

**«6D070500 – Математикалық және компьютерлік модельдеу»
мамандығының PhD докторанты Асқарова Аселдің
«Ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған стержендегі бейсызқты
термомеханикалық процесстерді компьютерлі-математикалық модельдеу»
тақырыбындағы диссертациялық жұмысына**

АНДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Көптеген жылу көзімен істейтін құрылғылардың негізгі құрылым элементтері стержендерден құралады. Яғни құрылым элементтерінің дұрыс жұмыс істеуі әр бір стерженде пайда болатын термомеханикалық құбылыстарды зерттеуге алып келеді. Сондықтан да, көптеген жылу көздерінде істейтін құрылғылар: металлургиялық комбинаттар, мұнайды қыздыру құрылғылары, ішкі жану құрылғылары, реактивті құрылғылар, газо-генераторлық станциялар, жылу энергия станциялары, атом энергия станцияларының негізгі құрылым элементтері жылу көздерінің әсерінде істейді. Ол құрылым элементтерінің негізгі бөлшектері стержендерден тұрады. Сол себепті де, әр түрлі жылу көздерінің әсерінде стерженде болатын термомеханикалық процесстерді зерттейтін компьютерлі-математикалық модельдер құру қазіргі заманымыздың ең өзекті мәселелерінің бірі болып табылады.

Стержендегі термомеханикалық процесстерді зерттеудің негізін 20 ғасыр зерттеушілері Л. Сегерлинг, М.Б. Зинкеевич, С.П. Тимашенко сияқты әйгілі ғалымдардың классикалық жұмыстарынан бастау алынды. Қазіргі заман зерттеушілерінің ішінен He Yang – The University of Sheffield (Ұлыбритания), Keyan Li – Dalian University of Technology (Қытай), N.Bontcheva – Механика институты, Болгария, Ресей елінің зерттеушілері П.Н. Разжилов МГУ, Е.М. Смирнов Санкт-Петербургтық политехникалық университеті, А.С. Шпагин ГНЦРФ жұмыстарында бірқатар жаңашылдық пен ерекшеліктердің негіздері көрінді. Қазіргі уақытта осы тақырыпты кеңінен зерттеп жүрген бірқатар отандық ғалымдар бар. Олар: А.Қ. Құдайқұлов, А.А. Ташев, А.Н.Төреходжаев, Е.Аринов және т.б..

Мыс балқыту, алюминий және металлургия зауыттарының технологиялық желілерінде негізгі құрылымдардың көтергіш стержендері күрделі жылу өрісінде жұмыс істейді. Ядролық реакторлардың, жылу электр станцияларының, ірі газды электр станцияларының, іштен жанатын қозғалтқыштардың, реактивті қозғалтқыштардың және мұнай жылыту қондырғылары мен зауыттардың жүктеме элементтері стерженді элементтер болып табылады. Бұл стержендер жоғары температура мен ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған. Жоғарыда аталған жабдықтардың сенімді жұмыс істеуі үшін стержень элементтерінің жылу беріктігін қамтамасыз ету қажет. Мұндай стержендердің термомеханикалық күйін зерттеу үшін арнайы модельдер, әдістер, қолданбалы бағдарламалар жасалуы қажет. Шекті ұзындықтағы жылуға төзімді қоспалардан жасалған стержендердің әртүрлі

жылу көздері әсерінде туындайтын термо-механикалық күйлерін зерттеу және сол күйлерді компьютерлі-математикалық модельдеу заманауи қозғалтқыштар жасауда өзекті мәселелер болып табылады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты. Бұл диссертациялық жұмыстың мақсаты энергияның сақталу заңы негізінде шекті ұзындықтағы стержендерде әртүрлі жылу көздері әсерінен туындайтын сызықты емес термо-механикалық процестердің компьютерлік-математикалық модельдерін құру. Мұнда жылу көздері деп локалдық температуралар, жылу ағындары, жылу алмасулар және жылу изоляциялары айтылады. Сондай-ақ әртүрлі қоспалардан жасалған стержень материалдарының жылудан кеңею коэффициенттерінің температураға тәуелділігі де есепке алынады.

Зерттеудің міндеттері:

- Локалдық сплайн функцияларды құру, қасиеттерін зерттеу;
- Әртүрлі қоспалардан жасалған стержень материалдарының жылудан кеңею коэффициенттерінің температураға тәуелділігін модельдеу;
- Локалдық температура, жылу изоляциясы және жылу алмасу әсеріндегі шекті ұзындықтағы стержень үшін толық жылу энергиясын өрнектейтін функционалды құру, оның интегралданған көрінісін табу, табиғи шекті шарттарды қанағаттандыратын шешуші теңдеулерді құру;
- Локалдық жылу ағыны, жылу алмасу, жылу изоляциясы әсеріндегі шекті ұзындықтағы стержень үшін толық жылу энергиясын өрнектейтін функционалды құру, оның интегралданған күйін табу, табиғи шекті шарттарды қанағаттандыратын шешуші теңдеулерді алу;
- Әртүрлі локалдық жылу көздері әсеріндегі шекті ұзындықтағы стерженнің ұзару мөлшерін анықтау алгоритмін құру;
- Әртүрлі жылу көздері әсеріндегі шекті ұзындықтағы стерженнің екі шеті мықтап бекітілген жағдайда онда пайда болатын остік сығушы күш мөлшерін табу алгоритмін жасау;
- Әртүрлі жылу көздері әсеріндегі шекті ұзындықтағы стерженнің ұзындығы бойынша жылу таралу заңдылығын табу алгоритмін құру;
- Әртүрлі жылу көздері әсеріндегі шекті ұзындықтағы стержендердің ұзындықтары бойынша орын ауыстыру, температуралық, термо-серпімді және серпімді деформациялар мен кернеулердің таралу заңдылықтарын анықтау алгоритмдерін құру;
- Барлық құрылған математикалық модельдер мен алгоритмдерді компьютерге енгізудің Python бағдарламалық кешендерін құру.

Зерттеу объектісі. Әртүрлі локалдық жылу көздері әсеріндегі шекті ұзындықтағы стержень.

Зерттеу пәні. Термо-механика, термо-серпімділік, жылу физикасы, вариациялық есеп.

Зерттеу әдістері. Жұмыста математикалық модельдеу, вариация әдісі, оңтайландыру әдістері, теңдеулер жүйесін шешу әдістері, энергияның негізгі сақталу заңдары және т. б. қолданылады. Ұсынылған әдістер мен алгоритмдерді іске асыру, заманауи Python бағдарламалау тілінде әзірленген қолданбалы бағдарламалар пакеті түрінде жүзеге асырылады.

Квадраттық сплайн функциялар және олардың қасиеттері, энергияның сақталу заңы, табиғи шекті шарттарды қанағаттандыратын шешуші теңдеулерді құру, стерженнің ұзаруымен, остік сығушы күшті табу, температураның, температуралық, термо-серпімділік, серпімділік деформациялары және кернеулердің таралу заңдылықтарын анықтау. Температура өрісі әсеріндегі стержень үшін серпімділік деформациясының потенциал энергиясын құрып, орын ауыстыру заңдылығын табу.

Зерттелетін шекті ұзындықтағы стержень берілген локалдық жылу көздерін есепке ала отыра дискреттеледі. Әрбір дискрет элемент ұзындығы бойынша температураның таралуын аппроксимациялайтын локалдық квадраттық сплайн функция құрылады. Әр элемент үшін толық жылу энергиясын өрнектейтін функционал құрылады. Оның интегралданған күйі табылады. Стержень ұзындығы бойынша функционалдардың қосындысы зерттелетін стерженнің толық жылу энергиясын өрнектейтін функционал болып табылады. Құрылған функционал түйін нүктелерді белгісіз температуралар бойынша минимизацияланып шешуші теңдеулер жүйесі құрылады. Мұнда барлық табиғи шекті шарттар толық есепке алынған болады. Ол жүйенің шешімі түйін нүктелердегі температуралардың мәндері анықталады. Оның нәтижесінде стержень ұзындығы бойынша температураның таралу заңдылығы табылады. Жылу физикасының негізгі заңына сәйкес жылу көздері әсерінен стерженнің ұзару мөлшері анықталады. Деформация сәйкестігінің негізгі шартын пайдаланып екі шеті бекітілген стерженде пайда болатын сығушы остік күштің мөлшері анықталады. Ары қарай термо-серпімділік теориясының негізінде стержень ұзындығы бойынша температуралық, термо-серпімділік, серпімділік деформацияларымен кернеулердің таралу заңдылықтары анықталады. Орын ауыстыру заңдылығын табу үшін әрбір дискрет элементке тән жылу өрісі мен ішкі серпімді деформацияның потенциал энергиясын өрнектейтін функционал құрылады. Құрылған функционалдың интегралданған күйі табылады. Оны түйін нүктелердің орын ауыстырулары бойынша минимизациялап негізгі шешуші теңдеулер жүйесі құрылады. Мұнда стерженнің екі шеті бекітілгені есепке алынады. Жүйені шешу нәтижесінде орын ауыстыру таралу заңдылығы табылады. Жоғарыда айтылған алгоритмдер мен модельдер компьютерге Python программа күйінде енгізілген. Сол бағдарлама кешені көмегімен жоғарыда айтылғандардың барлығы үлкен дәлдікпен анықталған.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы.

- Қоспадан жасалған, әртүрлі жылу көздері әсеріндегі шекті ұзындықтағы стерженді дискретизациялау алгоритмі құрылды;
- Жергілікті координата жүйесінде бір дискрет элемент ұзындығы бойынша жылу таралуын өрнектейтін квадраттық сплайн функциялар құрылып, олардың қасиеттері анықталды;
- Әртүрлі жылу көздері әсеріндегі қоспадан жасалған шекті ұзындықтағы стержендердің толық жылу энергиясын өрнектейтін функциялар құру алгоритмдері жасалды;

- Әртүрлі жылу көздері әсеріндегі стерженнің ұзындығы бойынша жылу таралу заңдылығын табу үшін негізгі шешуші теңдеулер жүйесін құру алгоритмі жасалды;
- Бір шеті бекітілген стерженнің әртүрлі жылу көздері әсерінен ұзару мөлшерін табу алгоритмі құрылды;
- Екі шеті бекітілген стерженде әртүрлі жылу көздері әсерінен пайда болатын остік сығушы күш мөлшерін анықтау алгоритмі жасалды;
- Екі шеті бекітілген стерженнің ұзындығы бойынша температуралық, термо-серпімділік, серпімділік деформацияларымен кернеу өрістерін анықтау әдістері жасалды;
- Әртүрлі жылу көздері әсерінен стерженде туындайтын орын ауыстыру заңдылығын анықтау алгоритмі құрылды;
- Әртүрлі жылу көздері әсерінен қоспадан жасалған стерженнің термо-механикалық күйін өрнектейтін компьютерлік-математикалық модель құрылды;
- Құрылған алгоритмдер мен модельдер компьютерге Python бағдарламалары күйінде енгізілді.

Алынған нәтижелердің теориялық және тәжірибелік маңызы. Зерттеу жұмысының теориялық маңызы қоспадан жасалған шекті ұзындықтағы стерженнің әртүрлі жылу көздері әсерінен термо-механикалық күйін зерттеуде фундаменталдық энергияның сақталу заңының қолданылуына негізделген алгоритмдер, модельдер болып табылады. Диссертациялық зерттеудің практикалық маңызы фундаменталдық энергияның сақталу заңын қолданбалы өзекті және күрделі инженерлік мәселелерді шешуде қолданылуында; құрылған алгоритмдер мен модельдер, Python бағдарламалары көптеген өзекті қолданбалы мәселелерді үлкен дәлдікпен шешуге мүмкіндік береді.

Қорғауға шығарылған негізгі тұжырым. Фундаменталдық энергияның сақталу заңы негізінде қоспадан жасалған шекті ұзындықтағы стерженнің әртүрлі локалдық жылу көздері әсерінен термо-механикалық күйін зерттеудің компьютерлік-математикалық моделі құрылды. Қоспадан жасалған шекті ұзындықтағы стерженнің ұзындығы бойынша әртүрлі локалдық жылу көздері әсерінен пайда болатын температураның, температуралық, термо-серпімділік, серпімділік деформацияларымен кернеулердің және орын ауыстырудың таралу заңдылықтарын анықтайтын алгоритмдер мен модельдер алынды. Бір шеті бекітілген шекті ұзындықтағы қоспадан жасалған стерженнің әртүрлі локалдық жылу көздері әсерінен ұзару мөлшерін анықтау алгоритмі құрылған. Екі шеті бекітілген, қоспадан жасалған шекті ұзындықтағы стерженде әртүрлі локалдық жылу көздері әсерінен пайда болатын остік сығушы күш мөлшерін анықтау алгоритмі анықталған. Жасалған барлық алгоритмдер мен модельдер Python бағдарлама тілінде компьютерге енгізілген.

Зерттеушінің жеке үлесі. Көлденең қима ауданы өзгермейтін шекті ұзындықтағы стерженге әртүрлі жылу көздері әсер еткенде пайда болатын термо-механикалық күйлерді зерттеудің компьютерлік-математикалық моделі құрылды. Онда энергетикалық әдіс пайдаланылды. Сондай-ақ, энергетикалық әдіспен негізгі шешуші теңдеулер жүйесін құру жолдарын көрсетілді. Табиғи

шекті шарттарды қалай есепке алу жолдарын көрсетіп және белгілі бір қойылымда мәселенің толық шешімін алып, алынған шешімдердің графикалық және кестелік көрінісіндегі мәндерін талқыланды. Негізінен жұмыс ғылыми кеңесші және шетелдік ғылыми кеңесшімен бірлесе орындалды.

Диссертация құрылымы және көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Зерттеу жұмысының жалпы көлемі 81 бет, оның ішінде 12 сурет, 7 кесте қамтылған.

Бірінші бөлімде зерттеу жұмысының тақырыбы бойынша алдыңғы ғалымдардың еңбектеріне шолу жүргізілді және диссертациялық жұмыстың негізі болып табылатын зерттеу жұмысына қажетті түсініктер, ұғымдар берілген, зерттеу жұмысының тақырыбы бойынша әртүрлі жылу көздері әсерінде болатын шекті ұзындықтағы стерженнің көлденең қимасы ұзындығы бойынша өзгермеген жағдайда стерженде болатын термомеханикалық процестерді өрнектейтін толық жылу энергиясының функционалы зерттелген.

Екінші бөлімде зерттеу жұмысына қажет болатын әрбір шекті элемент ұзындығы бойынша екінші дәрежелі сплайн функциялар құрылды және оның қасиеттері зерттелді. Оның қасиеттері бір элементтен екінші элементке өткенде ізделіп жатқан функцияның үздіксіздігін қамтамасыз етеді. Математикалық зерттеу, дәлелдеу нәтижесінде қол жеткізген нәтижелердің компьютерде моделін құрған.

Үшінші бөлімде диссертациялық жұмыста қарастырылған есептер үшін бағдарламалық кешен құру жұмыстары сипатталған.

Қорытындыда жұмыстың негізгі қорытындылары мен нәтижелері тұжырымдалған.

Диссертация нәтижелерінің апробациясы. Зерттеу жұмысының басты нәтижелері төмендегі конференцияларда, семинарларда баяндалды және талқыланды:

- «Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах Европы и Азии» XXXVII Международной научно-практической интернет-конференции (Переяслав-Хмельницкий, Украина, 29-30 апреля, 2017).

- «Проблемы и перспективы развития современной науки в странах Европы и Азии» III Международной научно-практической интернет-конференции (Переяслав-Хмельницкий, Украина, 30 апреля, 2018).

- Посвященная 80-летию юбилею профессора Бияшева Р.Г «Информатика и прикладная математика» III Международной научной конференции (Алматы, 2018).

Диссертация тақырыбы бойынша 8 мақала және 2 монография жарияланды:

1. Investigation of the Steady Nonlinear-Thermomechanical State of a Rod of Limited Length and Constant Cross-Section in the Presence of Symmetrical Local Thermal Insulation, Lateral Heat Exchanges and End Heat Fluxes // Journal of Advanced Physics. Vol.7, pp.1-5,2018

2. A computational algorithm and the method of determining the temperature field along the length of the rod of variable cross section// Open Engineering, Vol. 8, pp.170-175, 2018 (CiteScore – 1,2; 46 percentile)

3. Жумаханова А.С., Кудайкулов А., Ташев А.А., Калиева Г.С., Асқарова А. Энергетический метод в исследовании установившегося теплофизического состояния стержня переменного сечения при наличии теплового потока, теплообмена и теплоизоляции// Известия Национальной Академии Наук Республики Казахстан. – Алматы, 2017. – №3 (313). – С.38-48.

4. Кудайкулов А., Аршидинова М.Т., Асқарова А. Основные соотношения нелинейных квадратичных элементов и термоупругих энергетических принципов и моделирование термомеханических процессов в стержнях ограниченной длины при наличии переменного теплового потока// Монография. – Алматы, 2017. – ISBN 978-601-208-995-4 – С.147.

5. Кудайкулов А., Аршидинова М.Т., Асқарова А. Численное моделирование термонапряженного состояния заземленного двумя концами стержня при наличии источников тепла// Монография. – Алматы, 2017. – ISBN 978-607-280-996-1 – С.87.

6. Жумаханова А.С., Ногайбаева М.О., Аршидинова М.Т., Бегалиева К.Б., Кудайкулов А., Ташев А.А., Асқарова А. Аналитическое решение задачи о установившемся термомеханическом состоянии стержня ограниченной длины при одновременном наличии концевых температур и боковых теплообмена// Известия Национальной Академии Наук Республики Казахстан. – Алматы, 2018. – №1 (317). – С.25-33.

7. Аршидинова М.Т., Бегалиева К.Б., Кудайкулов А., Асқарова А. Исследование и разработка метода учета наличия локальных поверхностных теплообменов в стержнях переменного сечения// Вестник КазНУ. – Алматы, 2019. – №3 (133). – С.276-283