

БАЛТАБАЙ ДӘУРЕН ҚУАНЫШБЕКҰЛЫ

Манипулятор буындарының өз массасынан туындайтын таралған динамикалық жүктемелерді зерттеу және оларды интерактивті 3D компьютерлік модельдерде визуализациялау

8D07117 – «Робототехникалық жүйелер»

білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD)

дәрежесін алуға арналған диссертацияның

АННОТАЦИЯСЫ

Роботтық манипуляторлардың динамикалық мінез-құлқын анықтайтын маңызды факторлардың бірі олардың буындары бойынша таралған массасы болып табылады. Инженерлік есептеулерде дәстүрлі түрде қолданылатын шоғырланған жүктемелерден айырмашылығы, нақты құрылымдардағы буындардың массасы әрбір элементтің бүкіл ұзындығы бойынша таралған күшке әсер етеді. Бұл күш буын ұзындығына, оның кеңістіктегі бағытына, үдеуіне және оған әсер ететін инерция күштеріне байланысты өзгертін таралған динамикалық жүктемелерді тудырады. Бұл жүктемелер манипулятордың тұрақтылығына, ұстағыштың орналасу дәлдігіне, қалдық тербелістердің шамасына және құрылымның жалпы беріктігіне айтарлықтай әсер етеді.

Кеңістіктік манипуляторлардың толық жұмыс циклі үшін кернеулі-деформацияланатын күйдің сипатын неғұрлым дұрыс талдау үшін жүйеге қолданылатын шоғырланған күштерден басқа және буындардың физикалық, геометриялық және кинематикалық сипаттамаларына байланысты олардың мәндері мен бағыттарын өзгертетін таралған динамикалық жүктемелерді ескеру қажет. Сондықтан, ең алдымен, таралған динамикалық жүктемелердің таралу заңдылықтарын анықтау қажет.

Сондықтан, манипулятор буындарының өз массасынан туындаған таралған динамикалық жүктемелерді зерттеу және оларды интерактивті 3D компьютерлік модельдерінде визуализациялау өзекті болып табылады. Аналитикалық әдістің артықшылығы есептеулердің дәлдігі мен жылдамдығында. Манипуляторлардағы динамикалық жүктемелерді зерттеу сенімдірек және тиімдірек роботтық жүйелерді әзірлеуде шешуші рөл атқарады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты роботтық жүйелерді талдау мен жобалаудың дәлдігін, сенімділігін және тиімділігін арттыруға негіз болатын манипулятордың өз массасынан туындайтын таралған динамикалық жүктемелерді зерттеу және оларды интерактивті 3D компьютерлік модельдер түрінде визуализациялау үшін алгоритмдер мен бағдарлама кодын әзірлеу болып табылады.

Зерттеу объектісі бірнеше еркіндік дәрежесі бар кеңістіктік манипуляторлар болып табылады.

Зерттеу пәні кеңістіктік манипуляторлардың таралған динамикалық жүктемелері болып табылады.

Қойылған мақсатқа сәйкес келесі зерттеу міндеттері анықталды:

- Интерактивті 3D модельдерді құру және кеңістіктік манипуляторлардың кинематикасы мен таралған динамикалық жүктемелерін талдау бойынша заманауи теориялық және қолданбалы зерттеулерді қарастыру.
- Жалпыланған координаттармен басқарылатын Maple бағдарламалық жасақтамасында буындарды, кинематикалық жұптарды, ұстағыштарды және т.б. қоса алғанда, кеңістіктік манипуляторлардың толық визуалды интерактивті 3D моделін жасау үшін алгоритм мен бағдарлама кодын әзірлеу.
- Манипулятор буындарының базаға да, буындармен байланысты координаттар жүйесіне де, сызықтық және бұрыштық үдеулерге де қатысты кинематикалық сипаттамаларын анықтайтын алгоритм мен бағдарламалық код әзірлеу.
- Кеңістіктік манипуляторлардағы буындардың үдемелі қозғалысы кезінде өз массаларынан туындайтын динамикалық жүктемелердің буындарының осьтері бойынша таралу заңдылықтарын аналитикалық анықтау әдісін әзірлеу.
- Кеңістіктік манипуляторлардың интерактивті 3D модельдерінде негізгі осьтер мен буындардың бойлық осі арқылы құрылған өзара перпендикуляр жазықтықта таралған динамикалық жүктемелердің визуалды диаграммаларын құрудың алгоритмі мен бағдарламалық кодын әзірлеу.

Зерттеу әдістері: машина механикасының есептерін шешудің заманауи аналитикалық әдістері.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы төмендегідей:

1. Үш өлшемді кеңістіктің барлық жағынан анық көрінетін және қозғалысы, жалпыланған координаттармен басқарылатын манипуляторлардың үш өлшемді модельдерін Maple бағдарламалық ортасында жасайтын алгоритм мен бағдарлама коды әзірленді.

2. Динамикалық жүктемелердің таралу заңдылықтары анықталды: өзара перпендикуляр жазықтықта жатқан, буындардың негізгі осьтерімен және буындардың бойлық осімен сәйкес келетін екі көлденең таралған динамикалық жүктеме; буындардың осі бойымен әрекет ететін бойлық таралған динамикалық жүктемелер және кеңістіктегі қозғалысы кезінде тұрақты қималары бар буындардың өз массаларынан туындайтын таралған айналу моменттері.

3. Манипуляторлардың интерактивті үш өлшемді модельдерінде жоғарыда аталған динамикалық жүктемелердің буындар осі бойынша визуалды диаграммаларын жасайтын алгоритм мен бағдарламалық код әзірленді.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңызы. Әзірленген әдістеме кеңістіктік манипулятор элементтерінің кернеулі-деформациялық күйін әрі қарай теориялық зерттеу үшін және қазіргі заманғы компьютерлік бағдарламаларды пайдалана отырып, осы зерттеуді автоматтандыру үшін пайдаланылуы мүмкін. Зерттеудің практикалық маңыздылығы оның Қазақстан Республикасының әлеуметтік-экономикалық және ғылыми-техникалық дамуына әсер ететін жаңа ғылыми және өндірістік міндеттерді шешуге арналған жаңа инновациялық роботтық манипуляторларды жобалауда қолдануында.

Қорғауға ұсынылған ғылыми ережелер:

– Үш өлшемді кеңістіктің барлық жағынан анық көрінетін және қозғалысы, жалпыланған координаттармен басқарылатын манипуляторлардың үш өлшемді модельдерін Maple бағдарламалық ортасында жасайтын алгоритм мен бағдарлама коды әзірленді.

– Манипуляторлардың кинематикалық сипаттамаларын анықтайтын алгоритм мен бағдарлама коды әзірленді.

– Динамикалық жүктемелердің таралу заңдылықтары анықталды: өзара перпендикуляр жазықтықта жатқан, буындардың негізгі осьтерімен және буындардың бойлық осімен сәйкес келетін екі көлденең таралған динамикалық жүктеме; буындардың осі бойымен әрекет ететін бойлық таралған динамикалық жүктемелер және кеңістіктегі қозғалысы кезінде тұрақты қималары бар буындардың өз массаларынан туындайтын таралған айналу моменттері.

– Манипуляторлардың интерактивті үш өлшемді модельдерінде жоғарыда аталған динамикалық жүктемелердің буындар осі бойынша визуалды диаграммаларын жасайтын алгоритм мен бағдарламалық код әзірленді.

Диссертацияның ғылыми ұсыныстарының, тұжырымдарының және нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі. Диссертациялық жұмыста қолданылған іргелі есептеу теңдеулері теориялық механиканың, математикалық талдаудың, жоғары алгебраның, дифференциалдық теңдеулер, робототехника негіздері, машиналар мен механизмдер теориясы, деформацияланатын қатты денелер механикасының іргелі қағидаларын дұрыс пайдалану арқылы шығарылды.

Ғылыми тұжырымдардың негізділігі робототехника мен қатты денелер механикасының іргелі принциптерін дұрыс қолданумен анықталады. Теориялық нәтижелердің сенімділігі математикалық модельдердің қатаңдығымен және берілген есептер бойынша алынған шешімдердің дәлдігімен расталады.

RRRRT манипуляторы буындарының кеңістіктік орны мен бағыттарын Maple ортасында әзірленген алгоритм мен бағдарламалық кодты пайдалану арқылы жасалған визуалды 3D компьютер моделінен көруге болады. Тексеру осы үлгілердің орналасуы мен бағыттарын алынған сандық мәндермен салыстыру арқылы жүзеге асырылады. Динамикалық жүктемелерді анықтау үшін қажетті манипулятордың кинематикалық параметрлері Ньютон-Эйлер қайталану формулалары арқылы есептелді және біртекті түрлендіру матрицалары арқылы тексерілді. Буындардағы динамикалық жүктеме диаграммалары анықталған жүктемелердің таралу заңдарына сәйкес келеді.

Бұл диссертацияның басқа ғылыми жобалармен байланысы. Бұл диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі қаржыландырған «Жас Ғалым» ғылыми жобасының аясында «Кеңістіктік манипуляторлардың динамикалық жүктемелерін анықтаудың аналитикалық әдістемесін әзірлеу» тақырыбы шеңберінде орындалды (2024-2026 жж., AP22686476).

Диссертацияның апробациялық нәтижелері. Диссертацияның негізгі ережелері мен нәтижелері келесі ғылыми іс-шараларда ұсынылып, талқыланды:

- Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының және Ұлттық инженерлік академиясының профессоры, академигі Мейірбек

Молдабековтың 75 жылдығына арналған «Ғарыштық техника мен техниканы дамытудағы механика мен автоматты басқару теориясының басымдықтары» атты халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция (Алматы, 14 қыркүйек 2022 ж.);

- «IFTToMM Asian Mechanisms and Machine Science Conference 2024 халықаралық ғылыми конференциясы (Алматы, 28-30 тамыз 2024 ж.);
- European Meeting on Applied Science and Engineering «Transforming Innovations into Reality for a Better Future in Science and Engineering» тақырыбындағы халықаралық ғылыми конференция (Берлин, Германия, 14–15 сәуір 2025 жыл);
- Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ механика кафедрасының ғылыми семинарлары.

Жарияланымдар. Автордың диссертация тақырыбы бойынша 7 жұмысы жарияланды, Scopus және Web of Science деректер базасы арқылы индекстелген халықаралық ғылыми журналдарда 1 жарияланым:

- Utenov, M.; Sobh, T.; Temirbekov, Y.; Zhilkibayeva, S.; Patel, S.; Baltabay, D.; Zhumasheva, Z. Analysis of Distributed Dynamic Loads Induced by the Own Mass of Manipulator Links and Their Visualization on Interactive 3D Computer Models. *Robotics* **2025**, *14*, 46. (квартиль Q1, 84%)
<https://doi.org/10.3390/robotics14040046>

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы бақылау комитеті ұсынған ғылыми журналдарда 2 жарияланым:

- Утенов М.У., Балтабай Д.К. Прямая позиционная задача кинематики RRRRT манипулятора в программной среде maple // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. Рубрика Информационно-коммуникационные технологии. – Алматы, 2023. - №4 (90). – С. 138-147.
<https://doi.org/10.47533/2023.1606-146X.41>
- Утенов М.У., Балтабай Д.К., Батырбек С. Ж. Компьютерное 3d моделирование манипуляторов в программной среде Maple // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. Рубрика Информационно-коммуникационные технологии. – Алматы, 2022. - №4 (86). – С. 109-115. <https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.201>

Scopus деректер базасында индекстелген халықаралық конференция материалдарындағы 2 жарияланым (4-квартиль, 15%).

Халықаралық отандық конференциялар жинақтарында 2 жарияланым.

Докторанттың жеке қосқан үлесі:

- кеңістіктік манипуляторлардың буындарына ететін өз массасынан туындаған таралған динамикалық жүктемелерді талдау, модельдеу әдістері мен алгоритмдерін әзірлеу және жалпыланған координаттармен басқарылатын нақты манипуляторлардың интерактивті 3D компьютерлік модельдеріндегі динамикалық жүктемелерді визуализациялау процесінің барлық кезеңдеріне қатысу;
- ізденушінің интерактивті 3D-модельдерді құру және кеңістіктік манипуляторлардың кинематикасы мен динамикасын талдау бойынша заманауи теориялық және қолданбалы зерттеулерге шолу жасауға,

кеңістіктік манипуляторлардың интерактивті 3D-модельдерін әзірлеуге, сондай-ақ манипулятор буындарының кинематикалық сипаттамаларын, жылдамдықтары мен үдеулерін анықтайтын және таралған динамикалық жүктемелер диаграммаларын манипулятор буындарында автоматты түрде құруға мүмкіндік беретін алгоритмдер мен бағдарламаларды әзірлеуге тікелей қатысу;

- зерттеу нәтижелерін апробациялауға жеке қатысу;
- орындалған жұмыстар бойынша негізгі басылымдарды дайындау.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация титулдық парақтан, мазмұнынан, кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және 109 атаудан тұратын әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертацияның жалпы көлемі 79 бет, оның ішінде 37 иллюстрация, 2 кесте.

Диссертацияның негізгі мазмұны. Кіріспе қолданыстағы жұмыстарды шолумен зерттелетін мәселенің қазіргі жағдайын талдауды, диссертация тақырыбының өзектілігін негіздеуді, жұмыстың мақсатын, объектісін, пәнін, зерттеу міндеттерін, ғылыми жаңалығын, теориялық және практикалық маңыздылығын, қорғауға шығарылатын негізгі ережелерді, диссертация тақырыбы бойынша жарияланған жұмыстар туралы мәліметтерді және оның даму дәрежесін қамтиды.

Диссертацияның **бірінші бөлімі** кеңістіктік манипуляторлардың интерактивті 3D модельдерін құрудың, кинематикасы мен таралған динамикалық жүктемелерін талдаудың заманауи тұжырымдамалары мен зерттеу тәсілдеріне арналған. Кеңістіктік манипуляторлардың интерактивті 3D модельдерін әзірлеу, кинематиканы шешу және манипулятор буындарына әсер ететін динамикалық жүктемелерді анықтау бойынша кең әдеби шолу жүргізілді.

Екінші бөлім кеңістіктік манипуляторларды 3D модельдеу алгоритміне арналған. Maple бағдарламалау ортасында кеңістіктік манипуляторлардың интерактивті 3D модельдерін құру алгоритмі мен бағдарламасы жасалды. Мысал ретінде RRRRT манипуляторының 3D моделі жасалды, оның қозғалысын барлық жағынан үш өлшемді кеңістікте көруге болады.

Диссертацияның **үшінші бөлімі** кеңістіктік манипуляторлардың кинематикалық талдауына арналған. Кеңістіктік манипуляторлардың кинематикалық параметрлерін анықтаудың алгоритмі мен бағдарламалық коды әзірленді. Зерттелетін кеңістіктік манипулятордың кинематикалық талдауының нәтижелері 3D графиктер түрінде көрсетілген.

Төртінші бөлімде кеңістіктік манипуляторлардың буындарына динамикалық жүктемелердің таралу заңы анықталған. Кеңістіктік манипуляторлардың буындарында бойлық және көлденең таралған динамикалық жүктемелер мен иілу моменттерінің диаграммаларын автоматты түрде құруға мүмкіндік беретін алгоритм және компьютерлік бағдарламалық код әзірленді.

Қорытындыда диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері мен тұжырымдары, қойылған міндеттерді шешудің толықтығын бағалау, нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар мен бастапқы деректер, енгізудің техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау, осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда орындалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау берілген.