

Дніпропетровський державний університет



На правах рукопису

БУЛАКАЄВ ПАВЛО ІЛІЧ

ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ В ЗАДАЧАХ
ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТЕРЖНЕВИХ І
ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ

01.02.04- Механіка деформівного твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Дніпропетровськ-1996



00754797 (\$)

Ав 33.990

Робота виконана на кафедрі обчислювальної механіки і
міцності конструкцій Дніпропетровського державного універ-
ситету.

Науковий керівник— доктор технічних наук, професор

АНДРЕЄВ Л.В.

Науковий консультант— кандидат технічних наук, доцент

ДЗЮБА А.П.

Офіційні опоненти:

Доктор фізико-математичних наук, професор

ПАВЛЕНКО А.В.

Кандидат фізико-математичних наук, доцент

БАРАНЕНКО В.О.

Провідна організація:

Інститут геотехнічної механіки НАН України (м.Дніпропетровськ)

Захист відбудеться "26" січня 1996 р. о 15 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 03.01.14 по
присудженню наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
при Дніпропетровському державному університеті за адресою:
320044, Дніпропетровськ, пр. К. Маркса 35, корпус 3, ауд. 57.

Автореферат розіслано "26" грудня 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

/Костирко В.В./

ний розподіл матеріалу конструкції звичайно приводить до зменшення жорсткості і, як наслідок, неможливості застосування лінійних теорій розрахунку в умовах зрослих переміщень.

Велика кількість досліджень в останні десятиріччя було присвячено проблемам розрахунку і проектування тонкостінних конструкцій. Тим часом суттєві обчислювальні затрати на розрахунок і проектування сучасних складних конструкцій з оболонковими елементами примушують шукати все більш ефективні алгоритми, що застосовуються у конкретних умовах деформування, а також пов'язані з конкретним методом оптимізації. Щодо оптимального проектування таких конструкцій, то питання найкращого розподілу матеріалу в тонкостінних елементах конструкцій є постійним об'єктом досліджень у теорії оптимального проектування. Однак, як зазначено у тематичних оглядах багатьох авторів, у загальній постановці ця задача ще не досліджена, що пояснюється важкістю отримання розв'язку і аналізу його залежності від параметрів при великій кількості обмежень.

Таким чином, усе це підтверджує актуальність і важливість питань, що розглядаються у дисертації.

Мета роботи. 1. Розробити методикку імітаційного прогнозування ітераційних процесів оптимізації, що дозволяє скоротити обчислювальні затрати на реалізацію пошукових алгоритмів у задачах оптимального проектування. 2. Розробити алгоритми розрахунку і проектування окремих елементів конструкцій на основі принципу максимуму Понтрягіна з застосуванням прогнозування.

Наукове дозвізна. Основні нові результати, що одержано у дисертації, зводяться до таких. 1. Отримано засіб суттєвого скорочення обчислювальних затрат на знаходження оптимальних проектів деяких елементів стержневих і тонкостінних конструк-

цій, а також екстремумів функцій у задачах нелінійного програмування. 2. Запропоновано методики визначення НДС жорстких лінійно-пружних, а також нелінійно-пружних гнучких стержнів і оболонок обертання змінної товщини. 3. На основі принципу максимуму розроблено алгоритми проектування:

- нелінійно-пружних гнучких стержнів мінімальної ваги при наявності складних фазових обмежень;
- шпангоутів циліндричної оболонки у спеціальних умовах деформування;
- оболонок обертання з товщиною, змінною у двох напрямках, при несесиметричному навантаженні.

Практична і теоретична значущість роботи полягає у розробці методики зменшення числа етапів ітераційних процесів проектування, розширенні галузей застосування і прикладних можливостей принципу максимуму, створенні ефективних чисельних і аналітичних алгоритмів розрахунку і проектування окремих видів конструкцій, розв'язку ряду конкретних задач проектування і дослідженні властивостей отриманих проєктів. Створені методики і алгоритми проектування використовуються в навчальному процесі Дніпропетровського держуніверситету (ДДУ) на кафедрі обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Методики і результати розв'язку основних задач можуть бути використані у розрахунковій практиці проєктних організацій, що працюють у галузі будівництва і машинобудівництва.

Достовірність отриманих у дисертації результатів обґрунтовується:

- коректністю постановки задач розрахунку і оптимізації елементів конструкцій;
- застосуванням для створення алгоритмів проектування обґрунтованих і добре апробованих методів, таких, як припущення ели-

симуму Понтрягіна;

- збігом результатів розв'язаних задач із результатами, що отримано відомими методами, в окремих випадках, а також із результатами, що отримано раніш менш ефективними методами;
- стійкість отриманих чисельних розв'язків по вхідним даним;
- відповідність отриманих у роботі результатів існуючим уявленням про характер розподілу компонент НДС.

Апробація роботи. Результати дисертації доповідались на семінарі "Модельвання, ідентифікація, синтез систем керування" у 1990 р. (м. Алушта), VIII і IX міжреспубліканських студентських конференціях "Проблеми збільшення міцності елементів машинобудівельних конструкцій" (м. Перм, 1990 р., м. Москва, 1991 р.), II науково-технічній конференції "Питання надійності і оптимізації будівельних конструкцій і машин" у 1991 р. (м. Севастополь), міждержавній науковій конференції "Екстремальні задачі і їх застосування" у 1992 р. (м. Нижній Новгород), науковій нараді "Термов'язкопружнопластичні процеси деформування в елементах конструкцій" у 1992 р. (м. Канев), третій міжнародній науковій конференції "Матеріали для будівельних конструкцій" у 1994 р. (м. Дніпропетровськ), підсумкових конференціях з науково-дослідницької роботи ДДУ за 1992 - 1994 р.р., семінарі "Оптимальне проектування конструкцій, машин і приладів" філії Наукової Ради НАН України з проблеми "Кібернетика" у ДДУ (Дніпропетровськ, 1991, 1995 р.р.).

На захист висунуто:

- методику імітаційного прогнозування ітераційних процесів оптимізації та її використання для покращення алгоритмів отримання оптимальних проектів ряду елементів конструкцій і розв'язку задач пошуку екстремумів функцій декількох

змінах;

- метод розрахунку зусиль і зміщень лінійних і нелінійно-пружних гнучких стержнів змінної жорсткості на основі мінімізації енергетичного функціоналу за допомогою принципу максимуму;

- новий варіант методу прямих розрахунку оболонок обертання, що дозволяє знайти компоненти НДС ітераційним шляхом;

- чисельні алгоритми оптимального проєктування нелінійно-пружних гнучких стержнів, шпангоутів циліндричних оболонок у спеціальних умовах деформування, оболонок обертання з товщиною, змінною у двох напрямках.

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 10 друкованих роботах.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, трьох глав, закінчення і списку літератури (III найменувань). Загальний обсяг роботи 138 сторінок, з них 28 сторінок малюнків, 2 сторінки таблиць, 12 сторінок списку літератури.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано обґрунтування актуальності теми, сформульовано мету роботи, зазначено наукову новизну і практичну значущість досягнутих результатів, підтвердження їх достовірності. Проведено аналіз стану проблем теми, що розглядається, у тому числі методів і об'єктів досліджень. Міститься опис структури роботи, короткий зміст усіх глав.

У першій главі вислідено суть методу імітаційного протязування ітераційних процесів оптимізації. У першому пункті глави розглянуто загальну задачу оптимального проєктування конструкції, у результаті чисельного розв'язку якої за допо-

могов БОМ слід знайти керувачу функцій (у загальному випадку вектор-функція) h . Значення h , в силу чисельного характеру розв'язку, шукаються на дискретній безлічі n точок з номерами $1, 2, \dots, n$. Таким чином, неперервна функція h замінюється на вектор $\bar{h} = (h^1, h^2, \dots, h^n)$.

Хай елементи вектору параметрів \bar{h} , що варіюються, у результаті трьох послідовних кроків пошуку приймають значення h_1^i, h_2^i, h_3^i ($i=1, n$). Для будь-якого i розглядаються два випадки:

- А) послідовність h_k^i немонотонна, $(h_1^i - h_2^i)(h_2^i - h_3^i) < 0$;
- Б) послідовність h_k^i монотонна, т. є. $(h_1^i - h_2^i)(h_2^i - h_3^i) \geq 0$.

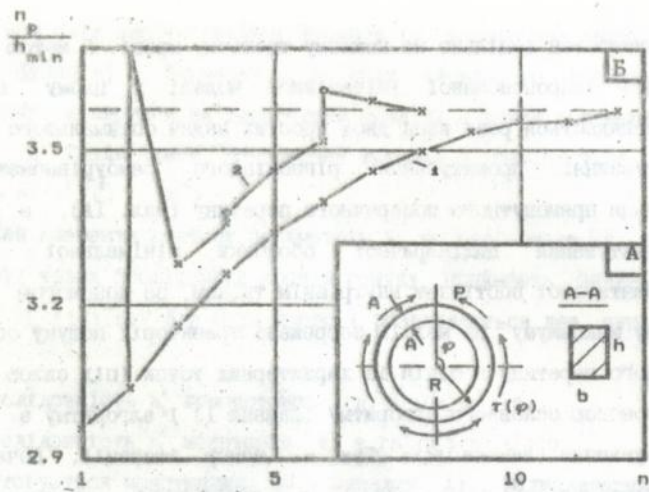
Обґрунтовується припущення, що у випадку А), відволікаючись від детермінованого засобу отримання величин h_k^i , можна визнавати їх випадковими величинами, що приймають значення у результаті послідовних випробувань. У випадку Б) випадковою величиною пропонується визнавати прирощення величини h . На основі цих припущень, застосовувачи елементи теорії випадкових величин, виведено екстраполяційні залежності для наступного наближення шуканих величин (координат точки-прогнозу у просторі h^i):

- А)
$$h^* = (h_1 + a_1 h_2 + a_2 h_3) / (1 + a_1 + a_2), \quad a_2 > a_1 > 1;$$
- Б)
$$h^* = h_3 + \Delta h^* = h_3 + (h_2 - h_1 + b(h_3 - h_2)) / (1 + b), \quad b > 1.$$

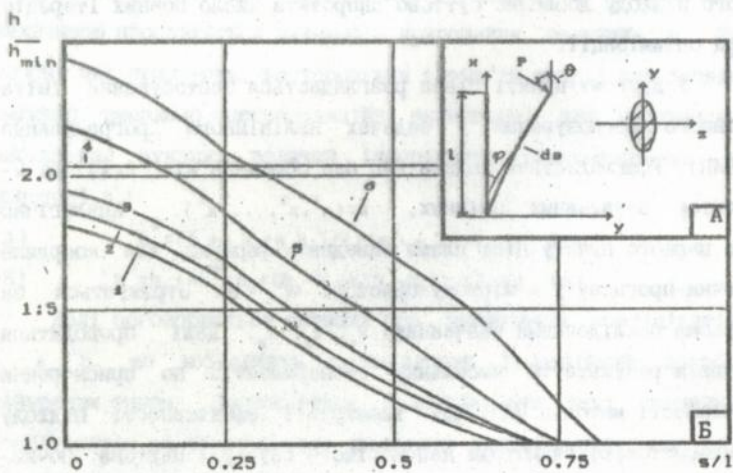
Далі обговорюється питання про визначення коефіцієнтів a_1, a_2, b , що дозволяють організувати ітераційний процес найкращим чином. Пропонується відшукувати такі значення коефіцієнтів за результатами чисельних експериментів, що полегчать у моделюванні ітераційного процесу при різних значеннях a_1, a_2, b . Виявлено, що для задач оптимізації елементів стержневих і точкостійних конструкцій ефективними є значення $1 < a_1 < a_2 < 10, 1 < b < 5$, а застосування екстраполяційних

залежностей доцільно на кожному третьому кроці. З метою апробації запропонованої імітаційної моделі у цьому пункті розглядається розв'язок двох простих задач оптимального проектування: проектування рівномірного самоурівноваженого кільця прямокутного поперечного перетину (мал. 1А), а також проектування циліндричної оболонки мінімальної ваги, навантаженої постійним внутрішнім тиском, за допомогою прикципу максимуму. На мал.1Б зображено траєкторії пошуку оптимального перетину в одній із характерних точок (під силою Р) за допомогою основного алгоритму (ламана 1) і алгоритму з прогнозуванням (ламана 2). Тут n - номер ітерації, початкове наближення $h^0(\varphi) = h_{\min} = \text{const}$, а результати прогнозування розміщено на одній вертикалі з результатом попереднього кроку і відмічено кружками. Як видно з мал. 1Б, застосування описаного підходу дозволяє суттєво скоротити число почних ітерацій при оптимізації.

У другому пункті глави розглядається застосування імітаційного прогнозування у задачах нелінійного програмування (НЛП). Розглядається задача НЛП без обмежень $\min f(\bar{x})$, де \bar{x} - вектор незалежних змінних, $\bar{x} = (x^1, x^2, \dots, x^n)$. Аналогічно до першого пункту цієї глави виведено формули для координат точки-прогнозу у n -мірному просторі x^k , що отримуться за трьома послідовними значеннями x_1, x_2, x_n . Далі проводиться аналіз результатів чисельних експериментів по прискоренню збіжності методів НЛП. Для ілюстрації ефективності підходу використовуються методи найшвидшого спуску і Ньютона. Обчислення робилися для функцій, що визнані у задачах нелінійного програмування як тестові. Застосовувались різні початкові точки пошуку і коефіцієнти прогнозування. У табличному вигляді приводилося результати розв'язку задач пошуку мінімуму із зм-



Мал. I



Мал. 2

стосуванням прогнозування і без нього з указанням точності, числа етапів пошуку, числа прогнозів для шести основних тестових функцій. При застосуванні запропонованого підходу виграш становить від 15% до 90% кількості ітерацій у залежності від вигляду функції і початкової точки.

У другій главі мова йде про розрахунок НДС лінійно-пружних і нелінійно-пружних стержнів і їх проектування із застосуванням принципу максимуму. У першому пункті розглядається загальний випадок навантаження і закріплення лінійного стержня змінної жорсткості. Задача розрахунку НДС таких стержнів вирішується шляхом мінімізації функціоналу потенційної енергії системи навантаження-стержень за допомогою принципу максимуму. Спочатку розглядається жорсткий лінійно-пружний стержень змінної (у загальному випадку) жорсткості EI , довжини L , навантажений поперечним навантаженням і перебуваючий у полі кінцевих впливів. Виведено загальну форму розв'язку для керуючої функції згинаючого моменту M , а також для прогину і куту повороту осі стержня. Далі розглядаються окремі випадки деформування жорстких стержнів. Обчислено компоненти матриці жорсткості для стержня постійної жорсткості. Для нечастіших випадків деформування виведено залежності для обчислення зусиль і переміщень стержня. Відзначено переваги описаного підходу у порівнянні із загальноприйнятими процедурами МСЕ при розрахунку стержневих систем.

У другому пункті глави мова йде про розрахунок гнучких нелінійно-пружних стержнів. Розглядається задача деформування навантаженої на кінець гнучкої консолі поперечний порети якої має дві вісі симетрії (мал. 2А), а закон матеріалу нелінійний: $\sigma(\epsilon) = E\epsilon + \beta\epsilon^3$, де E - модуль пружності, β - параметр нелі-

пійності ($\beta < 0$ - м'якої, $\beta > 0$ - жорсткої) зосередженої силою P . Проведено аналіз можливих методів розв'язку задачі, укавано на перевагу підходу, пов'язаного з мінімізацією функціоналу потенційної енергії системи навантаження - стержень методами теорії оптимального керування. Застосування для мінімізації цього функціоналу принципу максимуму дозволяє вирішити задачу з мінімальними обчислювальними зятретами. Виведено формулу для функціоналу в розглянутих умовах деформування. Описано ітераційний чисельний алгоритм розрахунку НДС стержня. Вказано його переваги у порівнянні з раніш відомими підходами. Ураховано випадки $\beta = 0$, $\beta > 0$, $\beta < 0$. Наведено результати розрахунків стержнів як постійної, так і змінної жорсткості, що збігаються з раніш відомими результатами, отриманими менш ефективним шляхом. Запропоновано методику розрахунку узагальнено далі на випадок криволінійних стержнів. Наведено розв'язок задачі про деформування гнучкого нелінійно-пружного кільця двома радіальними силами.

У третьому пункті другої глави описується оптимальне проектування гнучких стержнів із нелінійно-пружного матеріалу. Розглядається стержень, умови навантаження і закріплення якого приєднано у попередньому пункті (мал. 2А). Проектування проводиться з метою отримання проектів з мінімальних витрат матеріалу

$$V = \int_0^L \omega(s) ds \rightarrow \min.$$

де $\omega(s)$ - змінна уздовж осі площа поперечного перетину, при певності умов міцності

$$\max \sigma(s) \leq [\sigma].$$

обмеження на переміщення уздовж осі v

$$v(s) \leq v_0.$$

а також конструктивних вимог

$$\omega_{\text{нпг}} \leq \omega(\alpha) \leq \omega_{\text{пдк}}$$

Далі для конкретизації викладок і проведення аналізу перетин стержня приймається прямокутним із шириною $a = \text{const}$ і змінною висотою $h(\alpha)$. Виводиться система нелінійних диференціальних рівнянь (ДР), що визначає НДС стержня. Для рішення задачі прямого розрахунку застосовано енергетичний підхід, описаний у попередньому пункті, для формулювання ж необхідних умов оптимальності застосовано отриману систему ДР. Задача подається у безрозмірному вигляді. Приведено вираження для гамільтоніану задачі оптимізації і систему ДР для пов'язаних функцій. Описано ітераційний чисельний алгоритм оптимізації. Приведено результати проектування для різних коефіцієнтів нелінійності матеріалу, проаналізовано вплив обмежень на форму оптимальних проектів. На мал. 2Б зображено графіки оптимального розподілу висоти прямокутного поперечного перетину стержня уздовж його осі для конкретного набору параметрів задачі. Крива 1 відповідає стержню з матеріалу, для якого $\beta/E = -10^3$, крива 2 - $\beta/E = 0$, крива 3 - $\beta/E = 10^3$. Проекти отримано з урахуванням обмежень міцності і конструктивних вимог. Для порівняння на малюнку зображено пряму 4, що відповідає проекту постійної висоти з $\beta/E = 10^3$, який задовольняє тим же вимогам міцності, що і оптимальні проекти. Криві 5, 6 показують оптимальні зміни висоти перетину з урахуванням обмежень міцності, жорсткості і конструктивних вимог для $\beta/E = 10^3$. Для проекту 3 $v_1 = v(1)/1 = 0.408$, для проекту 5 $v_1 = 0.317$, для проекту 6 $v_1 = 0.255$.

Далі чисельно досліджуємо збіжність ітераційного процесу проектування з метою зменшення обчислювальних витрат на отримання оптимальних проектів застосовано методикою імітаційно-

го прогнозування. Демонструється вигравш у числі етапів проектування, досягнутий завдяки використанню розробленого автором підходу.

У третій главі розглядається оптимальне проектування елементів оболонкових конструкцій. Перший пункт глави присвячено задачам розрахунку і проектування підкріплюючих силових елементів. Розглядається тонка консольна циліндрична оболонка, яка жорстко затиснута по косому зрізу і підкріплена шпангоутом змінного (у загальному випадку) перетину (мал.3А) у місці навантаження зосередженою радіальною силою. Виведено розв'язуючу систему ДР з урахуванням гіпотези про безмоментний НДС оболонки близько до стику зі шпангоутом і граничні умови для різних видів шпангоутів. Приведено результати розрахунків для різних значень параметрів задачі, проаналізовано вплив кута зрізу затиснутого краю оболонки на зусилля і переміщення у шпангоуті. Далі розглядається проектування шпангоутів прямокутного поперечного перетину змінної висоти $h(\varphi)$ з умови мінімуму об'єму матеріалу

$$V = \int_0^{\pi} h R h(\varphi) d\varphi \rightarrow \min.$$

при виконанні обмежень міцності

$$\sigma_{\max} = |N| / (bh) + 6|M| / (bh^2) \leq [\sigma],$$

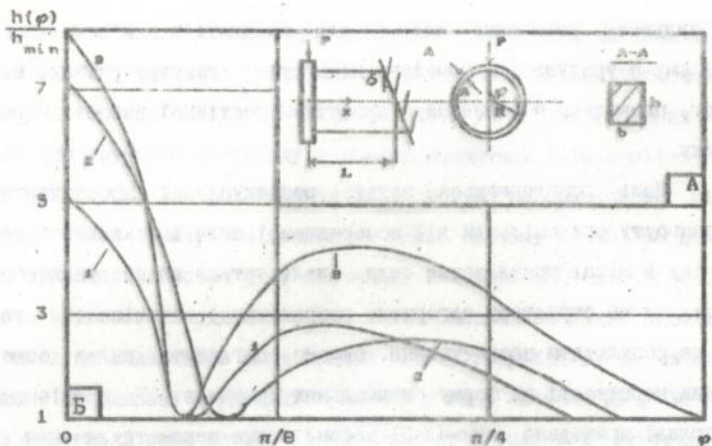
жорсткості

$$|w(\varphi)| \leq \Delta,$$

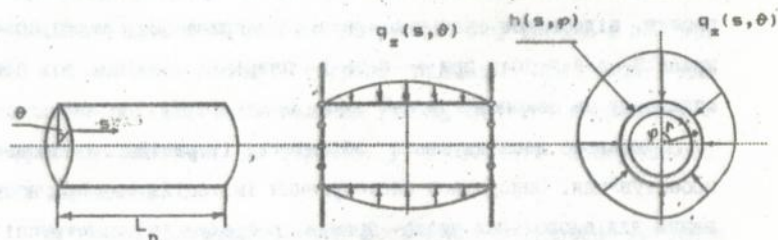
и конструктивних вимог

$$h_{\min} \leq h(\varphi) \leq h_{\max}$$

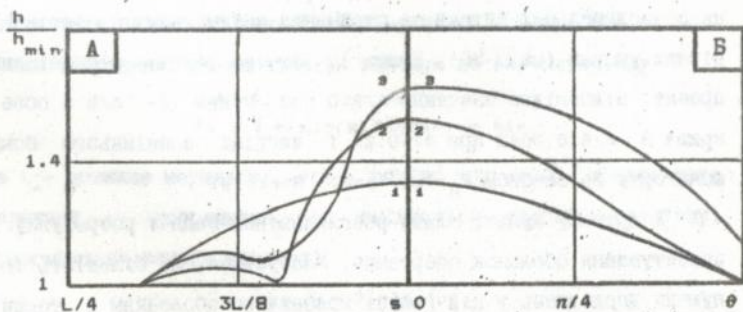
Для розв'язку задачі оптимізації використано принцип максимуму. Приведено вираження для гамільтоніану задачі оптимізації, систему ДР для пов'язаних функцій. Висладено чисельний ітеративний алгоритм проектування, приведено і проаналізовано



Мял.3



Мял.4



Мял.5

результати розв'язку задачі для шпангоутів мінімального об'єму з урахуванням обмежень міцності і конструктивних вимог, проведено порівняння з проектами постійної висоти перетину.

Далі розглядається задача розрахунку і проектування шпангоуту при спільній дії зосередженої сили і локального нагріву в місці прикладення сили. Аналізується вплив теплового поля як на структуру алгоритму розрахунку і оптимізації, так і на результати проектування. Особливо розглянуто вплив обмежень жорсткості на форму оптимальних проектів. У графічному вигляді приведено оптимальні закони зміни параметру $h(\varphi)/h_{\min}$ при різних значеннях максимального прогину $|w(\theta)|=\Delta$ та інших рівних умовах (мал. 3Б). Крива 1, що зображає рівномірний проект, відповідає значенню $\Delta/R=0.008$, крива 2- $\Delta/R=0.0056$, крива 3- $\Delta/R=0.0042$ при $\delta=-0.25$ і нагріві зовнішнього боку шпангоуту за законом $T_{\text{н}}=100^{\circ} \cdot \cos \varphi$, $0 \leq \varphi \leq \pi/2$.

Чисельно досліджується збіжність ітеративного процесу проектування. Описується застосування імітаційного прогнозування для скорочення числа прямих розрахунків конструкції. Демонструється ефективність розробленого підходу для зменшення обчислювальних витрат на отримання оптимальних проектів в рівних умовах (мал. 3Б). Крива 1, що зображає рівномірний проект, відповідає значенню $\Delta/R=0.008$, крива 2- $\Delta/R=0.0056$, крива 3- $\Delta/R=0.0042$ при $\delta=-0.25$ і нагріві зовнішнього боку шпангоуту за законом $T_{\text{н}}=100^{\circ} \cdot \cos \varphi$, $0 \leq \varphi \leq \pi/2$.

У другому пункті глави розглядається задача розрахунку і проектування оболонок обертання. Указується, що більшість існуючих досліджень у цій галузі присвячено оболонкам з товщиною, змінною лише уздовж меридіану. В дисертації ж розглядаються оболонки обертання з товщиною, змінною як уздовж

меридіану, так і в окружному напрямку. Виводиться система лінійних ДР у частинних похідних (ЧП) відносно восьми компонент НДС, що описує поведінку таких об'єктів у випадку ізотропного лінійно-пружного матеріалу і повної моментної (лінійної) теорії оболонок. Для розв'язання цієї системи використано відомий метод прямих, за допомогою якого систему у ЧП зведено до сукупості систем ДР у звичайних похідних (ЗП) для m значень кругової координати θ_m ($m=1, \dots, m$). Описується раніш відомий підхід до подальшого розв'язання задачі розрахунку, що полягає в об'єднанні отриманих m систем у одну систему ДР у ЗП із m рівнянь і розв'язанні її методом ортогональної прогонки. Указуються вади такого підходу. Пропонується нова модифікація алгоритму розрахунку, що дозволяє обчислити компоненти НДС ітераційним шляхом із меншими витратами часу роботи і пам'яті ЕОМ, ніж при використанні старого підходу. При цьому для обчислення похідних всіх величин уздовж кругової координати θ використано значення, що отримані у результаті попереднього кроку наближень.

На основі описаного методу розрахунку побудовано алгоритм оптимізації оболонок при несесиметричному навантаженні. Розглядається задача визначення закону зміни товщини $h(s, \theta)$ оболонки обертання, що забезпечує мінімум об'єму матеріалу

$$V = \int_0^{2\pi} \int_0^{L_n} r(s) h(s, \theta) ds d\theta \rightarrow \min.$$

де L_n - довжина меридіану, $r(s)$ - радіус кругового поперечного перетину, s - координата, що змінюється уздовж меридіану. Ураховуються вимоги міцності

$$\sigma_{\theta}(\kappa, \theta, z) \leq [\sigma].$$

де $-h/2 \leq z \leq h/2$, σ - еквівалентне напруження, жорсткості

$$|w(s, \theta)| \leq w_{\max}$$

а також конструктивні вимоги

$$h_{\min} \leq h(s, \theta) \leq h_{\max}$$

При формулюванні і розв'язку задачі оптимізації, як і у випадку розрахунку, використовується ідея методу прямих. При цьому

$$\begin{aligned} V &= \int_0^{2\pi} \int_0^{L_n} r(s) h(s, \theta) ds d\theta \approx \sum_{m=1}^M \int_0^{L_n} r(s) h(s, \theta_m) ds d\theta = \\ &= 2\pi/M \int_0^{L_n} r(s) \sum_{m=1}^M h(s, \theta_m) ds. \end{aligned}$$

Проведені перетворення дозволяють застосувати до вихідної двовірної задачі принцип максимуму в його звичайній одноірній формі. Після формулювання гамильтоніану задачі і системи ДР для пов'язаних функцій описується ітераційний чисельний алгоритм проектування будь-якої оболонки обертання. Розглянуто приклад розрахунку і проектування кругової циліндричної оболонки, навантаженої неосесиметричним зовнішнім тиском (мал. 4). Приведено результати розрахунку, збіжні з отриманими іншими авторами за допомогою раніш відомих методів, а також результати проектування з урахуванням обмежень міцності і конструктивних вимог. Особливо розглядану питання урахування обмежень жорсткості. Указано, що у приведеному прикладі для циліндричної оболонки при достатньо слабкому обмеженні жорсткості воно зводиться до граничної умови $|w(L/2, \theta)| \leq w_{\max}$. У графічному вигляді подано результати проектування циліндричної оболонки для різних варіантів обмежень. На мал. 5 зображено закони зміни параметру $h(s, \theta)/h_{\min}$ оптимальних проектів, с. ряманих для конкретного набору параметрів задачі у подовжньому перетині $\theta=0$ (мал.5А) і у поперечному перетині $\theta=1/2$ (мал.5Б). Криві 1 відповідають рівномірному проекту.

крені 2, 3- проектам, отриманим з урахуванням обмежень жорсткості при різних рівнях умов. При цьому відношення максимальних прогинів проектів 2 та 1- 0.95, проектів 3 та 1- 0.92. Виграш в об'ємі матеріалу отриманих проектів у порівнянні з оболонками постійної товщини при рівних вимогах до міцності і жорсткості складає 20- 25 %.

Далі обговорено проблему скорочення обчислювальних витрат на проектування оболонок змієвої товщини. Вказано на особливу важливість цього питання, пов'язану зі складністю систем ДР, що розв'язуються на кожному кроці ітераційного процесу оптимізації. Описано засоби зменшення витрат часу ЕОМ, які застосовувались автором при розв'язку задачі розрахунку і оптимального проектування циліндричної оболонки. Демонструється ефективність використання імітаційного прогнозування.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

Основні результати дисертаційної роботи є такі:

1. Розроблено методику імітаційного прогнозування ітераційних процесів оптимізації, що дозволяє суттєво скоротити витрати на пошук оптимальних проектів елементів стержневих і тонкостінних конструкцій, а також екстремумів функцій у задачах нелінійного програмування.
2. Розширено галузь застосування потужного засобу теорії оптимального керування- принципу максимуму Понтрягіна до розв'язку екстремальних задач механіки деформівного твердого тіла.
3. Запропоновано нові методи розрахунку стержнів (у тому числі гнучких, нелінійно-пружних) і оболонок обертання з товщиною, змінною у двох напрямках.
4. Побудовано алгоритми оптимізації, отримано результати про-

ектування, досліджено властивості оптимальних проєктів гнучкого нелінійно-пружного консольного стержня мінімальної ваги, шпангоута циліндричної оболонки, затиснутої по косому зрізу, несиметрично навантаженої оболонки обертання.

Основний зміст дисертації опубліковано у роботах:

1. Булакаєв П.И. К расчету стержневых элементов с использованием теории оптимального управления. // Тез. докл. 3-й Всесоюз. школы молодых ученых "Численные методы МСС". - Красноярск, 1991. - С. 118.
2. Булакаєв П.И. Расчет оболочек с жесткостью, переменной в двух направлениях. // Тез. докл. 8-я Межреспубл. студ. конф. "Проблемы повышения прочности элементов машиностроительных конструкций". - Пермь, 1990. - С. 18.
3. Булакаєв П.И. Расчет оптимального объема самоуравновешенного кольца. // Тез. докл. 9-я Межреспубл. студ. конф. "Проблемы повышения прочности элементов машиностроительных конструкций". - М., 1991. - С. 29.
4. Булакаєв П.И., Дзюба А.П. Весовая оптимизация неравномерно нагретого шпангоута цилиндрической оболочки, закрепленной по косому срезу. // Численные методы и математическое моделирование тепломассопереноса. - Днепропетровск: ДГУ, 1991. - с. 70-78.
5. Булакаєв П.И., Дзюба А.П. Исследование деформации и устойчивости физически нелинейного гибкого стержня. // Вопросы прикладной математики и математического моделирования. - Днепропетровск: ДГУ, 1991. - С. 131-135.
6. Булакаєв П.И., Дзюба А.П. Об одном варианте имитационного моделирования итерационного процесса оптимизации параметров конструкции. // Алгоритмизация решения задач прочности и оптимального проектирования конструкций. - К., 1991. - С.

7. Булакаев П.И., Дзюба А.П. О проектировании траектории поиска в задачах нелинейного программирования без ограничения. // Тез. докл. Междуот. научн. конф. "Экстремальные задачи и их приложения". - Нижний Новгород, 1992. - С. 22.
8. Булакаев П.И., Дзюба А.П., Левитина Л.Д. Оптимальное проектирование оболочечных конструкций и их силовых элементов при температурном нагружении. // Тез. докл. научн. совещ. "Термовязкоупругопластические процессы деформирования в элементах конструкций". - К., 1992. - С. 11.
9. Дзюба А.П., Булакаев П.И. Об имитационном моделировании итерационного процесса оптимизации элементов тонкостенных конструкций. // Мат-лы 2-я научно-техн. конф. "Вопросы надежности и оптимизации строительных конструкций и машин". - Симферополь, 1992. - С. 18.
10. Дзюба А.П., Булакаев П.И. Расчет и оптимальное проектирование оболочек вращения с геометрией, переменной в двух направлениях. // Тез. докл. 3-я Междуот. научн. конф. "Материалы для строительных конструкций". - Днепропетровск. - 1994. - ч. I. - С. 113.

ABSTRACT. Bulakayev P. I. The use of the imitative prediction in the optimal design problems for the beamed and thin-walled structural members. The dissertation for a magisters extent of the physics and mathematics sciences. The specialty is 01.02.04- Stress-strained solid mechanics. Dnepropetrovsk State University, Dnepropetrovsk, 1995.

The imitative prediction technique of the optimization iterative processes is proposed. This method allow to reduce essential the computational expense for the optimal design. The solution some of the optimal design problems for the beamed and thin-walled elements with the use of Pontrygin's maximum principle and with the aid of the prediction technique are expounded.

АННОТАЦИЯ. Булакаев П. И. Применение имитационного прогнозирования в задачах оптимального проектирования элементов стержневых и тонкостенных конструкций. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - "Механика деформируемого твердого тела". Днепропетровский госуниверситет, Днепропетровск, 1995.

Предлагается методика имитационного прогнозирования итерационных процессов оптимизации, позволяющая существенно сократить вычислительные затраты на поиск оптимальных проектов конструкций. Излагаются решения ряда задач оптимального проектирования элементов стержневых и тонкостенных конструкций на основе принципа максимума Понтрягина с применением методики прогнозирования.

Ключові слова: імітаційне прогнозування, оптимальне проектування, принцип максимуму Понтрягіна, стержневі і тонкостінні конструкції.

мш. ДГУ зап. 2145-100.

452606

AB 33.990