

## КАИМОВ АБЫЛАЙ ТАЛҒАТҰЛЫ

### ШЕКТЕЛГЕН КҮШІ БАР БЕЙІМДЕЛГІШ РОБОТ ҚАРМАУ ЖЕТЕГІН ҚҰРАСТЫРУ

6D060300 – «Механика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD)  
дәрежесін алу үшін диссертациясына

#### АҢДАТПА

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі.** Өнеркәсіптік роботтың құрамында: ұстағышы бар жетек түріндегі механикалық бөлік және басқару жүйесі түріндегі электронды бөлік бар. Сонымен қатар, берілген басқаруға сәйкес роботтың жұмыс органының (ұстауының) қозғалыс заңын орындауға арналған жетектер бар. Роботтың жұмыс органы (қармасы) негізгі технологиялық операцияларды (қармалау, бұрғылау, фрезерлік, т.б.). Роботтың ұстағышы роботтың негізгі атқарушы органы болып табылады. Ұстағыш әртүрлі пішіндегі және құрамдағы бұйымдарды ұстауға арналған, ал әртүрлі типтегі ұстағыштардың саны бірнеше мыңға жетеді.

Машиналар мен роботтардың (өңдеу, көтеру, ауылшаруашылық, тау-кен өндіру және т.б.) әртүрлі қысқыштары зерттелді. Қысқыштардың құрылымдық және кинематикалық сұлбалары келтірілген.

Жұмыстарда ұстағыштардың ұсталу процесі, бағдарлануы және қателігі зерттелді. Қысқыштарды орындаудың модульдік схемалары ұсынылған. Алайда, бұл жұмыстарда қармақтардың әмбебаптығын арттыру әдістері мен жаңашыл тұтқаларды жасау жолдары жоқ. Жаңа қысқыштарды жасау құнын азайту үшін оларды жобалаудың жаңа әдістері қажет.

Барлық дерлік белгілі роботтық қысқыштарда бірдей қозғалтқыш ұстағыштың жұмыс элементтерін жылжыту және ұстау күшін жасау үшін қолданылады. Робот ұстағыштың типтік түрлерінде бөлікті ұстау және қажетті ұстау күшін жасау үшін бір жалпы қозғалтқыш пайдаланылады. Бірақ қазіргі уақытта олар бұл операцияларды бөлуге тырысады, ал қозғалтқыш басып алу процесі үшін пайдаланылады, ал бөлік серпімді элементтермен немесе магниттермен ұсталады. Ұстағыштың маңызды сипаттамасы оның номиналды ұстау күшіне әсер ететін беріліс қатынасы болып табылады.

Стандартты механизмдер негізінде қысқыштардың әртүрлі түрлерін синтездеуге мүмкіндік беретін біріктіру үшін қысқыштарды функционалды және конструктивті бөліктерге бөлу ұсынылады. Электр механикалық жетектері бар роботтар кеңінен қолданылады. Көбінесе олардың ұстағыштары пневматикалық жетектермен басқарылады. Пневматикалық жетектер инерцияның төмен болуына және ауыр беріліс қораптарының болмауына байланысты электр жетектерімен салыстырғанда жоғары жылдамдыққа ие. Бірақ электр жетегін пайдаланудың артықшылықтары бар: дизайн мен басқарудың қарапайымдылығы, біріздендіруді және жылдам автоматты ауыстыруды жасау мүмкіндігі және жоғары қысымды ауамен

жабдықтаудың болмауы. Тұтқышта электр жетегін қолданудың артықшылығы оның жоғары динамикалық жүктемелер жағдайында жұмыс істеу кезіндегі жоғары дәлдігі мен жүк көтергіштігі болып табылады.

Әдетте робот ұстағыштың жетектерінде жетек ретінде рычагты механизм және бұрандалы гайка механизмі қолданылады, олар редуктор мен муфта арқылы электр қозғалтқышына қосылады. Электр қозғалтқышы өшірілген кезде тұтқаға қойылатын негізгі талап - кері қозғалысқа жол бермеу. Сондықтан бұл процесті жою үшін ұстағыш жетектерде әртүрлі құрылғылар қолданылады: блокаторлар, тежегіштер, ратчеттер және т.б. Бұл құрылғылардың кемшілігі олардың төмен сенімділігі, салмағы мен өлшемінің жоғарылауы болып табылады. Тұтқыштың электр жетегі үшін қуаттылығы 1 кВт-қа дейінгі, номиналды жылдамдығы 3000 айн/мин дейін және номиналды моменттері 10 Нм-ге дейінгі шағын өлшемді электр қозғалтқыштары (тұрақты ток, синхронды, асинхронды, коллекторлық) кеңінен қолданылады. Жоғары жылдамдықты басқару жүйелерін құру үшін қолданылатын шағын өлшемді тұрақты ток электр қозғалтқыштары электр ұстағыш жетекте кеңінен қолданылды.

Қазіргі уақытта роботтар бір дәрежелі еркіндікпен электр және гидравликалық жетектерді пайдаланады. Мұндай жетек кіріс және шығыс қозғалысы арасындағы бірмәнді қатынасты қамтамасыз етеді. Дегенмен, айнымалы қарсылық күшін жеңу үшін кіріс пен шығыс арасындағы ауыспалы беріліс қатынасын пайдалану қажет. Айнымалы жетекте басқарылатын беріліс қорабы болуы керек. Мұндай жетек робот модульдерінің салмағы мен өлшемдерін барынша азайту талабына қайшы келеді. Қолданыстағы электрлік және гидравликалық жүйелерде кіріс және шығыс поршеньдердің қозғалысы арасында «қатты» байланыс бар. Шығыс байланысы тұрақты жылдамдықпен қозғалады. Машина жетектерінде ауыспалы жүктемеге сәйкес келетін шығыс поршенинің ауыспалы жылдамдығымен механикалық және гидравликалық механизмдерді қолдану қажет. Ол үшін әртүрлі басқару жүйелері қолданылады.

Тензометрлер арқылы шығыс күшін тікелей өлшеуді пайдаланатын гидравликалық цилиндрлер үшін шығыс күшін басқарудың адаптивті схемасы ұсынылған. Поршеньдік үйкеліс күші үлкен және біршама белгісіз болғандықтан, кулондық тұтқыр үйкеліс болжамы бар камера қысымын басқару цилиндрі шығыс күшін дәл бақылауға қол жеткізу үшін жеткіліксіз болуы мүмкін. Ұсынылған тәсілде тікелей өлшеу нәтижесіндегі шығыс күшіндегі қате кері байланысты бақылау үшін ғана емес, сонымен қатар сырғанау қозғалысындағы кулон-тұтқыр үйкеліс күшін қамтитын сәйкес үйкеліс моделінің параметрлерін жаңарту үшін де қолданылады. сырғанау қозғалысындағы үйкеліс күшіне байланысты шығыс күші. Тұрақтылыққа қысым күшінің қатесі және шығыс күшінің қатесі ретінде кепілдік беріледі. Қажетті шығыс күшінің және оның туындысының шектеуі кезінде қателік ретінде асимптотикалық тұрақтылық, қысым күші және шығыс қателіктері де кепілдендіріледі. Эксперименттік нәтижелер қысым күшін басқарудың жақсы жүйесі шығу күшін жақсы басқаруға міндетті түрде кепілдік бермейтінін және бейімделгіш үйкеліс компенсациясының бекітілген параметрлі үйкеліс компенсациясынан жоғары екенін көрсетеді. Шығу күшін бақылау алдын ала

орнатылған өткізу қабілеттілігі үшін гидравликалық цилиндр мен электр жетек арасындағы динамикалық эквивалентті білдіреді. Бұл роботтың гидравликалық жетегі роботтың электр жетегімен сәтті бәсекелесуге мүмкіндік береді. Дегенмен, мұндай басқару жүйесі тым күрделі болып шығады және оның дұрыс жұмыс істеуіне кепілдік бермейді.

Профессор Иванов К.С. күшке бейімдеу механизмінің бұрын орындалған теориялық зерттеулері. Бейімделу механизмі екі еркіндік дәрежесіне ие және ауыспалы сыртқы жүктемеге қуатты бейімдеуді орындайды. Бейімделу механизмі ауыспалы сыртқы жүктемеге бейімделеді және басқару жүйесінсіз жұмыс істейді. Бейімделетін жетек беріліс қорабынсыз және басқару жүйесінсіз жұмыс істейді. Айнымалы технологиялық жүктемені еңсеретін робот ұстағышты басқару үшін бейімделгіш механизмді қолданған жөн.

Бұл әсіресе ауыл шаруашылығы өнімдері (қызанақ, алма, қияр және т.б.) сияқты жұқа «нәзік» сыртқы беті бар тауарларды қайта тиеуге арналған қысқыштарға қатысты. Егін жинағаннан кейін автоматты желілерді пайдаланып іріктеу және орау жұмыстарын жүргізу қажет. Дегенмен, ауылшаруашылық бау-бақша өнімдерін орау кезінде негізінен руна еңбегі пайдаланылады. Аграрлық бау-бақша өнімдерін жинау және буып-түю міндеттерін автоматтандыру үшін бұйымның осы түрімен зақымданбай жұмыс істегенде қысқыштардың тиімділігін арттыру қажет. Бұл технологиялық операциялар қазіргі уақытта қолмен және/немесе күрделі робот ұстағыштарды басқару жүйелерін қолдану арқылы орындалады, бұл өнімнің өзіндік құнының өсуіне әкеледі. Тұтқыш агробағбандық өнімдермен жұмыс істеу процесінде роботтың ең маңызды бөлігі болып табылады, өйткені ол роботтық жүйе мен өнім арасындағы маңызды аралық орган қызметін атқарады.

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы.** Жұмыста шамадан тыс жүктемелер үшін қуатты бейімдеу теориясын қолдану негізінде шектеулі күші бар робот ұстағыштың бейімделгіш жетегінің құрылымдық, кинематикалық және қуат сипаттамаларын талдау және синтездеу мәселелері қарастырылған.

**Жұмыстың мақсаты** объектілерді зақымдамай ұстауды қамтамасыз ететін адаптивті робот ұстағыш жетектің параметрлерін әзірлеу және таңдау болып табылады.

**Жұмыстың негізгі идеясы** екі еркіндік дәрежесі бар механизмдердің күшке бейімделу теориясына негізделген шектеулі күшпен робот ұстағыш жетектің күшке бейімделу әсерін пайдалану болып табылады.

**Зерттеу объектісі** – робот ұстағыштардың жетектері.

**Зерттеу пәні** сыртқы беті жұқа «нәзік» болатын агробағбандық өнімдерді қайта тиеуге арналған робот ұстағыштардың бейімделгіш жетектері болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі өзара байланысты зерттеу міндеттерін шешу қажет:

- бейімделу механизмдерін талдау;

- адаптивті беріліс механизмін талдау және синтездеу әдістемесін әзірлеу;

- робот ұстағыштың адаптивті жетегін есептеу әдістемесін әзірлеу;

- робот ұстағыштың бейімделгіш жетегінің динамикалық моделін жасау;
- агробағбандық өнімдерді қайта тиеу үшін робот ұстағыштың құрылымдық және кинематикалық параметрлерін таңдау және негіздеу;
- бау-бақша өнімдерін қайта тиеу үшін үш фалангты робот-қартқышты әзірлеу;
- адаптивті беріліс механизміне тәжірибелік зерттеулер жүргізу;
- бау-бақша өнімдерін қайта тиеу үшін робот ұстағыштың бейімделгіш жетегіне тәжірибелік зерттеулер жүргізу;
- адаптивті жетекі бар үш фалангты ұстағышы бар роботты пайдалана отырып, қызанақтарды орау процесін автоматтандыру.

**Зерттеу әдістері:** механизмдер мен машиналарды зерттеудің классикалық әдістері (кинематика, күштік талдау, динамика) және екі еркіндік дәрежесі бар механизмдердің күшке бейімделу теориясы негізінде теориялық зерттеулер профессор Иванов К.С. компьютерде зерттеу және жобалау алгоритмдерін қолдану. Жұмыста алдыңғы зерттеулер мен техникалық шешімдерді талдау мен жалпылауды, физикалық модельдер бойынша теориялық және эксперименталды зерттеулерді қамтитын кешенді зерттеу әдісі қабылданды. Аналитикалық зерттеулер үшін математикалық талдау әдістері, теориялық механика әдістері және механизмдер мен машиналарды зерттеу әдістері қолданылды. Эксперименттік зерттеулерде SimulationX бағдарламалық пакетін, сандық датчиктермен тензометрлерді қолдану арқылы сандық талдау және компьютерлік модельдеу әдістері қолданылды.

**Жұмыстың ғылыми жаңалығы төмендегідей:**

- робот ұстағыш жетек ретінде пайдалану үшін бейімделгіш механизмдерге талдау жүргізілді;
- бейімді беріліс механизмін талдау және синтездеу әдістемесін әзірледі және оның тәжірибелік үлгісін жасады;
- робот ұстағыштың бейімделгіш жетегінің есептеу әдісі әзірленді;
- робот ұстағыштың адаптивті жетегіне динамикалық зерттеу жүргізілді;
- агробағбандық өнімдерін қайта тиеуге арналған робот қартқыштың негізгі құрылымдық және кинематикалық параметрлері анықталды;
- агробағбандық өнімдерді қайта тиеу үшін үш фалангты робот-қатқыш құрастырылды және оның тәжірибелік үлгісі жасалды;
- адаптивті беріліс механизмінің тәжірибелік зерттеулері жүргізілді;
- агробағбандық өнімдерді қайта тиеу үшін робот ұстағыштың адаптивті жетегі бойынша тәжірибелік зерттеулер жүргізілді.
- Қызанақтарды орау процесін автоматтандыру адаптивті жетекі бар үш фалангты ұстағышы бар роботтың көмегімен жүзеге асырылды.

**Зерттеудің теориялық және практикалық маңызы.** Адаптивті беріліс механизміне негізделген агробағбандық өнімдерді қайта тиеуге арналған бейімделгіш робот ұстағыш жетегін құру және есептеу әдістері мен жұмысында алынған нәтижелерді робот ұстағыштардың кең класы үшін теориялық зерттеулерде қолдануға болады. Жұмыстың практикалық маңыздылығы агробағбандық өнімдерді қайта тиеуге арналған робот ұстағыштың адаптивті жетегіне тәжірибелік зерттеу жүргізу әдістемесінде жатыр. Сонымен қатар, адаптивті жетекі бар үш фалангты ұстағышы бар

роботты пайдалана отырып, қызанақтарды орау процесін автоматтандыру практикалық қызығушылық тудырады. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері өнімді ұстау кезінде бейімделуді қажет ететін робот-қағағыштардың әртүрлі түрлерін жасауда пайдалы болады.

**Қорғауға ұсынылған ғылыми ережелер:**

- адаптивті беріліс механизмін талдау және синтездеу әдістемесі;
  - робот ұстағыштың бейімделгіш жетегінің есептеу әдісі;
  - робот ұстағыштың бейімделгіш жетегінің динамикалық моделі;
  - бау-бақша өнімдерін қайта тиеуге арналған адаптивті робот ұстағыш жетекті тәжірибелік зерттеу әдістемесі.
- адаптивті жетегі бар үш фалангты ұстағышы бар роботты пайдалана отырып, қызанақтарды орау процесін автоматтандыру.

**Диссертацияның ғылыми ережелерінің, тұжырымдары мен нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі** мәселені дұрыс тұжырымдау және белгілі математикалық әдістерді, теориялық механика әдістерін, механизмдер мен машиналарды зерттеу әдістерін, және эксперименттік зерттеу әдістері.

**Диссертациялық жұмыстың басқа зерттеу жұмыстарымен байланысы.** Бұл диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2020-2021 жылдарға арналған «Мұнай және газ өнеркәсібіне арналған сорғыш штангалы сорғы қондырғыларының жетек конструкцияларын әзірлеу» гранттық ғылыми жобасы (IRN: AP08052127 жобасы) бойынша орындалды).

**Жұмысты апробациялау.** Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері мен қорытындылары ғылыми іс-шараларда баяндалып, талқыланды:

- ҚазҰУ механика-математика факультетінің механика кафедрасының ғылыми семинарлары. әл-Фараби және Механика және инженерлік ғылым институты. академик У.А. Жолдасбеков және (Алматы, 2015-2018);

- Қазақ КСР ҒА академигі, техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстанның еңбек сіңірген ғылым қайраткері Ж.С.-ның 95 жылдығына арналған «Инженерлік механиканың өзекті мәселелері» халықаралық ғылыми семинары. Ержанова (Алматы, 18-19 шілде 2017 ж.);

- «Жасыл көпір – озық инновациялық тәжірибелер үшін серіктестік алаңы» халықаралық конференциясы, ЭКСПО-2017, Астана, Қазақстан, 2017 ж.;

- Қазақстан Республикасы Ғылым академиясының халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы, Алматы, Қазақстан, 2017 ж.;

- Инженерлер мен ғалымдардың Дүниежүзілік конгресі «Болашақ энергиясы: инновациялық сценарийлер және оларды жүзеге асыру әдістері» WSEC-2017, (Астана, 19-20 маусым 2017 ж.);

- «4th IFToMM Symposium on Mechanism Design for Robotics» халықаралық ғылыми конференциясы

- Халықаралық ғылыми конференция «Словакиялық халықаралық конференция», Словакия, 2018 ж.;

- Халықаралық ғылыми-практикалық конференция «Информатика, механика және робототехниканың өзекті мәселелері. Машина жасаудағы цифрлық технологиялар», Алматы, 2018 ж

- «2nd International Conference of IFToMM Italy, IFIT 2018» халықаралық конференциясы (Кассино, Италия, 29-30 қараша 2018 ж.);

- Екінші Халықаралық Жолдасбеков симпозиумы «Механика Болашақ», Академик Ө.Жолдасбеков атындағы Механика және инженерия институты (Алматы, 2021 ж.)

**Жарияланымдар.** Диссертациялық жұмыстың тақырыбы бойынша автордың 23 жұмысы жарияланды, оның ішінде 8 жарияланым Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті үшін ұсынған ғылыми журналдарда жарияланған. ғылыми қызметтің негізгі нәтижелерін жариялау; Scopus деректер базасына енгізілген ғылыми журналдардағы 9 жарияланым және халықаралық конференциялар жинағы; Отандық және шетелдік ғылыми халықаралық конференциялар жинағында 9 жарияланым, 4 патент.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертация титулдық беттен, мазмұнынан, кіріспеден, бес тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады, жалпы парақтар саны 76 бет көлемінде.

**Диссертацияның негізгі мазмұны.** Кіріспеде диссертациялық жұмыстың өзектілігі көрсетілген, мәселенің тұжырымдалуы және оларды шешу кезеңдері көрсетілген.

**Бірінші бөлім** адаптивті беріліс механизмін талдау және синтездеу әдістерінің қазіргі жағдайына арналған. Конструктивтік және бейімделгіш беріліс механизмін таңдаудың негіздемесі келтірілген. Бейімделетін беріліс механизмінің кинематикалық, қуаттылық талдауы және синтезі жүргізілді.

**Екінші бөлімде** робот ұстағыштардың адаптивті жетектерін талдау қарастырылған. Бейімделетін беріліс механизміне негізделген робот ұстағыштың бейімделгіш жетегінің конструкциясы әзірленді және негізделді. SimulationX бағдарламалық пакетін қолдану арқылы адаптивті робот ұстағыш жетектің динамикалық үлгісі әзірленді.

**Үшінші бөлімде** агробағбандық өнімдерді қайта тиеуге арналған робот-грипперді әзірлеу жұмыстары жүргізілуде. Агробағбандық өнімдерді қайта тиеуге арналған робот-қартқыштың құрылымдық және кинематикалық параметрлері алынды. Агробағбандық өнімдерді қайта тиеу үшін үш фалангты робот ұстағыш әзірленді.

**Төртінші бөлім** агробағбандық өнімдерді қайта тиеуге арналған робот ұстағыштың бейімделгіш жетегінің тәжірибелік зерттеулеріне арналған. Бейімделетін беріліс механизмінің эксперименталды зерттеулері жүргізілді. Аграрлық бау-бақша өнімдерін қайта тиеуге арналған адаптивті робот ұстағыш жетектің тәжірибелік зерттеулері көрсетілген.

**Бесінші бөлімде** адаптивті жетекі бар үш фалангты ұстағышы бар роботты пайдалана отырып, қызанақтарды орау процесін автоматтандыруды дамыту қарастырылады. Қызанақтарды орау үшін роботты ұяшықты орнатудың эксперименталды зерттеулері келтірілген.

**Автордың жеке үлесі.** Диссертациялық жұмыста жүргізілген зерттеудің негізгі нәтижелерін автор өзіндік түрде жеке алды.

**Айтылған мақалада** өтініш беруші агробағбандық өнімдерді қайта тиеуге арналған робот-қағағыштың ұстау жақтарының орналасуын негіздеді.

баптарында өтініш беруші машинаның жұмыс органының атқарушы механизмінің құрылымдық-кинематикалық схемасын негіздеді. құжаттарында өтініш беруші цилиндрлік және сфералық нысандарды ұстау кезінде үш фалангты бейімделгіш робот ұстағышының теориялық және эксперименталды зерттеулерін жүргізді.