АЙНАКЕЕВА НУРСАУЛЕ ЖҰМАТҚЫЗЫ

ГРАФТАҒЫ ҚЫЗУСЕРПІМДІ ҚҰРЫЛМАЛАРДЫҢ ДИНАМИКАСЫН МОДЕЛЬДЕУ

АННОТАЦИЯ

диссертацияға 8D05403 «Механика» білім беру бағдарламасы бойынша сәйкес философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Термосерпімділік теориясы қарқынды динамикалық және термиялық жүктемелер жағдайында жұмыс істейтін әртүрлі заманауи құрылымдардың дамуы мен салынуына байланысты айтарлықтай даму алды. Термосерпімділік серпімділіктің классикалық теориясы мен жылу өткізгіштік теориясының қорытуы бола отырып, қолданбалы мәселелердің кең ауқымын сипаттайды. Құрылыста және машина жасауда штангалық құрылымдар ғимараттар мен құрылыстардың тірегі ретінде, әртүрлі механизмдер мен машиналарды байланыстыратын және трансмиссиялық буын ретінде кеңінен қолданылады. Жұмыс кезінде олар әртүрлі термиялық және механикалық әсерлерге ұшырайды, бұл құрылымдар мен құрылыстарда күрделі кернеулі-деформациялық күйді тудырады. Мұндай жағдайларда сенімділік пен қауіпсіздікке қойылатын талаптар да артады. Штангалық құрылымдардың (ШҚ) жылу кернеулік күйін анықтау өзекті ғылыми-техникалық міндет болып табылады.

Жұмыстың мақсаты. Стационарлық емес және периодтық күш пен жылулық жүктемелердің әсерінен олардың физикалық, механикалық және геометриялық параметрлерін ескере отырып, термосерпімді өзек құрылымдарының кернеулі-деформациялық күйін графтағы бойынша зерттеу.

Зерттеу мақсаттары :

- Термосерпімді өзектер динамикасының теңдеулерінің іргелі және жалпыланған шешімдерін құру. Байланыспаған термосерпімділік теңдеулерінің Грин тензорын құру, сандық орындау және оның қасиеттерін зерттеу.
- Владимиров В.С. әдісі бойынша құрастыру және шешу. Термосерпімді шексіз өзекшенің динамикасының Коши есептері. Сандық орындау, өзекшенің термиялық кернеу-деформациялық күйін есептеу және бөлінген күш пен жылу көздерінің әсерінен ерітіндіні талдау.
- Периодтық және стационарлық емес сыртқы күш және жылу әсерлері кезіндегі жалпыланған функциялар әдісін қолдана отырып, шекті ұзындықтағы термосерпімді өзектер динамикасының сегіз шекаралық есептерін тұжырымдау және аналитикалық шешу;
- Периодты сыртқы күш пен жылу әсерінен термосерпімді өзекшенің динамикасының бірінші және екінші шекаралық есептерін сандық орындау. Температураның периодты ауытқуы және өзекшенің ұштарында кернеуі бар әртүрлі материалдардың жылжуын және температураларын есептеу. Термиялық кернеу күйін анықтау және оны талдау.
- Дирихле және Нейман шекаралық шарттарының ұшында N-жұлдызды жылу графы бойынша температуралық шекаралық есептерді шығару және аналитикалық шешу.
- Ұшында Дирихле және Нейман шекаралық шарттары бар N-жұлдызды серпімді графтағы шекаралық есептерді шығару және аналитикалық шешу.
- Дирихле және Нейман шекаралық шарттары бар термосерпімді N-жұлдыз графының динамикасының шекаралық есептерін тұжырымдау және аналитикалық шешу.
- Графтың ұштары мен оның ұштарындағы температураның берілген периодты орын ауыстырулары үшін термосерпімді екі буынды графтың динамикасының шекаралық есептерін шешудің сандық орындалуы. Термиялық кернеу күйін анықтау және графтың байланыстардың термосерпімді параметрлерін және температура ауытқуларының, жылу ағындарының, оның ұштарындағы жылжулар мен кернеулердің әртүрлі жиіліктерін талдау.

Зерттеу пәні . Зерттеу пәні гипербола-параболалық дербес дифференциалдық

теңдеулер жүйесімен және оларға арналған шекаралық есептермен сипатталатын қосылмаған термосерпімділіктің математикалық үлгілеріне негізделген өзек құрылымдарының математикалық модельдері болып табылады.

Зерттеу объектісі термосерпімді өзекшелер және термосерпімді өзек құрылымдары – термосерпімді графтары.

Зерттеу әдістері. Серпімділік пен термосерпімділік теориясының математикалық модельдері, гиперболалық, параболалық және параболалық-гиперболалық типтердің дербес дифференциалдық теңдеулер теориясы, жалпыланған функциялар теориясы, Фурье және Лаплас түрлендірулері, сызықтық алгебра әдістері, жалпыланған функциялар әдісі, В.С. Владимиров әдісі, Маткад 15 жүйесіндегі компьютерлік тәжірибелер.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы.

Жалпыланған функциялар әдісі пайдалана отырып , кеңістіктік бір өлшемді жағдайдағы байланыспаған термосерпімділік теңдеулері үшін Грин тензоры құрылды және оның қасиеттері зерттеледі. Баяу өсудің жалпыланған функциялар класынан ерікті жылу және күш әсерлері кезіндегі термосерпімді стержень динамикасының теңдеулерінің жалпыланған шешімдері құрастырылған, бұл соққы күші мен жылу жүктемелерінің әсерінен өзекшелердің жылу кернеулік күйін зерттеуге мүмкіндік береді.

Ақырғы ұзындықтағы өзекшелердің термодинамикасының стационарлы емес және стационарлы шектік есептерін шешу үшін жалпыланған функциялар әдісі әзірленді, ал периодты және стационар емес сыртқы күш пен жылу әсерлері кезіндегі сегіз шекаралық есептерге аналитикалық шешімдер құрастырылды.

Периодты сыртқы күш және жылу әсерлері кезіндегі термосерпімді өзекшенің динамикасының бірінші және екінші шекаралық есептерінің сандық орындалуы орындалды. Өзекшенің орын ауыстырулары мен температуралық өрісінің есептеулері жүргізіліп, оның термиялық кернеу күйі анықталды. Өлшемсіз параметрлерді пайдалану әртүрлі термодинамикалық сипаттамалары бар материалдар үшін нәтижелерді жалпылауға мүмкіндік береді.

Жалпыланған функциялар әдісі (ЖФӘ) бойынша негізінде N-жұлдызды жылу графы бойынша берілген температураларда немесе оның ұштарындағы жылу ағындарында шекаралық есептерді шешу әдістемесі жасалды. Графтардың байланыстардың кез келген геометриялық және жылулық параметрлері үшін әрбір графтық буынның температурасын анықтау үшін теңдеулер шешу жүйелері құрастырылады. Периодтық тербеліс кезінде графтың жылулық күйін зерттеуге мүмкіндік беретін аналитикалық есептеу формулалары құрастырылды. Стационарлы емес есептер үшін кері Фурье түрлендіруі қолданылады.

ЖФӘ бойынша негізінде N-жұлдызды термосерпімді графы бойынша оның ұштарында берілген орын ауыстырулары немесе кернеулері бар шекаралық есептерді шешу әдісі жасалды. Граф буындардың кез келген геометриялық және серпімді параметрлері үшін әрбір графтық буынның орын ауыстыруларын, деформацияларын және кернеулерін анықтау үшін шешуші теңдеулер жүйелері құрастырылады. Периодтық тербеліс кезінде серпімді графтың кернеулі-деформациялық күйін зерттеуге мүмкіндік беретін аналитикалық есептеу формулалары құрастырылды. Стационарлы емес есептер үшін кері Фурье түрлендіруі қолданылады.

Жылулық және серпімділік графтарындағы шекаралық есептердің шешімдерін қолдана отырып, N-жұлдызды термосерпімді графта оның ұштарындағы берілген орын ауыстырулар немесе кернеулер, температуралар немесе жылу ағындары үшін стационарлық және стационарлы емес шекаралық есептерді шешу әдісі әзірленді.

Жасалған әдістемені сынау үшін шекті ұзындықтағы термосерпімді шыбықтар мен екі буынды жылу және серпімді графтар бойынша Дирихле және Нейман шарттарымен шекаралық есептерді шешудің сандық орындалуы жүргізілді. Өткізілген сандық тәжірибелер графтар бойынша есептерді шығарудың әзірленген әдісінің жоғары дәлдігін көрсетті. Бұл әдістің артықшылығы - оны кез келген құрылымның графтарында қолдануға болады. Мысалы, сызықтық және желілік құрылымдар.

Қорғауға ұсынылған ғылыми ережелер.

- Термосерпімді өзекшенің динамикасының теңдеулерінің іргелі және жалпыланған шешімдері құрастырылған. Байланыспаған термосерпімділік теңдеулерінің Грин тензоры құрылып, оның қасиеттері зерттелді. Тензордың сандық орындалуы жүргізілді және оның қасиеттері әртүрлі термосерпімді параметрлері үшін зерттелді.

- Термосерпімді өзекшенің динамикасының Коши есебінің шешімі құрастырылды. Сандық іске асыру орындалды, штанганың термиялық кернеу-деформация күйі есептелді және ерітінді талданды.

- Периодты және стационар емес сыртқы күш және оның ұштарында жылу әсерлері кезіндегі шекті ұзындықтағы термосерпімді өзекшенің динамикасының сегіз шекаралық есептері қойылды. Олардың шешімдері жалпыланған функциялар әдісі арқылы аналитикалық түрде құрастырылады.

- Периодты сыртқы күш пен жылу әсерінен термосерпімді өзекшенің динамикасының бірінші және екінші шекаралық есептерін сандық орындау аяқталды. Температураның периодты ауытқуы мен стерженнің ұштарында кернеуі бар стерженнің жылжулары мен температурасының есебі жүргізілді. Оның термиялық кернеу күйі анықталды. Өлшемсіз параметрлерде орындалған есептеулер термодинамикалық параметрлерін ескере отырып, әртүрлі материалдардан жасалған өзекшенің термиялық кернеу күйін анықтауға мүмкіндік береді.

- N-жұлдыз графының термодинамикасының бірінші шекаралық есебі графтың ұштарының берілген стационарлы емес және периодты қозғалыстары мен оның ұштарындағы температура үшін берілген. Оның аналитикалық шешімі графтың әрбір шетіндегі температура мен орын ауыстыруды анықтайтын уақыт бойынша Фурье түрлендірулерінің кеңістігінде тұрғызылады.

- Ұштарындағы орын ауыстырулар мен температураның периодты тербелістері бар термосерпімді екі буынды графтың динамикасының бірінші шекаралық есебінің шешімін сандық орындау аяқталды. Әртүрлі тербеліс жиіліктері мен ортаның термосерпімді параметрлері үшін ерітіндінің көппараметрлі талдауы жүргізілді.

- N-жұлдызды термосерпімді графтың термодинамикасының екінші шекаралық есебі берілген стационарлық емес және периодтық кернеулер мен оның ұштарындағы жылу ағындары үшін берілген. Уақыт бойынша Фурье түрлендірулерінің кеңістігінде аналитикалық шешім құрастырылады, ол графтың әрбір жиегіндегі температура мен орын ауыстыруды анықтайды.

- Ұштарындағы кернеулер мен жылу ағындарының периодты тербелістері бар термосерпімді екі буынды графтың динамикасының екінші шекаралық есебін шешудің сандық орындалуы аяқталды. Әртүрлі тербеліс жиіліктері мен ортаның термосерпімді параметрлері үшін ерітіндінің көппараметрлі талдауы жүргізілді.

Ғылыми позициялардың, қорытындылардың сенімділігі мен негізділігі диссертация нәтижелері . Нәтижелердің сенімділігі термосерпімділіктің классикалық математикалық үлгілерін қолданумен , стержендік құрылымдардың термодинамикасының қойылған шекаралық есептерін шешудің қатаң аналитикалық әдістерімен, теориялық тұрғыда құрастырылған шешімдердің оларды MatCad 15 жүйесінде жоғары жылдамдықпен іске асыру нәтижелерімен сәйкес келуімен расталады. Құрылымдардың әртүрлі геометриялық және физикалық-механикалық параметрлері бойынша сандық тәжірибелерді орындау.

Теориялық және практикалық маңызы. Өзек құрылымдардың әртүрлі техникалық салаларда кеңінен қолданылады. Өзек жүйелері көпірлер мен электр желілерінің тірек құрылымдары ретінде құрылымдық механикада кеңінен қолданылады . Олардың басты артықшылығы - төмен дизайн салмағы бар жоғары жүк көтергіштігі. Өзек конструкциялар машина жасауда әртүрлі механизмдер мен машиналарды жалғастырушы және беріліс буындары ретінде кеңінен қолданылады. Жұмыс кезінде бұл жүйелер әртүрлі термиялық және механикалық әсерлерге ұшырайды, бұл құрылымдарда күрделі кернеу-деформациялық жағдай жасайды. Сыртқы күш пен термиялық әсерлердің кең диапазонында өзек құрылымдарының жылу кернеулік күйін анықтау үшін термосерпімді орталардың әртүрлі модельдерін пайдалана

отырып, олардың термодинамикасын математикалық модельдеуге негізделген тиімді математикалық зерттеу әдістерін жасау қажет. Математикалық модельдеу әдістерін қолдану стерженділік құрылымдарда және олардың элементтерінде болатын физикалық процестерді олардың термофизикалық сипаттамаларын ескере отырып зерттеуге және жобалау кезеңінде олардың термодинамикалық күйін анықтауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде белгілі жұмыс жағдайларындағы өнімнің әрекетін болжауға негіз болады. Бұл жағдайда тек есептеу модельдерін жасау ғана емес, сонымен қатар модельдерді зерттеудің тиімді алгоритмдерін жасау маңызды.

Аналитикалық және сандық әдістерді әзірлеу графтың бойынша бөлінген параметрлері бар теңдеулер жүйелері үшін сәйкес тікелей және кері есептерді талдауға негізделген. Ең алдымен, бұл квадраттық интегралданатын функциялар кеңістігіндегі сәйкес шекаралық есептердің меншікті функцияларының спектрлік толықтығы мен базистік қасиетін талдау, сонымен қатар практикалық орындау үшін қолайлы кері есептердің шешімдерінің бірегейлігінің шарттарын табу. Графтардағы дифференциалдық теңдеулер үшін шекаралық есептердің тарихы салыстырмалы түрде қысқа. Жұмыстардың басым бөлігі спектрлік теория мәселелеріне арналған (Г. Люмер, Ю. Белов, С. Никайз, О. Пенкин, Г. Борг, Б. Левитан, т.б.). Графтардағы толқындық теңдеуді зерттеумен айналысты

Ф.Әли-Мехмети, К.Каттанео және Л.Фонтана, Дж.Фридман және Дж.П. Тіуі және т.б. Соңғы он жылдықтарда жұмыстың көп бөлігі серпімді жүйелерді басқаруға, бақылауға және тұрақтандыруға арналған (Кокс пен С. Суазуа және басқа авторлардың жұмыстарын қараңыз). Сызықтық дифференциалдық операторлар шоғыры түріндегі ағаш типті граф таяқшалар жүйесіндегі жылу таралу процесін математикалық модельдеу Ю. Мартынов . Қазіргі уақытта әртүрлі құрылымды графтардың шекаралық есептер теориясы қарқынды дами бастады.

Сондай-ақ, әр түрлі физикалық-механикалық қасиеттері бар шекті ұзындықтағы өзекшелердің жылу кернеулік күйін зерттеуді тек бірнеше авторлар жүргізетінін және негізінен Құдайқұлова А., Жұмадиллаева А., Мишенко А., Мишенко А. және басқалардың еңбектеріндегі стерженділердің статикалық және квазистатикалық кернеулік күйін зерттеудің сандық ақырлы элементі мен шекті айырым әдістері негізінде жүргізілетінін атап өткен жөн.

Диссертацияда ұсынылған жұлдыздық графтар бойынша термодинамика мәселесін тұжырымдау кезінде оны бұрын ешкім қоймаған немесе шешпеген. Бұл зерттеулер жаңа болып табылады және термосерпімділік теориясын, стерженьдер мен таяқша құрылымдарының термодинамикасын дамытуға, сонымен қатар дифференциалдық графтар бойынша гиперболалық-параболалық жүйелер үшін шекаралық есептерді шешуге арналған математикалық физика әдістерін дамытуға теориялық үлес ретінде қызмет етеді.

Ақырғы ұзындықтағы құрама жалпыланған функциялар әдісін қолдануға негізделген композициялық өзек конструкцияларының құрылымдық элементтерінің жылу кернеулік күйін модельдеу және есептеу үшін ұсынылған әдіс осындай құрылымдардың беріктік қасиеттерін жобалау және зерттеу кезінде инженерлік тәжірибеде қолдануға өте ыңғайлы аналитикалық формулаларды алуға мүмкіндік берді. Айта кету керек, бұл термосерпімділік моделі құрылыс конструкцияларын, машиналар мен механизмдерді жобалау стандарттарында кеңінен қолданылады , сондықтан диссертацияда жүргізілген зерттеулер тәжірибеде сұранысқа ие болады.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация көлемі 110 беттен тұрады: кіріспеден, үш тараудан, қорытындыдан және 72 атаудан тұратын библиографиядан.

Диссертацияның негізгі мазмұны. Диссертацияда біртекті емес жұлдыз графтар бойынша стерженділік құрылымдардың термодинамикасын модельдеудің математикалық әдістері әзірленген.

Диссертацияның бірінші бөлімінде *байланыспаған термосерпімділік теңдеулері* арқылы термосерпімді стерженьдің моделі қарастырылады. Мәселе күш әсерінен және термиялық бұзылу көздерінің әсерінен термосерпімді өзек құрылымдарының динамикасын сипаттайтын кеңістіктік бір өлшемді жағдайда байланыспаған термосерпімділік теңдеулерінің іргелі

шешімдерін құрудан тұрады. Жалпыланған функцияларды Фурье түрлендіру теориясы негізінде Грин тензор және ерікті массалық күштер мен жылу көздері үшін термосерпімділік теңдеулер жүйесінің жалпыланған шешімдері құрастырылған. MatCad 15 жүйесінде Грин тензорды және бірқатар құрастырылған шешімдерді компьютерлік іске асыру жүзеге асырылды . Әртүрлі сыртқы әсерлер кезінде өзекшенің орын ауыстыруларды, температураны және кернеулерді сипаттайтын сандық тәжірибелердің графтары келтірілген. Байланыспаған термосерпімділік теңдеулер жүйесі үшін Коши есебі қарастырылады. Владимиров В.С. әдісін қолдану. жалпыланған функциялар кеңістігінде мәселе қойылып, оның жалпыланған шешімі алынды. Оның тұрақты интегралдық көрінісі құрастырылған.

Екінші тарауда, ЖФӘ негізінде, әр түрлі шекаралық жағдайларда оның ұшында да, ұзындығы бойынша да орын ауыстырулар, кернеулер, температуралар және жылу ағындары бойынша шекті ұзындықтағы шыбықтар үшін шекаралық есептерді шешу әдісі әзірленді, оны термиялық қыздыру жағдайында әртүрлі өзекшенің құрылымдарды зерттеу үшін қолдануға болады.ЖФӘ артықшылығы оның барлық қойылған тапсырмалардың бастапқы және шекаралық шарттарын қамтитын шешуші теңдеулер жүйесін алуға мүмкіндік беруінде. Сондықтан әрбір шекаралық есептерді жеке шешудің қажеті жоқ. Құрылған шешімдердің ерекшелігі оларды инженерлік есептеулер үшін ыңғайлы етеді, өйткені өзекшенің ұштарындағы әрбір шекаралық шарттың оның термиялық кернеу күйіне әсерін зерттеуге мүмкіндік береді. Құрылған шешімдердің ерекшелігі оларды көп буынды графтағы шекаралық есептерді шешуге ыңғайлы етеді.

Үшінші тарауда термиялық қыздыру-салқындату жағдайында әртүрлі өзекшенің құрылымдарды зерттеу үшін пайдаланылуы мүмкін термосерпімді жұлдыз графтағы шекаралық есептер қарастырылады. ЖФӘ негізінде жұлдыз граф бойынша әртүрлі типтегі жылу көздері мен күштің әсерінен термосерпімділіктің стационар емес тікелей шекаралық есептерінің шешімдері құрастырылған. Қойылған шекаралық есептердің аналитикалық шешімін қамтамасыз ететін теңдеулер шешуші жүйелер және жалпыланған шешімдердің тұрақты интегралдық бейнелері алынды.

Бұл жұмыстың басқа зерттеу жұмыстарымен байланысы. Бұ жұмыс жаратылыстану ғылымдары саласындағы іргелі зерттеулерді гранттық қаржыландыру бағдарламасының «Деформацияланатын қатты және электромагниттік орталар динамикасының шектік есептері және оларды шешу» (2018-2020 ж., AP05132272, № GR 0118РК00479, «Электрондық толқындардың графтың зерттеу мәселелері») жобалары шеңберінде жүзеге асырылды. (2021-2023 ж., AP09261033, № ГР 022РК00530), «Графтағы термосерпімді өзек құрылымдарындағы жылу және толқындық процестерді модельдеу» (2024-2026 ж., AP23488145, № GR 0124РК00588).

Жарияланымдар. Диссертация тақырыбы бойынша 10 мақала жарияланған. Оның ішінде 3 мақала Scopus деректер базасы бойынша индекстелген ғылыми журналдарда, 3 мақала Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым комитеті ұсынған отандық журналдарда. Жұмыстың негізгі нәтижелері 13 халықаралық конференциялар мен конгрестерде баяндалды.

Автордың жеке үлесі. Шекаралық есептерді тұжырымдау және зерттеу әдістерін ғылыми жетекшілер ұсынды . Шектік есептердің шешімдерін құрастыру, алгоритмдер жасау және олардың шешімдерін бағдарламалық қамтамасыз етуді олардың жетекшілігімен диссертация авторы жүзеге асырды . Алынған шешімдерді талдау және зерттеу материалдары негізінде мақалалар дайындау ғылыми және жетекші құраммен бірлесіп жүргізілді . Мақалаларды безендіруді және олардың жарияланымдарын ұсынуды автор жүзеге асырды. Диссертация тақырыбы бойынша зерттеу нәтижелерін автор халықаралық конференцияларда да баяндады.

Алғыс. Автор отандық ғылыми кеңесші, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор Людмила Алексеевна Алексееваға ғылыми жетекшілігі, баға жетпес көмегі және диссертациялық жұмыстың барлық кезеңдерінде құнды кеңестері үшін және шетелдік ғылыми кеңесші, PhD докторы, Данила Александрович Приказчиковке қолдау көрсеткені, ғылыми сапарда консультациялары үшін үлкен алғысын білдіреді (Keele University, UK).