ЖЫЛҚЫБАЕВА САЛТАНАТ КӨБЕЙҚЫЗЫ

ЖАЗЫҚ МЕХАНИЗМДЕР МЕН МАНИПУЛЯТОРЛАРДЫҢ БЕРІКТІГІ МЕН ҚАТТЫЛЫҒЫН ТАРАЛҒАН ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІН ЖАСАУ

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

АҢДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Механизмдер мен манипуляторларды жобалау кезінде маңызды проблемалардың бірі олардың буындарының беріктігі мен қаттылығын толық жұмыс процесінде қамтамасыз ету болып табылады.

Стерженді жүйелердің кернеулі-деформацияланған күйін талдау үшін негізінен үш тәсіл бар. Біріншісі – статикалық анықталмаған және қозғалмайтын стерженді жүйелерді есептеуде қолданылатын графоталдамдық әдістер: күштер әдісі мен орын ауыстыру әдісі. Серпімді жүйелерді динамикалық есептеу есебін шешудің екінші тәсілі біріктірілген параметрлер әдісі болып табылады, ол таратылған массаны біріктіріп ауыстыру жолымен шексіз еркіндік дәрежесі бар жүйені жуықталған соңғы дәрежелі жүйемен ауыстыру қағидасына негізделген. Үшіншісі –конструкциялардың статикалық, динамикалық кернеулі-деформацияланған күйінің есептерін шешуге мүмкіндік беретін ең көп таралған заманауи сандық әдістердің бірі шектелген элементтер әдісі болып табылады.

Алайда, осы барлық графоталдымдық және сандық әдістер қозғалмалы емес стерженді жүйелердің кернеулі-деформацияланған күй есептерін шешуге қолданылған және бұл әдістерді қозғалмалы стерженді жүйелерге пайдаланудың өзіндік проблемалары мен шектеулері бар. Сонымен бірге, бұл әдістерде стерженді механизмдер мен манипуляторлардың қозғалысы барысында пайда болатын, буындардың физикалық, геометриялық және кинематикалық сипаттамаларына тәуелді таралған динамикалық жүктемелер ескерілмейді. Бұл жүктемелер буындардың кернеулі-деформацияланған күйіне зор ықпал етеді.

Қозғалмалы стерженді жүйелердің кернеулі-деформацияланған күйін неғұрлым дәл болжау үшін жүйеге түсірілген статикалық қадалған жүктемелерден басқа, буындардың физикалық, геометриялық және кинематикалық сипаттамаларына тәуелді таралған динамикалық

жүктемелерді ескеру қажет. Олай болса, бірінші кезекте, таралған динамикалық жүктемелердің таралу қарқындылығын анықтау қажет.

Барлық стерженді жүйелердің таралған массасы бар болғандықтан, олар әрқашан шексіздікке тең еркіндік дәрежесі бар жүйелер болып табылады. Демек, әрбір буынның ішкі күштері оның жекеленген қималарындағы ішкі күштердің жиынтығы арқылы бір мәнді анықталуы үшін механизмнің дискретті моделін әзірлеу қажет, сонда есеп буындардың шектелген қималарындағы ішкі күштерді анықтауға келтіріледі.

Сондықтан манипуляциялық жүйелер буындарында ішкі күштерді және орын ауыстыруларды анықтау үшін жаңа аналитикалық әдісті әзірлеу өзекті болып табылады. Аналитикалық әдістің артықшылығы айқын – есептеудің дәлдігі мен жылдамдығы. Сонымен қатар, буындардағы мүмкіндік кернеу бойынша шектеу арқылы жобаланатын механизмдер мен манипуляторлардың жалпы массасын минимизациялау алгоритмін әзірлеу өзекті болып табылады, оның нәтижелері жалпыланған координаттардың әртүрлі жылдамдығы мен үдеулерінде жобаланатын механизмдер мен манипуляторлардың толық жұмыс процесінде буындарға сыртқы қадалған және таралған динамикалық жүктемелердің әрекеті кезінде буындардың беріктігін қамтамасыз ететін рационалды пішінді, ең аз ауданды көлденең қималардың сызықты өлшемдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – жазық механизмдер мен манипуляторлардың беріктігі мен қаттылығын таралған динамикалық жүктемелерді ескере отырып есептеу әдістемесін жасау.

Зерттеу нысаны – жазық стерженді механизмдер мен манипуляторлар.

Зерттеу тақырыбы – жазық стерженді механизмдер мен манипуляторлардың беріктігі мен қаттылығы.

Зерттеу міндеттері:

- буын бойында таралған бойлық және көлденең динамикалық жүктемелерді анықтауға қажет жазық стерженді механизмдер мен манипуляторлардың кинематикалық сипаттамаларын анықтау үшін әйгілі әдістерді қолданып алгоритмдер жасау мен бойлық және көлденең таралған динамикалық жүктемелердің эпюрлары буын бойында автоматты түрде тұрғызылған қозғалыс анимациясын алудың компьютерлік программасын жасау;
- механизм мен манипулятордың дискретті моделінің элементтері мен түйіндерінің тепе-теңдігінің шешуші динамикалық теңдеулерін алу және механизм мен манипулятордың қозғалысын іске асыратын және оның буындарында ию моменттері, көлденең және бойлық күштер эпюрларын тұрғызатын компьютерлік программаларды әзірлеу;
- механизмдердің буындарының көлденең қималарындағы көлденең және бойлық орын ауыстыруларды, бұрылу бұрыштарын аналитикалық анықтау

әдістемесін жасау мен механизмнің қозғалысын іске асыратын және оның буындарында көлденең қималарының көлденең және бойлық орын ауыстыруларының, бұрылу бұрыштарының эпюрларын тұрғызатын компьютерлік программаларды әзірлеу;
- буындардағы кернеулерді мүмкіндік кернеу бойынша шектеу арқылы механизмдер массасын оңтайландыру әдістемесін автоматтандыру алгоритмдерін және программаларын жасау және жұмыс процесінің толық циклінде механизмдердің буындарының беріктігін қамтамасыз ететін рационалды пішінді, ең аз ауданды көлденең қималардың сызықты өлшемдерінің сандық мәндерін анықтау.

Зерттеу әдістері: машиналар механикасының есептерін шешудің заманауи аналитикалық және сандық есептеу әдістері.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:
- механизм мен манипулятордың қозғалысын іске асыратын және оның буындарында таралған динамикалық жүктемелер мен ішкі күштердің эпюрларын тұрғызатын алгоритмдер және компьютерлік программалар әзірленген;
- механизмнің қозғалысын іске асыратын және оның буындарында деформациялардың эпюрларын тұрғызатын алгоритмдер және компьютерлік программалар әзірленген;
- буындардағы кернеулерді мүмкіндік кернеу бойынша шектеу арқылы жобаланатын стерженді механизмдер мен манипуляторлардың толық жұмыс процесінде, сыртқы қадалған және таралған динамикалық күштер әсер ету кезінде олардың буындарының беріктігін қамтамасыз ететін рационалды пішінді, ең аз ауданды көлденең қималардың сызықты өлшемдерінің сандық мәндерін анықтау алгоритмдері мен компьютерлік программалар әзірленген және мысал ретінде, жазық алтыбуынды механизм үшін аталған сандық нәтижелер алынды.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы. Әзірленген әдістемені одан арғы құрылымы статикалық анықталған және статикалық анықталмаған кеңістікті қозғалмалы жүйелер элементтерінің динамикалық кернеулі–деформацияланатын күйлеріне теориялық зерттеу жүргізу үшін және осы зерттеулерді заманауи компьютерлік программалар арқылы автоматтандыруға пайдалануға болады (кеңістікті стерженді механизмдер, манипуляторлар, фермалар, рамалар, т.б.). Зерттеудің практикалық маңыздылығы жобаланатын, сондай–ақ қолданыстағы жүйелердің (жазық стерженді механизмдер, манипуляторлар, фермалар, рамалар және т.б.) кернеулі–деформацияланатын күйлерін зерттеу кезінде қолдануға болады.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми қағидаларының, қорытындылары мен нәтижелерінің сенімділігі және дәлелдігі.

Диссертациялық жұмыста қолданылған негізгі есептеу теңдеулері теориялық механика, машиналар мен механизмдер теориясы және деформацияланатын қатты дене механикасы негізгі қағидаларын дұрыс қолдана отырып алынды.

Алгоритмдер мен компьютерлік программаларды әзірлеу барысында диссертациялық жұмыста алынған есептеу теңдеулері мен Maple программалау ортасының мүмкіншіліктері пайдаланылды. Қарастырылып отырған механизмнің қозғалыс анимациясы кезінде буындарында тұрғызылған ішкі күштер мен деформациялардың эпюрларының нәтижелерінің дұрыстығы келесі белгілер бойынша анық көрінеді: (а) көлденең динамикалық жүктемелер қарқындылығы, көлденең күштер, ию моменттері мен бойлық динамикалық жүктемелер қарқындылығы, бойлық күштер, сондай-ақ ию моменттері, қиманың бұрылу бұрыштары мен көлденең орын ауыстырулары, бойлық күш пен буындардың қималарының бойлық орын ауыстырулары арасындағы дифференциалды тәуелділіктерді алынған нәтижелерді тексеру үшін; (б) тіректегі, топсалы түйіндердегі шектік шарттарды, т.б. пайдалануға болады.

Буындардың көлденең қималарының алынған сызықтық өлшемдерін кез келген буынның кез келген қимасында және механизмнің кез келген орнында кернеуді анықтай отырып тексеруге болады, бұл мән рұқсат етілетін (мүмкіндік) кернеуден аспауы тиіс.

Диссертациялық жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы. Бұл диссертациялық жұмыс «Роботтытехникалық жүйелер мен механизмдердің беріктігі мен қатаңдығын болжаудың аналитикалық теориясын жасау» (2015-2017гг., №ГР0115РК00783) жаратылыстану ғылымдары облысындағы фундаменталды зерттеулердің грант арқылы қаржылану бағдарламасының жобаларының шектерінде орындалған.

Жұмыс апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі ойлары және нәтижелері келесі ғылыми шараларда баяндалған және талқыланған:

- Халықаралық ғылыми-практикалық конференция: «Жүз нақты қадам. Баршаға бірдей осы заманғы мемлекет» - еліміздің индустриялық-инновациялық дамуының стратегиялық жолы (Шымкент, Қазақстан, 29-30 қазан 2015 ж.);
- 7th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2016) (Crete, Greece, June 5-10, 2016);
- Республикалық ғылыми-әдістемелік конференция «Механика мен математиканың өзекті мәселелері», Л.Н. Гумилев атын. Еуразиялық ұлттық университетінің 20-жылдық мерейтойына және Л.Н. Гумилев

атын. Еуразиялық ұлттық университетінің механика-математика факультетінің «Механика» кафедрасының 10-жылдық мерейтойына арналған (Астана, Қазақстан, 14-15 қараша 2016 ж.);
- 2nd International Conference on Robotics, Control and Automation (ICRCA 2017) (Kitakyushu, Japan, September 15-18, 2017);
- әл-Фараби атын. ҚазҰУ механика кафедрасының ғылыми семинарлары (Алматы, Қазақстан, 2015-2018 жж.).

Жарияланымдар. Диссертация тақырыбы бойынша автор 8 жұмыс жариялады, солардың ішінде ғылыми жұмыстың негізгі нәтижелерін жариялау үшін ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған ғылыми басылымдарда 3 жарияланымдар; Scopus және Web of Science дерекқорымен индекстелетін халықаралық ғылыми журналдарында 1 және ғылыми конференциялардың еңбектерінде 2 жарияланымдар; отандық конференциялар материалдарында 2 жарияланымдар.

Автордың жеке қосқан үлесі:

- таралған динамикалық жүктемелерді ескере отырып, жазық механизмдер мен манипуляторлардың беріктігі мен қаттылығын есептеу әдістемесін жасау процесінің барлық кезеңдеріне қатысты;
- механизм мен манипулятордың қозғалысын іске асыратын және оның буындарының массаларынан пайда болатын таралған динамикалық жүктемелердің; ию моменттері, көлденең және бойлық күштердің; буын қималарының бойлық, көлденең орын ауыстырулары мен бұрылу бұрыштарының эпюрларын тұрғызатын және механизмнің толық жұмыс процесінде буындардың беріктігін қамтамасыз ететін рационалды пішінді, ең аз ауданды көлденең қималардың сызықты өлшемдерінің сандық мәндері анықтау программаларын жасауға ізденуші тікелей қатысты;
- зерттеу нәтижелерін апробациялауға жеке қатысу;
- орындалған жұмыс бойынша негізгі жарияланымдарды дайындау.

Диссертацияның құрылысы мен көлемі. Диссертациялық жұмыста негізгі бет, мазмұн, кіріспе, бес бөлім, қорытынды және 65 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздер тізімі берілген. Диссертацияның жалпы көлемі 91 бет, соның ішінде 45 сурет және 2 кесте.

Диссертациялық жұмыстың негізгі мазмұны. Кіріспеде зерттелетін мәселенің қазіргі күйін талдай отырып, қазіргі бар жұмыстарға шолу жасалды; диссертациялық зерттеу тақырыбының өзектілігі негізделді; жұмыстың мақсаты, нысаны, зерттеу міндеттері, ғылыми жаңалығы, теориялық және практикалық маңыздылығы, қорғауға шығарылатын негізгі қағидалары, диссертация тақырыбы бойынша жарияланған жұмыстар туралы мәліметтер және оның әзірлену дәрежесі қамтылды.

Диссертацияның **бірінші бөлімі** кинематикалық талдау мен буындар бойындағы көлденең және бойлық динамикалық жүктемелердің таралу заңдылықтарын анықтауға арналған. Қарастырылатын механизм мен манипулятор буындарына әсер ететін көлденең және бойлық таралған динамикалық жүктемелердің эпюрлері тұрғызылған механизм мен манипуялтор қозғалысын іске асыратын программалар жасалды.

Диссертацияның **екінші бөлімінде** буындардың аппроксимациялау матрицалары және осы аппроксимациялау матрицалары мен қарастырылатын қимадағы ішкі күштердің ізделінетін шамалары арқылы өрнектелген ішкі күштер зерттеледі. Элементтер мен механизмдердің дискретті модельдерін құру үшін есептеу және шартты сұлбалар келтірілді. Стерженді механизмдердің серпімді есебін шешу үшін Даламбер қағидасына негізделіп, механизмдер қимыл дәрежесі нөлге тең болатын конструкцияларға (механизмнің есептеу сұлбасына) келтірілді. Механизмнің есептеу сұлбасының буындардағы (элементтердегі) ішкі күштерді анықтау үшін конструкция элементтер мен түйіндерге бөлінген. Элементтердің дискретті модельдерін құру үшін шартты сұлбалар пайдаланылған, бұл сұлбалар қарастырылатын қимадағы ішкі күштердің ізделінетін шамаларын көрсетеді. Қимасы тұрақты элементтердің дискретті модельдері және механизмнің жалпы дискретті моделі құрылды.

Үшінші бөлімде сыртқы қадалған күштер мен таралған динамикалық жүктемелер әсеріндегі механизмнің дискретті моделінің элементтері мен түйіндерінің динамикалық тепе-теңдік теңдеулері келтірілді. Осы теңдеулер көмегімен алтыбуынды механизмнің ішкі күштерін аналитикалық түрде анықтауға шешуші теңдеулер алынды. Алтыбуынды механизм мен екі еркіндік дәрежесі бар манипулятор үшін шешімдер келтіріліп, механизм мен манипулятордың қозғалысын іске асыратын және оның буындарында июші моменттердің, көлденең және бойлық күштердің эпюрларын тұрғызатын компьютерлік программалар әзірленді.

Төртінші бөлімде механизмдердің буындарының көлденең қималарындағы көлденең және бойлық орын ауыстыруларды, бұрылу бұрыштарын аналитикалық анықтау алгоритмдері жасалды. Буын қималарындағы көлденең орын ауыстыруларды, бұралу бұрыштарын анықтау үшін арқалықтың серпімді сызығының негізгі дифференциалдық теңдеуі, буын нүктелерінің бойлық орын ауыстыруларын анықтау үшін Гук заңы, және де серпімді есептеуге қажет зерттелетін серпімді жүйелердің есептеу схемаларының шекаралық шарттары қолданылды. Жасалған алгоритм бойынша механизмнің қозғалысын іске асыратын және оның буындарында көлденең қималарының көлденең және бойлық орын ауыстыруларының,

бұрылу бұрыштарының эпюрларын тұрғызатын компьютерлік программалар әзірленді.

Бесінші бөлімде буындардағы кернеулерді мүмкіндік кернеу бойынша шектеу арқылы механизмдер мен манипуляторлардың жалпы массасын минимизациялау алгоритмдері мен компьютерлік программалар әзірленді және мысал ретінде, жазық алтыбуынды механизмі үшін буындар қимасының геометриялық сипаттамалары, сызықтық өлшемдері, ішкі күштердің максимал мәндері және буындар салмағы анықталды.

Қорытындыда диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері мен қорытындылары, қойылған міндеттердің толық шешілуін бағалау, нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар мен бастапқы деректер, енгізудің техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау, орындалған жұмыстың осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда ғылыми деңгейін бағалау келтірілді.