын гидрожетек арқылы басқару жүзеге асырылды. Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелетті басқару құрылымы арқылы осы экзоскелеттің прототипінің 3D моделі әзірленді. 3D модель Solidworks бағдарламасында жасалды. Соғыс жағдайларында қолданылатын экзоскелетті қосудың функционалды схемасын Proteus бағдарламасы арқылы құрдық.



## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. A. M. Dollar, H. Herr, Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art, 2008
2. <http://www.str-t.ru/reports/18/>
3. S. K. Au, J. Webber, H. Herr, Powered Ankle-Foot Prosthesis Improves Walking Metabolic Economy, 2009
4. Савченко А.Г., Зельцер А.Г. Анализ человеко-машинного взаимодействия на примере активного экзоскелета // Молодежный научно-технический вестник. Электронный журнал. 2016. №2.
5. T. M. Griffen, T. J. Roberts, R. Kram, “Metabolic cost of generating muscular force in human walking: insights from load carrying and speed experiments” Journal Applied Physiology 95: 172-183, 2003
6. Белецкий В.В. Двухногая ходьба. Модельные задачи динамики и управления. – М.: Наука, 1982.
7. Brandon S, Brookshaw M, Sexton A et al. Biomechanical evaluation of a dermoskeleton during gait, 19th Biennial Meeting of the Canadian Society for Biomechanics, 2017.
8. Формальский А.М. Перемещение антропоморфных механизмов. – М.:Наука, 1982.
9. Мартыненко Ю.Г. Аналитическая динамика электромеханических систем – М.: Изд-во МЭИ, 1984
10. <http://www.army-technology.com/features/featurefrench-hercule-robotic-exoskeleton/featurefrench-herculerobotic-exoskeleton-2.html>
11. Вукобратович М. Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. М.: Мир, 1976. 541 с.
12. M.L. Palmer, “Sagittal Plane Characterization of Normal Human Ankle Function Across a Range of Walking Gait Speeds,” MS Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2002
13. Соколов Д.А., Курочкина В.К. Развитие конструктивных схем экзоскелетов. Молодой ученый .Электронный журнал. 2018. №1
14. А. Мейер, Д. Сю. Современная теория автоматического управления и ее применение. М., 1972.
15. Yang Zhiyong, Gui Lihua, Yang Xiuxia, Gu Wenjin. On Virtual Force Control of Exoskeleton Suit [J]. Robot, 2009, 31
16. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семёнов Е.А., Суханов А.Н. Применение разгрузочных элементов в конструкции робота-экзоскелета // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 11. С. 20-23.
17. Kazerooni, H, Huang L H, Steger R. On the Control of the Berkeley lower extremity exoskeleton (BLEEX) [C]. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2005), Barcelona, Spain, 2005: 4353–4360.
18. С. Ф. Яцун, С. И. Савин, А. С. Яцун, Г. В. Климов/. Кинематический анализ экзоскелета в процессе подъема груза // Известия Юго-

Западного государственного университета Серия Техника и технологии. — 2015. — № 3.— С. 24–30.

19. <http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/>

20. Walsh CJ, Endo K, Herr H. A quasi-passive leg exoskeleton for load-carrying augmentation. Int J Humanoid Rob 2007; 4(3):487–506.