

**УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ
МВС УКРАЇНИ**

На правах рукопису

СЕЗОНОВА Ірина Костянтинівна

**МЕТОДИ ОБРОБКИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ
ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ПОЛІВ**

**05.13.04 - автоматизовані системи управління
та системи обробки інформації**

А в т о р е ф е р а т

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Иль

Харків - 1996

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00754001 (H)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті будівництва та архітектури

Науковий керівник:

кандидат фізико-математичних наук, доцент Шевченко Людмила Петрівна

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор Путятін Валерій Петрович
2. Кандидат технічних наук, доцент Кухарєв Борис Юхимович

Провідна організація - Інститут кібернетики ім. Глушкова НАН України, м. Київ.

Захист відбудеться 28 червня 1996 року о 14⁰⁰ годні на засіданні спеціалізованої вченої ради К 02.24.03 при Університеті внутрішніх справ МВС України за адресою: м.Харків-80, пр.50-річчя СРСР, 27.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Університету внутрішніх справ МВС України.

Автореферат розісланий 24 травня 1996 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.В.Арістова

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Впровадження комп'ютерів в сучасне виробництво передбачає створення цілого ряду програмних систем, що дозволяють автоматизувати інженерну працю. Коли здійснюється якій-небудь інженерний розрахунок або інженерне проектування, перед дослідником, як правило, виникають в тій чи іншій формі процедури обробки інформації. Ці процедури можуть включати розрахунки, які описують динамічну поведінку об'єкта, що моделюється, обробку та перетворення геометричної інформації, а також синтез нових геометричних форм. При цьому треба враховувати велику кількість різних вимог та обмежень, які диктуються призначенням об'єкта, що моделюється. В зв'язку з вищевикладеним, автоматизація процедур обробки інформації є важливим процесом, особливо для таких високоінформативних задач, як оптимізаційні, зв'язані з обробкою та перетворенням різноманітної інформації.

Дослідженню та вирішенню питань даної проблематики присвячені роботи провідних центрів та дослідників: серед них В.Г. Болтянської, М.В. Банічук, Я.І. Вуряк, В. Куо, Г.І. Марчук, В.П.Путятін, О.О. Ємец, А.А. Шеховцов, Р.П. Федоренко, А.Г. Мурашко. В дослідженнях Ю.Г. Стояна, С.В. Яковлева, М.І. Гіля розглядаються різні методи обробки інформації, їх автоматизація, а також оптимізаційні методи геометричного моделювання.

Суттєвий вклад в питання розробки та впровадження автоматизованих систем управління внесли такі вчені, як В.М. Глушков, В.С. Михалевич, В.І. Рвачов, І.В. Сергієнко, В.І. Скуріхін, К.Д. Жук, О.І. Петренко, О.І. Семетков, Е.Г. Петров, М.А. Кухарьонюк.

У багатьох наукових центрах України, близького та дальнього зарубіжжя здійснюються роботи по створенню автоматизованих систем обробки різноманітної інформації, місцевих програмуючих систем. Ефективні наукові результати в цьому напрямі одержані в роботах Є.О. Ананьєва, Г.М. Големштока, О.Г. Гореліка, М.Грувера, Б. Зімерса, Н.О. Зуділова, Ю.С. Капітонової, О.О. Кравченка, Ж.-Л. Кулона, В.П. Малкова, К.Л. Юценко, О.Л. Перевозчикової, Сабонад'єра Ж.-К., Дж.-Р. Ройя, Е. Скріма.

При цьому число робіт, в яких розглядається комплексна проблема, що включає формування геометрії об'єкта та оптимізацію геометричних і фізичних характеристик, невелике. Актуальними залишаються проблеми автоматизації процесів програмування та вирішення задач, пов'язаних з уточненими місцевими розрахунками та прийняттям рішень про форму об'єкта, що моделюється. Задача полягає в тому, щоб створити спеціалізовану систему обробки геометричної інформації, яка дозволяє без проведення дорогих натурних випробувань зобразити модель на екрані, здійснити необхідні місцеві розрахунки, аналіз одержаних результатів, вирішити оптимізаційну задачу, що задовольняє прийнятні вимоги та подати результати в потрібній формі. Це означає актуальність даної дисертаційної роботи.

Робота виконувалась автором з вересня 1989 р. по вересень 1995 р. на кафедрі інформатики Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури (ХДТУБА) відповідно до цільової комплексної програми Мінвузу УРСР "Створення та розвиток систем автоматизованого проектування (САПР) та їх підсистем" на 1986-1990 рр., заведеної наказом Міністерства вищої та середньої спеціальної освіти УРСР від 10 вересня 1986 р. (завдання ПЛ3.1); республіканської цільової

комплексної науково-технічної програми Мінвузу УРСР "Матеріалосмієть" РН55.08.Ц.07.08 (завдання РН55.08.Ц.02.05.Т6); постанови Міністерства освіти України №68 від 31 березня 1992 р, програма 7 "Створення теорії, методів математичного моделювання та чисельного аналізу лінійних та нелінійних процесів деформування та руйнування складних просторових конструкцій"; тематики госпдоговірних науково-дослідних робіт ХДТУВА, в підприємствами ВО атомного турбобудування "Харківської турбинний завод" (договір №0365); "Харківські теплові мережі" (договір №0576 "Розробка методик, алгоритмів та програм визначення напруги у зварних колінах трубопроводів"); держбюджетної науково-дослідної роботи ХДТУВА "Дослідження проблемних питань автоматизації проектування та управління в будівництві на 1986-1990 рр., затвердженій наказами № 639 від 30.08.89 та №722 від 29.09.89 Міністерства держосвіти СРСР.

Мета роботи. Створення на основі теорії В-функцій, варіаційного методу та ітераційного методу компенсуючих сил спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє автоматизувати завдання та обробку інформації при інженерному проектуванні та комп'ютерному моделюванні конструкцій, працюючих в складних теплових і механічних умовах експлуатації.

Для досягнення мети були поставлені і вирішені такі основні завдання: 1) систематизація та оцінення теоретичних і практичних результатів у галузі розробки методів обробки інформації при моделюванні елементів конструкцій, працюючих в умовах термомеханічного навантаження; 2) розробка методики обробки геометричної інформації при описі об'єктів складної форми; 3) управління обробкою інформації при оптимізації термомеханічних полів; 4) розробка та аналіз методу оптимізації термомеханічних полів для

об'єктів з особливостями; 5) розробка спеціалізованого програмного забезпечення, теоретичною основою якого є розроблена методика.

Наукова новизна. Нові наукові результати, викладені в дисертації, полягають у розробці та обґрунтуванні: а) методики обробки геометричної інформації об'єктів складної форми та перетворення її в аналітичну форму за допомогою функції Рвачова (R-функції); б) методики управління обробкою інформації для розв'язання оптимізаційних задач та її комп'ютерної реалізації; в) ітераційного методу компенсуючих сил для геометричних моделей з особливостями; г) проблемно-орієнтованого програмного забезпечення, реалізованого на ЕОМ типу IBM PC у вигляді системи "ІНЖЕНЕР", яка дозволяє автоматизувати процес управління обробкою інформації при математичному моделюванні складних геометричних об'єктів; г) реалізації розроблених методів та алгоритмів при моделюванні оптимальних конструкцій без зміни їх геометричних моделей; д) застосуванні запропонованих алгоритмів в задачах моделювання геометричних об'єктів з джерелами, що впливають на величину поля.

Методика дослідження задач, які розглядаються в роботі, ґрунтується на теорії R-функції, варіаційних методах, оптимізаційних методах геометричного проектування, теорії управління, методах граничних елементів. Обчислювальний експеримент проводився в межах спеціалізованої системи "Інженер".

Вірогідність результатів, одержаних у роботі, підтверджується їх зіставленням з результатами, отриманими при вирішенні задач теплопровідності для областей канонічної форми та термопружності в умовах експлуатації створеної системи "Інженер" з наявними точними аналітичними та наближеними розв'язками.

Надійність та працездатність системи підтверджується її експлуатацією при проведенні обчислювальних експериментів по апробації нових алгоритмів та програм, розв'язанням практичних задач тощо.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання одержаних результатів науково-дослідними, проектно-конструкторськими організаціями, виробничими об'єднаннями для автоматизації досліджень по визначенню характеристик міцності конструкцій в умовах термічного та силового навантажень, що дозволяє зменшити витрати на моделювання та виготовлення варіантів конструкцій і замінити дорогі та тривалі випробування на недорогі та швидко виконувани обчислення. При цьому забезпечується багаторазове підвищення ефективності використання ЕОМ за рахунок зменшення трудовитрат від постановки задачі до одержання результатів.

Впровадження. Результати роботи впроваджені у ВО атомного турбобудування "Харківської турбінної завод" при створенні математичного забезпечення для оптимізації конструкцій з особливостями, у НВО "Енергосталь" у вигляді спеціалізованої системи для оптимізації конструкцій, що працюють в умовах термонавантаження.

Конкретна особиста участь автора в отриманні наукових результатів. Дисертаційна робота І.К.Сезоновой є самостійною науково-дослідною роботою. Автором особисто виконано: систематизацію та оцінювання теоретичних і практичних результатів у галузі розробки методів обробки інформації при моделюванні термомеханічних полів; розробку методик обробки геометричної та фізичної інформації при моделюванні елементів конструкцій, працюючих в умовах термомеханічного навантаження; розробку,

алгоритмізацію та програмну реалізацію ітераційного методу компенсуючих сил для розрахунку термомеханічних полів геометричних моделей з особливостями; розробку пакетів прикладних програм, що надали можливість створити спеціалізовану систему "ІНЖЕНЕР" для вирішення вищевикладених задач. Теоретичні дослідження, що містяться у дисертаційній роботі, підтвержені обчислювальними експериментами.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 наукових праць.

Апробація роботи. Одержані у дисертації результати доповідалися та обговорювалися на науково-технічній конференції у Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури (м. Харків, 1992-1996 рр.), на республіканському семінарі "Прикладні методи обчислювальної математики" (м. Харків, 1993, 1995 рр.), на засіданні кафедри інформатики ХДТУБА (м. Харків, 1993-1996 рр.).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, бібліографії з 101 найменування, 39 рисунків та 2 таблиць, усього 145 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми, сформульована мета роботи, наводиться огляд літератури з питань дослідження, обґрунтовується наукова новизна, перелік основних наукових результатів, які винесено на захист, відзначені вірогідність та практична цінність роботи.

У першому розділі формулюється поняття геометричної інформації, розглядаються необхідні знання з теорії R-функцій, наводиться класифікація оптимізаційних задач. Для розрахунку

термомеханічних навантажень пропонується ітераційний метод компенсуючих сил та різні варіаційні методи.

Геометрична інформація G складається з геометричної моделі Ω , метричних характеристик (радіус кривизни, площа, центр ваги і т.ін.) m і параметрів R , задаючих положення геометричної моделі Ω . Таким чином, геометрична інформація в загальному випадку задається трьома компонентами

$$G = (\{ \Omega \}, \{ m \}, \{ R \}). \quad (1)$$

У цій роботі геометрична модель інженерної конструкції будуватиметься на основі конструктивних засобів теорії R -функцій, яка дозволяє на аналітичному рівні враховувати просторову форму систем, що синтезуються, та їх складових елементів. Хоча ця теорія почала формуватися порівняно недавно, з її допомогою вирішено ряд фундаментальних проблем теоретичної та прикладної математики. Тепер ця теорія набула подальшого розвитку у працях вітчизняних та зарубіжних вчених, таких як Л.В. Курпа, А.П. Слесаренко, Т.І. Шейко, А. Іванюк, А. Waberski, E. Wagert та ін. Дослідження R -функцій показало їх принципovu можливість застосування для математичної постановки задач геометричного моделювання.

Ключовим в методі R -функцій є побудова рівнянь довільних геометричних об'єктів з використанням достатньо повної системи R -функцій \mathcal{R}_0 , яка складається з заперечення, кон'юнкції та диз'юнкції:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= -X; \\ X \wedge_0 Y &= X + Y - \sqrt{X^2 + Y^2}; \\ X \vee_0 Y &= X + Y + \sqrt{X^2 + Y^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Принцип побудови геометричної моделі полягає в тому, що:

1. На основі аналізу геометрії складної області Ω підбираються опорні області $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n$. За допомогою відомих логічних операцій над множинами ("∩" - переріз, "∪" - об'єднання, "-" - доповнення множини) задається інформація про форму геометричного об'єкта Ω у вигляді рівняння

$$\Omega(\omega z) = F\{\Omega_1(\omega_1 z), \Omega_2(\omega_2 z), \dots, \Omega_n(\omega_n z)\} \quad (3)$$

2. Перехід від предикатного опису геометричних об'єктів до аналітичного здійснюється шляхом формальної заміни символів Ω_i на $\omega_i(x, y)$, логічних операцій и виразів на R-функції. В результаті маємо формулу для функції $\omega(x, y)$ у символах R-операцій.

3. За допомогою формул (2) здійснюється перехід від рівняння для $\omega(x, y)$ в символах R-операцій до рівняння $\omega(x, y) \geq 0$ в символах алгебраїчних операцій зі звичайними функціями.

У процесі створення елементів конструкції, як правило, виникають оптимізаційні задачі, у яких обробка та перетворення геометричної інформації G, а також синтез нових конструкцій здійснюється з урахуванням фізичних полів. При цьому синтез нових форм конструкції на основі будь-якої початкової геометричної інформації G повинен здійснюватися з конкретними вимогами, що впливають з розв'язуваної оптимізаційної задачі. В процесі оптимізації ускладнюються різноманітні вимоги та обмеження, які диктуються призначенням конструкції, що моделюється.

Розглянемо задачу оптимального моделювання елементів конструкції. Під оптимальним моделюванням розуміємо процес, метою якого є створення математичної моделі технічного об'єкта, яка не тільки здійснює задані функції, але й відповідає будь-яким наперед встановленим критеріям якості, що диктуються призначенням об'єкта, котрий моделюється.

Інформація C в різних задачах по-різному впливає на побудову їх моделей та приймає участь у процесі оптимізації повністю або частково.

Усі оптимізаційні задачі, які розглядаються у цій роботі, поділені на дві групи. До першої віднесені ті, у яких геометрична модель Ω остається незмінною, а змінюються тільки метричні характеристики m та параметри R . До другої групи належать задачі, у яких геометрична модель Ω зазнає перетворення в процесі оптимізації.

Під оптимальним значенням цільової функції в таких задачах розуміють мінімальне з максимальних або максимальне з мінімальних залежно від задачі, що розв'язується. На результуюче фізичне поле задачі, що розглядається, можуть впливати обмеження на значення в наперед заданих контрольних точках, на екстремальні величини поля в області та підобластях, на диференціальні характеристики поля та ін. Метою оптимізації можуть бути як процеси, що відбуваються у системі, так і її параметри. Наприклад, як параметри, що оптимізуються, можуть виступати координати граничних точок (конфігурація границі), граничні умови, величина та положення отворів тощо. Як функція мети можуть використовуватися величини температур і розподіл напруг, деформацій та переміщень або їх комбінація. На практиці часто виникає необхідність вирішення такої задачі: мінімізувати максимальне значення фізичного поля у області, що розглядається.

У загальному випадку задача оптимізації ставиться таким чином: оптимізувати форму області та її розмір, щоб задовольнити задані обмеження D та надати функції мети C екстремальне значення, тобто знайти

$$C = \text{ext}_{\Omega} C(x, y, l_1, l_2, \dots, l_n), \quad (4)$$

Область припустивих значень параметрів функції мети S має вигляд:

$$D_k U(x, y, f_1, f_2, \dots, f_n) \geq (\leq) U_k, \quad (5)$$

де D_k - заданий оператор фізичних обмежень. Нерівність (5) - фізичні обмеження, накладені на характер результуючого поля U в області Ω . Крім обмежень на характеристики поля, необхідно задовольняти такі вимоги: 1) взаємного розміщення елементів конструкції

$$\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j, l_{ij}) > 0, \quad (6)$$

2) належності елементів конструкції області Ω

$$F_i(x_i, y_i, l_i) > 0, \quad (7)$$

3) неперервності елементів конструкції з областями заборони

$$N_{ik}(x_i, y_i, l_{ik}) > 0, \quad (8)$$

де x_i, y_i - координати характерної точки елемента конструкції W_i ; x_j, y_j - координати характерної точки елемента конструкції W_j ; l_{ij} - найкоротша відстань між елементами конструкції W_i і W_j ; l_i - найкоротша відстань між елементом конструкції W_i та границею області Ω ; l_{ik} - найкоротша відстань між елементом конструкції W_i та областю заборони W_k .

Перевірка обмежень (5) потребує розв'язання відповідної крайової задачі математичної фізики, що описує поле U в області Ω .

Обробка геометричної та фізичної інформації для розв'язання поставленої оптимізаційної задачі (4)-(8) здійснюється по такій схемі:

1. Вводиться інформація про розмір та форму області Ω і розмір та форму елементів конструкції W_1, W_2, \dots, W_n , а також параметри l_{ij}, l_i, l_{ik} , що описують оператори фізичних обмежень;
2. За введеною геометричною інформацією будується геометрична модель об'єкта;

3. Здійснюється аналіз геометричних характеристик моделі на наявність особливостей;
4. Вибір методу розв'язання крайової задачі (причому вибір методу провадиться тільки один раз: далі крок 4 пропускається);
5. Вирішується крайова задача, в результаті якої визначається характер поля U та значення функції мети C .
6. Перевіряється виконання умов обмежень (5)-(8);
7. Якщо обмеження не порушуються, то по визначеному закону, залежно від конкретної крайової задачі здійснюється зміна початкових значень. При цьому шукані параметри або тільки частини з них набувають приросту $l_{i+1} = l_i + h_i$ ($i=1, \dots, n$), величина та характер якого визначено умовами конкретної задачі та видом функції мети C . У випадку зміни геометричної моделі управління передається до пункту 2. Далі вирішується крайова задача з новими умовами (новий розмір області Ω , нові фізичні характеристики) та ін. доти, доки виконати умови обмежень (5)-(8) стане неможливо.
8. Якщо на будь-якому кроці обмеження (5)-(8) не виконано, то розв'язком оптимізаційної задачі (4) вважаються геометричні та фізичні характеристики області Ω , одержані на попередньому кроці.

Аналіз характеристик фізико-механічних полів в процесі поетапного моделювання елемента конструкції здійснюється на основі розв'язання відповідної крайової задачі.

У різних методах розв'язання крайових задач проблема урахування геометричної інформації вирішується по-різному. Теорія R -функцій, на котрій базується ця робота, дає можливість вирішувати цю проблему з єдиних позицій шляхом суттєвого розширення засобів аналітичної геометрії. З'явилась можливість

будувати для різних різних типів задач формули (названі структурами розв'язків) вигляду $U = B(\Phi, \omega, \omega_1)$, які при будь-якому виборі незалежної компоненти Φ точно задовольняють усі задачі крайові умови або їх частину. Тут B - оператор, який залежить від форми області Ω та ділянок її границі. Для знаходження незалежних компонент Φ структур розв'язків крайової задачі застосовуються різні проєкційні та варіаційні методи, наприклад, метод штрафів, Бубнова-Гальоркіна, калокацій, найменших квадратів, Рітца та ін, які зводять крайову задачу до системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Метод R-функцій - універсальний та до того ж дозволяє будувати структури розв'язків для будь-яких областей і крайових умов, проте практика свідчить, що у випадку складних областей та крайових умов структури погано апроксимують розв'язок самого диференціального рівняння.

Для вирішення таких крайових задач у цій дисертаційній роботі пропонується ітераційний метод компенсуючих сил, розроблений автором.

Для застосування ітераційного методу компенсуючих сил границю ω області Ω необхідно розбити на N граничних елементів (рис.1). Розв'язання здійснюється на основі попередньо одержаного фундаментального розв'язку для простих задач таким чином, щоб наближено задовольнити задані граничні умови на кожному елементі контуру ω . При цьому, сумарна напрута на ділянці границі АВ дорівнює діючому навантаженню, а на інших граничних елементах сумарна напрута дорівнює нулю. Задовольняючи такі граничні умови, на i -му елементі вводяться компенсуючі навантаження σ_{nk}^i та σ_{sk}^i , величина яких відповідно дорівнює сумарній дії на i -й елемент навантажень, що прикладаються на j -х еле-

ментах, взятих з протилежним знаком. Для знаходження значень

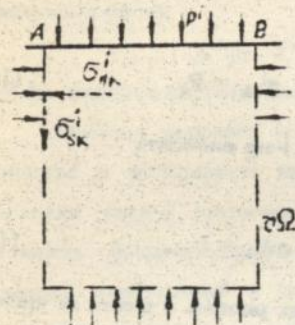


Рис. 1

Для інших елементів

навантажень σ^i_{nk} и σ^i_{sk} застосовуються сингулярні розв'язки, що справджується постановкою задачі. Таким чином, кожний граничний елемент зазнає впливу від справжнього навантаження P^i_n та P^i_s та компенсуючого σ^i_{nk} и σ^i_{sk} .

Для елементів відрізка АВ (рис. 1)

$$P^i_n + \sigma^i_{nk} = P \quad (9)$$

$$P^i_s + \sigma^i_{sk} = 0.$$

$$P^i_n + \sigma^i_{nk} = 0 \quad (10)$$

$$P^i_s + \sigma^i_{sk} = 0.$$

Введемо коефіцієнти:

- A^i_{mn} , який створює справжню дотичну напругу у центрі i -го відрізка (P^i_s), викликану постійним одиничним нормальним навантаженням, прикладеним до j -го відрізка ($\sigma^j_{nk}=1$),

- A^i_{ns} , який створює справжню дотичну напругу у центрі i -го відрізка (P^i_s), викликану постійним одиничним дотичним навантаженням, прикладеним до j -го відрізка ($\sigma^j_{sk}=1$),

- A^i_{ns} , який створює справжню нормальну напругу у центрі i -го відрізка (P^i_n), викликану постійним одиничним дотичним навантаженням, прикладеним до j -го відрізка ($\sigma^j_{sk}=1$),

- A^i_{nn} , який дає справжню нормальну напругу у центрі i -го відрізка (P^i_n), викликану постійним одиничним нормальним наван-

таженням, прикладеним до j -го відрізка ($\sigma_{nk}^j=1$). Тоді для нормальних напруг

$$\sum_{j=1}^n A_{ns}^{ij} \sigma_{sk}^i + \sum_{j=1}^n A_{nn}^{ij} \sigma_{nk}^i = P_i \quad (11)$$

P_i - задане нормальне навантаження на i -му елементі.

Для дотичних напруг

$$\sum_{j=1}^n A_{ms}^{ij} \sigma_{sk}^i + \sum_{j=1}^n A_{nn}^{ij} \sigma_{nk}^i = 0 \quad (12)$$

маємо систему $2N$ лінійних алгебраїчних рівнянь з таким ж числом невідомих.

Як перше наближення компенсуючих сил X_j^0 , виберасмо задані граничні умови на елементах:

$$X_j^0 = P_j.$$

Для збіжності ітераційного методу компенсуючих сил достатньо виконання умови

$$\sum_{i \neq j} |A_{ij}^{ij}| < |A_{ii}^{ij}|, \quad i=1,2, \dots, 2N.$$

У випадку використання як фундаментального розв'язку задачі Фламане

$$A_{ij}^{ij} = -\frac{2}{\mathcal{J}} P_i L \frac{x^2 y}{(x^2 + y^2)^2},$$

де L - довжина граничного елемента,

$$A_{ii}^{ij} = P_i.$$

$$\text{Обчислимо } \sum_{i \neq j} |A_{ij}^{ij}| = -\frac{2}{\mathcal{J}} L \sum_{i \neq j} \left(P_i \frac{x^2 y}{(x^2 + y^2)^2} \right). \quad (13)$$

Величину граничного елемента L завжди можна вибрати такою, що умова (13) буде < 1 .

Таким чином, можливо зробити висновок, що збіжність ітераційного методу компенсуючих сил залежить від величини граничного елемента.

Ітераційний процес продовжується доти, доки не буде виконано умову

$$|X^{k_j} - X^{k-1_j}| < \epsilon,$$

де ϵ - наперед вибрана мала величина.

Основна перевага ітераційного методу компенсуючих сил полягає у можливості використання великої кількості (більше десятка тисяч) граничних елементів, що одночасно підвищує точність розрахунків та дозволяє достатньо добре описувати границі конструкцій з особливостями, не змінюючи при цьому методу виконання розрахунків термомеханічних полів; в простоті задання та обробки інформації.

Другий розділ присвячено реалізації програмних та мовних засобів обробки геометричної інформації на основі запропонованих у дисертації алгоритмів. Створена спеціалізована система має назву "ІНЖЕНЕР". Проблемною орієнтацією системи є управління обробкою геометричної інформації при створенні конструкцій складної геометричної форми, працюючих в умовах високих температур.

Математичне забезпечення системи надбудовано над системним математичним забезпеченням обчислювальних машин. Інакше кажучи, система "ІНЖЕНЕР" "занурюється" у відповідну операційну систему комп'ютера. Це означає, що у цій системі не дублюються засоби, які є в операційній системі, а реалізуються тільки проблемно-орієнтовані мови та спеціалізовані процесори для трансляції з цих мов. Таким чином, можливості операційних систем, машинно-орієнтованих та процедурно-орієнтованих мов, бібліотек не тільки розширюються, але й набувають спеціалізованої орієнтації. У проблемно-орієнтованих мовах позначають три ступеня ієрархії: непроцедурні мови для обґрунтування проблеми з

використанням спеціальної термінології; проблемно-орієнтовані мови високого рівня, орієнтовані на клас задач та відображаючі специфіку впроваджених методів; надбудова над процедурно-орієнтованою мовою програмування. Спеціальні програмні засоби реалізують алгоритми обробки геометричної інформації при моделюванні термомеханічних полів. Для моделювання геометричних об'єктів з особливостями програмно реалізовано алгоритми ітераційного методу компенсуючих сил у вигляді програмного комплексу FMS.

Для вирішення задач термопружності використовується спеціалізована система "Теплове поле" (автор Л.П.Шевченко). Також у роботі розглядаються питання опису та використання знань. База знань має відомості про предметну область та включас, з одного боку, пакети програм (FMS, "Теплове поле" та ін.), бібліотеки, що містять структури розв'язків крайових задач, різні сингулярні розв'язки, а з іншого - набори різноманітних обчислювальних схем, що характеризують напрям обчислювального процесу. Ця інформація виражає смисловий зміст етапів розв'язання поставлених задач та розглядається як знання про предметну область. Знання в системі відображаються набором правил, які мають вигляд продукцій

ЯКЩО <умова> ТО <дія>.

Загальна стратегія роботи системи зводиться до пошуку одного або декількох маршрутів у семантичній мережі. Якщо в базі знань є правило для вирішення поставленої задачі, то починається діалог користувача з комп'ютером. При цьому досліднику задаються питання, визначаючі шлях вибору необхідного маршруту. В багатьох випадках деякі умови розв'язуються автоматично, і система "ІНЖЕНЕР" може давати

поради та рекомендації щодо конструювання алгоритму розв'язання поставленої задачі.

Увесь цей комплекс програмних засобів спільно з деякими сервісними та спеціалізованими пакетами програм (наприклад, пакет програм для видачі та обробки результатів) складає систему "ІНЖЕНЕР".

Вихідна програма для системи являє собою послідовність речень та формул, які нагадують "природне" математичне формулювання задачі. Вхідна мова пакета та функціональне наповнення має можливість значно розширюватися додатковими засобами, необхідність у яких виникає в процесі дослідної експлуатації системи.

Загальний обсяг пам'яті, що займає система "ІНЖЕНЕР", складає 2 Мбайта. Час, необхідний для підготовки та постановки задачі становить від 1 до 10 людино-годин та залежить як від складності задачі, так і від досвіду та кваліфікації користувача.

Третій розділ містить результати розв'язання прикладних задач, які наочно демонструють можливості створеного математичного забезпечення та запропонованих методик. Розглядаються задачі моделювання елементів конструкцій без зміни геометричної моделі. Визначається температурний стан складних технічних виробів.

Проведено дослідження, що дозволяє визначити оптимальні геометричні параметри конструкції опорного стояка, який працює в складних теплових та механічних умовах.

Результати показують, що зменшення товщини сидла приводить до зниження величини термічних напрут і в цілому - до збільшення міцності конструкції опорного стояка.

Управляючи товщиною діаметра внутрішньої труби d_1 ,

можна змінювати коефіцієнт тепловіддачі $\lambda_{\text{ж}}$ на поверхні $S_{\text{ж}}$. Одержані результати показують, що перепад температури між внутрішньою та зовнішньою поверхнями при цьому збільшується. Разом з тим, рівень напруг у тілі істотно не змінюється, але відбувається їх перерозподіл. Міцність опорного стояка можна збільшити, вибираючи якнайкраще товщину сидла та діаметр внутрішньої труби.

Таким чином, у цій роботі автором запропонована та розроблена комп'ютерна методика розрахунку опорних стояків, що дозволяє одержувати оптимальні геометричні параметри конструкції.

При дослідженні НДС моделей з конструктивними особливостями або виробничими дефектами підтверджена ефективність ітераційного методу компенсуючих сил.

У четвертій розділі розглянуто задачі, у яких у процесі моделювання змінюється геометрична модель. Для апробування швидкозбіжних алгоритмів задання, обробки та перетворення геометричної інформації при вирішенні оптимізаційних задач у цій дисертаційній роботі використовуються математичні моделі поршня двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та пластини трансформатора.

При конструюванні ДВЗ виникає задача оптимального моделювання конструкції поршня як однієї з основних деталей двигуна, що зазнає екстремальних теплових навантажень.

Актуальність проблеми удосконалення конструкції поршня пов'язана з забезпеченням потрібної довговічності ДВЗ. Під час роботи двигуна тепловий потік від газів сприймається дном поршня, кромкою та днищем камери згорання. Зростання робочих температур та відповідних температурних напруг призводить до розтріскування кромки та виходу двигуна з ладу.

Метою обчислювального експерименту, що пропонується є подальше підвищення довговічності поршня шляхом зниження температури у зонах кромки камери згоряння, дінця поршня та зони днища камери згоряння за рахунок зникнення теплових потоків, спрямованих від вершини камери згоряння, та за рахунок використання розміщеного в його тілі охолоджуючого отвору.

Поставлена та вирішена така задача - знайти оптимальну форму та розташування охолоджуючого отвору у конструкції поршня ДВЗ, щоб задовольнити задану систему обмежень та мінімізувати максимальне значення температурного поля в області.

Аналіз дослідження дозволив виявити вплив геометрії поршня на теплові потоки та зменшити температуру у небезпечних зонах. Результати порівнювалися з даними, одержаними експериментальним шляхом.

При дослідженні моделі масляного трансформатора була вирішена задача визначення розмірів та розташування каналів при наявності деяких конструктивних обмежень. Даний клас задач кваліфікується як задачі розміщення. Одержані результати дають змогу створити оптимальну модель конструкції трансформатора.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки:

1. Запропоновані: а) методика обробки геометричної інформації при описі об'єктів складної форми та перетворенні її в аналітичну форму за допомогою функцій Рвачова (R-функції); б) методика управління обробкою інформації при оптимізації термомеханічних полів та її комп'ютерна реалізація; в) застосування запропонованих алгоритмів у задачах моделювання

геометричних об'єктів з джерелами, що впливають на величину поля.

2. Розроблено, алгоритмізовано та програмно реалізовано ітераційний метод компенсуючих сил для розрахунку термомеханічних полів геометричних моделей з особливостями.

Створена спеціалізована система "ІНЖЕНЕР", теоретичною основою якої є розроблена методика. На відміну від існуючих пакетів програм, математичним апаратом яких є метод сіток, скінченних елементів та ін., система "ІНЖЕНЕР" використовує унікальні можливості, що надає теорія R-функцій для побудови наближених розв'язків крайових задач у поєднанні з ітераційним методом компенсуючих сил для складних геометричних форм областей. При цьому, задання початкової інформації про об'єкт містить опис геометрії об'єкта та граничних умов у буквеному вигляді, що дозволяє оперативно використовувати систему при моделюванні нових конструкцій та вирішенні задач оптимізації.

3. На основі розроблених методів було здійснено чисельний експеримент по моделюванню термомеханічних полів у тілі поршня ДВЗ, магнітного трансформатора, стояка та пластини з трицивлюю. Проведений порівняльний аналіз одержаних результатів з експериментальними даними та результатами, отриманими за допомогою інших методів, підтверджує вірогідність запропонованих у дисертаційній роботі методів та ефективність використання спеціалізованої системи "Інженер". Виконані дослідження дали можливість запропонувати нові моделі елементів конструкцій підвищеної міцності.
- б. Основні положення та результати роботи впроваджені та використовуються у науково-дослідній роботі, інженерній

практиці на деяких підприємствах та в навчальному процесі, що підтверджено відповідними документами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ У РОБОТАХ

1. Сезонова И.К. Применение итерационного метода компенсирующих сил для проектирования элементов конструкций со сложной конфигурацией границ и концентраторами напряжений //Повышение эффективности строительства: Тез. докл. 47-й науч.-техн. конф., Харьков, апр. 1992г. -С.121-122.
2. Рассоха А.А., Сезонова И.К. Методические указания по изучению раздела "Автоматизированное проектирование элементов строительных конструкций с плоским напряженным состоянием итерационным методом компенсирующих сил".- /Харьков:Харьк. инж.-строит. ин-т, 1991г.-22с.
3. Стоянов. Ф.А., Суворова И.Г., Шевченко Л.П., Сезонова И.К. Система "ИНЖЕНЕР" для оптимального проектирования конструкции сложной формы.-Харьков, 1995. -10с.-(Препр./НАН Украины. Ин-т проблем машиностроения; № 390).
4. Суворова И.Г., Шевченко Л.П., Сезонова И.К. Математические методы и программные средства для задач оптимального проектирования инженерных конструкций./Харьк. ун-т стр-ва и архитектуры. -Харьков, 1995г. -13с. -Деп. в ГНТБ Украины 18.01.96, №301-Ук96.
5. Сезонова И.К. Приложение итерационного метода компенсирующих сил для задач анализа полей. /Харьк. ун-т стр-ва и архитектуры. -Харьков, 1995. -16с. -Деп. в ГНТБ Украины 18.01.96, №302-Ук96.
6. Суворова И.Г., Шевченко Л.П., Сезонова И.К., Глотов Е.А. Применение метода R-функций при гидродинамическом

исследованиями проточной части пожарного ствола // Повышение эффективности строительства: Тез. докл. 50-й науч.-техн. конф. Харьков, апр. 1995г. -С.68-69.

7. Шевченко Л.П., Сезонова И.К., Мерлак Е.В., Тарасенко А.В. Исследование проточной части форсунки // Повышение эффективности строительства: Тез. докл. 50-й науч.-техн. конф. Харьков, апр. 1995г. -С.67-68.

ABSTRACT

Sezonova I.K. The methods of processing of geometrical information for modeling termomechanick fields.

This is a manuscript for submitting for a degree of Candidate of science on spesiality 05.13.04 - automatic control and information processing systems, University of inward affair MIA of the Ukraine, Kharkov, 1996.

The scientific work is being protected contains theoretical and practical research of the methods of processing of geometrical and fysical information, which are useful for the solution of the problems of modeling of elements for constructions with termomechanickal field culculation.

There is a problem-orientated software which is realised on IBM compatible computer in the form of system "Инженер" (Engeneer), which permits to control the process of information recreation, than modeling of complicated geometrical form objects is going on.

АННОТАЦИЯ

Сезонова И.К. Методы обработки геометрической информации при моделировании термомеханических полей.

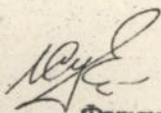
Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.04 - автоматизированные системы управления и системы обработки информации. Университет внутренних дел МВД Украины, Харьков, 1996.

Защитається наука робота, котра содержит теоретические и практические исследования методов обработки геометрической и физической информации при решении задач моделирования элементов конструкций с учетом термомеханических полей.

Предлагается проблемно-ориентированное программное обеспечение реализованное на ЭВМ типа IBM PC в виде системы "Инженер", позволяющее автоматизировать процесс управления обработкой информации при оптимальном моделировании сложных геометрических объектов.

Ключові слова: обробка інформації, компенсуючі сили, моделювання, крайова задача.

Відповідальний за випуск



І.Г. Суворова

Підписано до друку 20.05.96.

Формат 60x92 1/16.

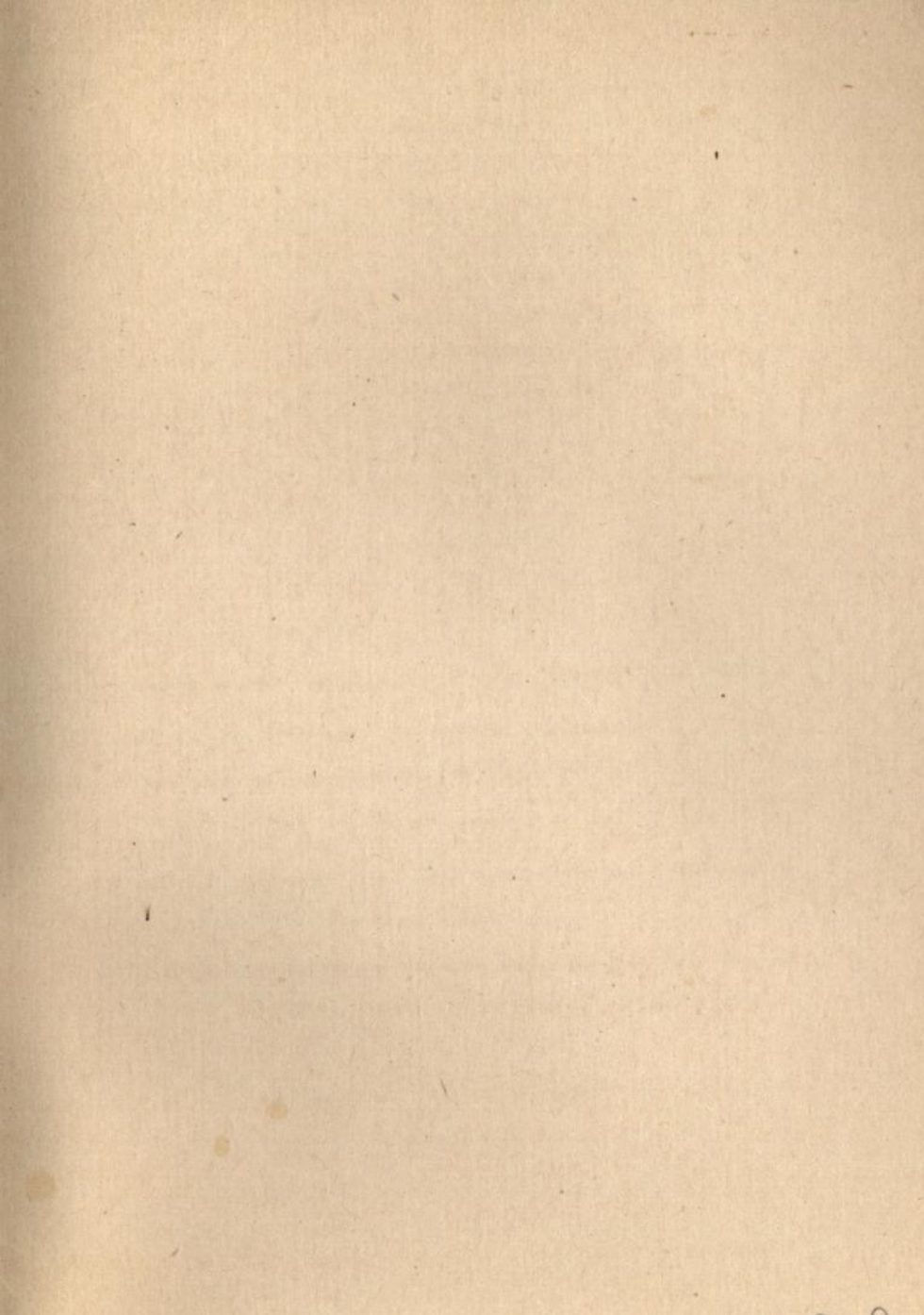
Ум.друк.арк.

Папір друк. №

Обл.-друк.арк.

Тираж 100 пр. Зам. № 461

м. Харків-310002, вул.Маршала Бажанова, № 28



AB 35.055