

КИЇВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

УДК 539.3

УБАЙДУЛЛАЄВ Юсуфжон Нуруллайович

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВІДКРИТИХ
ТА ЗАМКНЕНИХ КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК ЗМІННОЇ
ЖОРСТКОСТІ

Спеціальність 01.02.04 – механіка деформованого
твердого тіла

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 1993



00820003 (D)

Робота виконана на кафедрі пр
Київського інженерно-будівельного інституту

Наукові керівники

- доктор технічних наук
М.М.КРИЖОВ
- кандидат технічних наук,
доцент О.Б.ЖУРАВЕЛЬ

Офіційні опоненти

- доктор технічних наук,
професор В.Г.ПІСКУНОВ
- доктор фізико-математичних
наук А.Н.ХОМЧЕНКО

Провідна організація: Інститут проблем міцності
АН України

Захист відбудеться "12" лютого 1993 р.
о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.05.04
Київського інженерно-будівельного інституту /252037, Київ-37,
Повітрофлотський проспект, 31/ у залі засідань Ради інституту.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці
Київського інженерно-будівельного інституту.

Автореферат розіслано "12" січня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук,
доцент

Мельниченко Г.Я.МЕЛЬНИЧЕНКО

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Відкриті та замкнені в окружному напрямку конічні оболонки змінної жорсткості широко використовуються як конструктивні оболонкові елементи у різних галузях машинобудування, авіабудування, судобудування, будівельної індустрії. Ускладнення конструктивних рішень у проектуванні тонкостінних просторових конструкцій, підвищення вимог до надійності і одночасно зменшення їх ваги і матеріалоземкості викликає необхідність подальшого розвитку та удосконалення методів і алгоритмів чисельного дослідження напружено-деформованого стану конічних оболонок та розширення області застосування розроблених підходів.

Значний внесок у розробку теорії і деяких підходів до формулювання та розв'язання крайових задач теорії пластин і оболонок внесли С.О. Амбарцумян, І.Г. Бубнов, В.З. Власов, О.О. Гольденвейзер, Б.І. Григолик, І.А. Кільчевський, А.І. Лур'є, Х.М. Мухтарі, В.В. Новожилов, П.Ф. Папкович, С.П. Тимошенко, В.І. Федосєєв, К.Ф. Черних та інші вчені.

Хоч рівняння і співвідношення теорії тонких конічних оболонок відомі давно, точний розв'язок одержано лише для ізотропної конічної оболонки лінійно-змінної товщини при дії осесиметричного, антисиметричного і циклічно-симетричного навантажень в роботі А.Д. Коваленка, Я.М. Григоренка, Л.О. Ільїна, Т.І. Поліщука. Для інтегрування розв'язуючих рівнянь застосовується апарат теорії гіпергеометричних функцій.

Необхідність розрахунку напружено-деформованого стану відкритих та замкнених в окружному напрямку ізотропних та ортотропних конічних оболонок зі змінними параметрами веде до розв'язання двовірних крайових задач при різних граничних умовах, що викликає значні математичні і обчислювальні труднощі. Складність розв'язування цих задач обумовлена не тільки високим порядком системи, змінністю її коефіцієнтів, а й необхідністю точно задовольнити заданим граничним умовам на всіх контурах конічної оболонки.

Різноманітні варіаційно-різницеві та проєкційні методи дозволяють одержати взагалі розв'язок цього класу задач для конічних

оболонки сталої товщини при простих граничних умовах, що допускають відокремлення змінних. Застосування методів кінцевих різниць і кінцевих елементів у задачах такого класу не завжди дозволяє з достатньою точністю задовольнити граничним умовам.

В останній час в практиці розрахунків тонкостінних елементів конструкцій використовуються сплайн-функції. Чисельні роботи вітчизняних і закордонних дослідників, в яких в основному розв'язуються одномірні крайові задачі теорії оболонок та пластин, показують, що застосування сплайн-функцій як апарату наближення функцій дозволяє істотно спростити розробку алгоритмів та програм в порівнянні з використанням класичного апарату многочленів.

Тому розглянуті в дисертаційній роботі питання, що пов'язані з побудовою точного аналітичного розв'язку задачі про згин ортотропної кінцевої оболонки осесиметричної будови і розробкою підходу до чисельного розв'язування двомірних задач статички тонкостінних елементів конструкцій у вигляді відкритих і замкнених ортотропних кінцевих оболонок із змінними у двох координатних напрямках параметрами, що знаходяться під дією різних видів навантаження і способів закріплення контурів, на основі сплайн-апроксимації є актуальними.

Ціль роботи формулюється наступним чином:

- побудування точного розв'язку задачі про згин ортотропних кінцевих оболонок осесиметричної будови під дією нормального поверхневого навантаження та температурного поля;

- розробка підходу до чисельного розв'язання двовимірних крайових задач статички відкритих та замкнених кінцевих оболонок обертання шаруватої структури з ізотропними та ортотропними шарами змінної в двох координатних напрямках жорсткості, що знаходяться під дією неосесиметричних силових та температурних навантажень, на основі сплайн-апроксимації;

- чисельна реалізація запропонованого підходу і створення на його основі комплексу програм, що дозволяють проводити дослідження напружено-деформованого стану тонкостінних елементів конструкцій у вигляді кінцевих оболонок вказаного класу;

- проведення дослідження напружено-деформованого стану конкретних відкритих та замкнених кінцевих оболонок обертання в

широкому діапазоні зміни геометричних, механічних параметрів, видів навантаження і способів закріплення контурів.

Наукова новизна роботи міститься у таких основних положеннях, що винесені на захист:

- одержанні точного розв'язку задачі про згин шаруватої ортотропної кінчної оболонки осесиметричної будови;

- розробці методики розв'язування двомірних крайових задач лінійної теорії тонких шаруватих ортотропних відкритих та замкнених кінчних оболонок обертання змінної у двох координатних напрямках жорсткості на основі методу сплайн-колокації;

- побудові і реалізації на ЕОМ алгоритму чисельного розв'язання задач вказаного класу;

- дослідженні і аналізу напружено-деформованого стану відкритих та замкнених кінчних оболонок при складних граничних умовах.

Методика побудування точного осесиметричного розв'язку для замкнених ортотропних оболонок оснований на використанні гіпергеометричних функцій.

Методика розв'язування двомірних крайових задач оснований на апроксимації розв'язку в колесовому напрямку за допомогою В-сплайнів, використанні методу колокації для зниження вимірності вихідної задачі та чисельному інтегруванні одномірних крайових задач в іншому координатному напрямку методом дискретної ортогоналізації.

Достовірність здобутих в роботі результатів забезпечується коректністю постановки задачі, строгістю математичних викладок, використанні обґрунтованих методів розв'язування, порівнянням з результатами інших авторів, проведенні розрахунків з достатнім ступенем точності, яка контролюється за допомогою різноманітних індуктивних способів.

Практична цінність роботи міститься в розробці підходу до розв'язування двомірних задач розглянутого класу і реалізації його алгоритму у вигляді програми для ЕОМ на мові ФОРТРАН, що дозволяє проводити дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкцій у вигляді кінчних оболонок у широкому діапазоні зміни геометричних і механічних параметрів. Результати розрахунків можуть бути використані на підприємствах і у науково-дослідних організаціях при оцінці міцності елементів конструкцій.

Апробація роботи. Результати роботи доповідалися на 40 - 45, 47 - 53 науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу Київського інженерно-будівельного інституту /Київ, 1979 - 1984, 1986 - 1992/, на Всесоюзній конференції "Теорія та чисельні методи розрахунку пластин та оболонок" /Тбілісі, 1984/, на спільному семінарі відділів теорії оболонок та пластин і механіки конструкцій із композиційних матеріалів АН ВірмРСР /Єреван, 1984/, на II Всесоюзній раді-семінарі молодих вчених "Актуальні проблеми механіки оболонок" /Казань, 1985/, на У Всесоюзній конференції по статистиці та динаміці просторових конструкцій /Київ, 1985/, на II Республіканській конференції по підвищенню надійності та довговічності машин та споруд" /Дніпропетровськ, 1985/, на семінарі "Якість і надійність будівельних конструкцій в сейсмічному будівництві" /Тбілісі, 1986/, на II Всесоюзній конференції по механізації і автоматизації земляних робіт в будівництві /Київ, 1986/, на II Всесоюзній науково-технічній раді "динаміка і міцність автомобілю" /Москва, 1986/, на конкурсі кращих робіт молодих вчених і спеціалістів м.Києва в області розробки, дослідження та проектування ефективних будівельних конструкцій /Київ, 1984, 1985, 1988/.

Дисертація в цілому доповідалася на кафедрі "Будівельна механіка" Київського інженерно-будівельного інституту /1992/, на об'єднаному науковому семінарі кафедр "Математичне моделювання" та "Вища математика" Херсонського індустріального інституту /1992/.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень освітлені у II друкованих роботах.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти глав, висновку, списку використаної літератури /123 найменування/ та додатку. Загальний обсяг дисертації складає 133 сторінки, в тому числі: 75 сторінок машинописного тексту, 28 сторінок рисунків, 12 сторінок таблиць, 13 сторінок списку використаної літератури і 5 сторінок додатку.

У вступі обґрунтована актуальність даного дослідження, проводиться короткий огляд чисельних методів та підходів до розв'язку двовимірних крайових задач статки конічних оболонок із змінними параметрами, сформульована ціль дослідження, дано короткий виклад змісту дисертації.

В першому розділі формулюється вихідні припущення і приводяться основні співвідношення теорії тонких шаруватих ортотропних конічних оболонок обертання змінної в двох координатних напрямках товщини. Припускається, що матеріал кожного шару конічної оболонки підкоряється узагальненому закону Гука з урахуванням гіпотези Дюамеля-Неймана. Механічні характеристики матеріалу і товщина шарів, а також діючі навантаження такі, що можливо використовувати гіпотезу Кірхгофа-Лява для всього пакету шарів в цілому. Пакет шарів має симетричну структуру відносно середньої поверхні конічної оболонки.

Другий розділ присвячено побудуванню точного розв'язку задачі про деформацію ортотропної конічної оболонки під дією розподілених поверхневого і контурного навантажень та температурного поля, коли оболонка має осесиметричну будову.

Як вихідну прийнято систему рівнянь, яка записана відносно прогину w і функції напруження F , що одержується із основних співвідношень теорії тонких шаруватих оболонок. Після відокремлення змінних за допомогою рядів Фур'є вихідна система рівнянь перетворюється в наступну систему звичайних диференціальних рівнянь

$$\Delta_1 F + a_1 \Delta_2 F + b \Delta_3 F - \frac{ctg \varphi}{C_{11}} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{d^2 w}{ds^2} = a_3 s^{i-2}, \quad (1)$$

$$\Delta_1 w + a_2 \Delta_2 w + c \Delta_3 w + \frac{1}{D_{11}} \cdot \frac{ctg \varphi}{s} \cdot \frac{d^2 F}{ds^2} = \frac{q^{(k)}}{D_{11}} + a_4 s^{i-2} \quad (2)$$

де $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ - диференціальні оператори; i - індекс степеня рядку, k - номер гармоніки.

Вводячи нову функцію ψ , що задовольняє вимоги

$$F = s^3 \frac{d^2 \psi}{ds^2},$$

$$w = \frac{C_{II}}{\operatorname{ctg} \varphi} \left[s^4 \frac{d^4 \psi}{ds^4} + 6s^3 \frac{d^3 \psi}{ds^3} + (6 - \alpha_1 - 6m)s^2 \frac{d^2 \psi}{ds^2} - 2(\alpha_1 + 6m) \frac{d\psi}{ds} + \alpha_1(1-m)^2 \psi \right] - \frac{\alpha_1 s^{i+1}}{i(i+1) \operatorname{ctg} \varphi},$$

рівняння (1) - (2) зводяться до одного звичайного диференціального рівняння восьмого порядку зі змінними коефіцієнтами

$$\sum_{k=1}^8 a_k(s) s^k \frac{d^k \psi}{ds^k} = f(s) \quad (3)$$

де $a_k(s)$ - многочлен. Однорідне рівняння (3) заміною змінних $x = \frac{ds^2}{16}$, $\psi = x^{\beta_1} \varphi(x)$ зводиться до гіпергеометричного рівняння

$$\left[\frac{d}{dx} \left(x \frac{d}{dx} + \beta_1 - 1 \right) \dots \left(x \frac{d}{dx} + \beta_7 - 1 \right) - \left(x \frac{d}{dx} + \alpha_1 \right) \dots \left(x \frac{d}{dx} + \alpha_4 \right) \right] \varphi(x) = 0$$

Розв'язок цього рівняння шукаємо у вигляді

$$\varphi_1 = {}_4F_7(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4; \beta_1, \dots, \beta_7; x),$$

$$\varphi_n = x^{1-\beta_n} {}_4F_7(\alpha_1 + 1 - \beta_n, \dots, \alpha_4 + 1 - \beta_n;$$

$$2 - \beta_n^*, \dots, \beta_7 + 1 - \beta_n; x) \quad (n=2, \dots, 7)$$

Розглянуто окремі випадки розв'язку неоднорідного рівняння (3).

Таким чином точний розв'язок побудовано для замкненої ортотропної конічної оболонки сталі товщини в окружному напрямку.

Якщо необхідно визначити напружено-деформований стан замкнених або відкритих конічних оболонок зі змінними жорсткісними параметрами у двох координатних напрямках, то необхідно використувати апарат чисельного аналізу.

В третьому розділі викладено підхід до чисельно-аналітичного розв'язування двовимірних крайових задач статички ортотропних шаруватих відкритих та замкнених конічних оболонок обертання змінної в двох координатних напрямках жорсткості.

В першому параграфі, виходячи із основних співвідношень теорії тонких шаруватих оболонок, що заснована на гіпотезі Кірхгофа-Лява, виводиться розв'язуюча система трьох диференціальних рівнянь в частинних похідних в переміщеннях, яку записуємо у наступному вигляді:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial s^2} = f_1(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial s}, \frac{\partial v}{\partial s}, \frac{\partial w}{\partial s}, \frac{\partial u}{\partial \theta}, \frac{\partial v}{\partial \theta}, \frac{\partial^2 u}{\partial s^2}, \frac{\partial^2 v}{\partial s \partial \theta}),$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial s^2} = f_2(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial s}, \frac{\partial v}{\partial s}, \frac{\partial w}{\partial s}, \frac{\partial u}{\partial \theta}, \frac{\partial v}{\partial \theta}, \frac{\partial w}{\partial \theta}, \frac{\partial^2 w}{\partial s^2}, \frac{\partial^2 u}{\partial s \partial \theta}, \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial s \partial \theta}, \frac{\partial^3 w}{\partial \theta^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial s^2 \partial \theta}),$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial s^2} = f_3(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial s}, \frac{\partial w}{\partial s}, \frac{\partial v}{\partial \theta}, \frac{\partial w}{\partial \theta}, \frac{\partial^2 w}{\partial s^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial s \partial \theta}, \frac{\partial^3 w}{\partial s^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial \theta^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial s \partial \theta^2}, \frac{\partial^3 w}{\partial s^2 \partial \theta}, \frac{\partial^3 w}{\partial \theta^4}, \frac{\partial^3 w}{\partial s^2 \partial \theta^2})$$

де f_1, f_2, f_3 - лінійні оператори.

При цьому u, v, w - переміщення серединної поверхні відповідно у меридіональному, коловому та нормальному напрямках. Середина поверхні конічної оболонки віднесена до криволінійної ортогональної системи координат s, θ , де s - довжина дуги твірної, що відраховується від вершини конуса, а θ - центральний кут в паралельному колі, що відраховується від обраної поверхні.

Формулюються граничні умови на прямолінійних C_1 та криво- лінійних C_2 контурах оболонки в переміщеннях, які можна запи- сати у такому вигляді:

$$R_{C_1}(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial \theta}, \frac{\partial v}{\partial \theta}, \frac{\partial w}{\partial \theta}, \dots) = 0, \quad (5)$$

$$R_{C_2}(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial s}, \frac{\partial v}{\partial s}, \frac{\partial w}{\partial s}, \dots) = 0. \quad (6)$$

В другому параграфі коротко приводяться деякі основні відомості про В-сплайни третього та п'ятого степеня, що побудовані на рівномірній сітці, та викладається суть методу сплайн-колокації.

Розв'язок крайової задачі шукаємо у вигляді:

$$\begin{aligned} u(s; \theta) &= \sum_{i=0}^N u_i(s) \varphi_i(\theta), \\ v(s; \theta) &= \sum_{i=0}^N v_i(s) \varphi_i(\theta), \\ w(s; \theta) &= \sum_{i=0}^N w_i(s) \varphi_i(\theta) \end{aligned} \quad (7)$$

де $u_i(s)$, $v_i(s)$, $w_i(s)$ - невідомі функції, що підлягають виз- наченню, а $\varphi_i(\theta)$ і $\psi_i(\theta)$ - лінійні комбінації В-сплайнів відпо- відно третього та п'ятого степеня на розбитті $\Delta (\theta_0 < \theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_N)$, які задовольняють граничні умови на прямолінійних контурах $\theta = \theta_0$ і $\theta = \theta_N$ відкритої кінчної оболонки або умо- вам періодичності або симетрії для замкненої в коловому напрям- ку кінчної оболонки. В прямокутній області $D = \{s_1 \leq s \leq s_2; \theta_0 \leq \theta \leq \theta_N\}$, де шукається розв'язок вихідної двовимірної за- дачі, проводимо $N+1$ прямих ліній $\theta = \xi_k$ ($k = 1, 2, \dots, N+1$), через точки колокації (s_1, ξ_k) на одному з криволінійних кон- турів.

Підставляєм розв'язок (7) в розв'язуючу систему рівнянь (4) і вимагаємо, щоб нев'язка системи на лініях $\theta = \xi_k$ дорівнювала нулю. Перетворимо також граничні умови (5), (6) з врахуванням

зображення розв'язку у вигляді (7). В результаті вихідну крайову задачу (4) - (6) зводимо до одномірної крайової задачі вигляду:

$$\begin{aligned} \sum_i u_i'' \varphi_i(\xi_j) &= f_1 \left(\sum_i u_i \varphi_i(\xi_j), \sum_i v_i \varphi_i(\xi_j), \right. \\ &\quad \left. \sum_i w_i \varphi_i(\xi_j), \dots, \sum_i u_i \ddot{\varphi}_i(\xi_j) \right), \\ \sum_i v_i'' \varphi_i(\xi_j) &= f_2 \left(\sum_i u_i \varphi_i(\xi_j), \sum_i v_i \varphi_i(\xi_j), \right. \\ &\quad \left. \sum_i w_i \varphi_i(\xi_j), \dots, \sum_i v_i \ddot{\varphi}_i(\xi_j) \right), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sum_i w_i'' \varphi_i(\xi_j) &= f_3 \left(\sum_i u_i \varphi_i(\xi_j), \sum_i v_i \varphi_i(\xi_j), \right. \\ &\quad \left. \sum_i w_i \varphi_i(\xi_j), \dots, \sum_i w_i \ddot{\varphi}_i(\xi_j) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{c_2} \left(\sum_i u_i \varphi_i(\xi_j), \sum_i v_i \varphi_i(\xi_j), \sum_i w_i \varphi_i(\xi_j), \dots \right) &= 0 \\ (j = 1, 2, \dots, N+1) \end{aligned} \quad (9)$$

Тут штрих позначає диференціювання по s , а точка - по θ . Вводячи позначення $R = \{\bar{u}, \bar{u}', \bar{v}, \bar{v}', \bar{w}, \bar{w}', \bar{w}'', \bar{w}'''\}$, одномірну крайову задачу (8) - (9) можна скорочено записати у вигляді:

$$\frac{d\bar{R}}{ds} = A\bar{R} + \bar{F} \quad (I0)$$

$$B_1 \bar{R}(s_1) = \bar{\alpha}_1, \quad B_2 \bar{R}(s_2) = \bar{\alpha}_2 \quad (II)$$

Система (10) є системою звичайних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, в якій є $8(N+1)$ рівнянь і стільки ж невідомих функцій.

Після цього крайова задача (10), (11) розв'язується за допомогою методу дискретної ортогоналізації, в якій за рахунок ортогоналізації векторів-розв'язків задачі Коши в окремих точках інтегрування усувається зріст похибки, що приводить до стійкого обчислювального процесу.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробці алгоритму та загальним питанням реалізації процесу чисельного розв'язування двовимірних крайових задач статички ортотропних шаруватих відкритих та замкнених конічних оболонок змінної жорсткості. Алгоритм бувався таким чином, щоб він мав, з одного боку, достатню загальність в значенні фізичної постановки, а з другого – був ефективним у відношенні потрібної точності розв'язку та економічний у часі обчислень. При побудуванні алгоритму передбачалось можливість варіювати в широкому діапазоні геометричними параметрами конічної оболонки, механічними та теплофізичними властивостями матеріалів шарів пакету та видами навантаження. Передбачена можливість завдання на прямолінійних контурах наступних способів їх закріплення: 1) жорстке закріплення; 2) жорстке шарнірне закріплення; 3) ковзне в нормальному напрямку закріплення; 4) умови симетрії. Для перерахованих способів закріплення прямолінійних контурів побудовані відповідні функції $\psi_1(\theta)$ та $\psi_2(\theta)$, які є лінійні комбінації В-сплайнів третього та п'ятого степеня.

Алгоритм також є незалежним від виду правої частини системи диференціальних рівнянь (4), тобто його структуру можна використовувати також у випадку вибору іншої теорії або типу оболонок.

Розроблений алгоритм реалізовано у вигляді пакету програм на мові ФОРТРАН для ЕС ЕОМ. Пакет програм складається із окремих модулів, що реалізують різні частини обчислювального процесу. Модулі по своєму призначенню діляться на модулі загального та спеціального призначення.

П'ятий розділ присвячено аналізу достовірності одержаних результатів та дослідженню на основі запропонованого підходу

напружено-деформованого стану кінцевих оболонкових елементів конструкції змінної в двох координатних напрямках товщини при різноманітних способах навантаження та закріплення контурів.

На кожному етапі реалізації процесу чисельного розв'язання задачі вноситься своя похибка, тому і дати теоретичну оцінку похибки остаточного результату не є можливим із-за складності усієї схеми обчислювального процесу. Тому виникла необхідність проведення чисельних експериментів, котрі дозволяють оцінити похибку розв'язку вихідної задачі практично. При цьому використовувались різні індуктивні способи, що полягають в оцінці збіжності процесу розв'язання задачі по числу точок колокації, при різних розрахункових схемах, для різного числа кроків інтегрування, ортогоналізації та видачі результатів, порівняння одержаних результатів з точними розв'язками, а також з розв'язками інших авторів по різним методикам. Проведені чисельні експерименти показали достатню точність розв'язку, ефективність та можливість підходу.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану замкненої в коловому напрямку ортотропної кінцевої оболонки змінної в двох координатних напрямках товщини під дією внутрішнього тиску, коли криволінійні контури жорстко закріплені. Вивчено вплив величини кута конусності, побудовані залежності найбільшого значення прогину і напружень в меридіональному та коловому напрямках для різних значень кута конусності. Проведено дослідження деформації відкритої ортотропної кінцевої панелі змінної в двох координатних напрямках товщини, що лежить на пружній Вінклеровій основі, коли всі чотири контури жорстко закріплені. Показано вплив коефіцієнта постелі, а також змінності товщини на напружено-деформований стан кінцевої оболонки.

Досліджено вплив параметрів ортотропної на деформацію відкритої ортотропної кінцевої оболонки змінної в коловому напрямку товщини при жорсткому закріпленні всіх контурів під дією поверхневого навантаження. Показано вплив змінності товщини в коловому напрямку та необхідності врахування цього фактору в розрахункових схемах. Проведено дослідження впливу способів закріплення контурів кінцевої оболонки змінної в коловому напрямку товщини на її напружено-деформований стан. Розглянуто випадки,

коли криволінійні контури жорстко закріплені і шарнірно закріплені, в той час як на прямолінійних контурах задано три варіанти умов: жорстке закріплення, шарнірне закріплення, а також ковзне в нормальному напрямку закріплення. Побудовані залежності прогину і напружень для вказаних варіантів граничних умов, які дозволяють робити висновки про степінь впливу умов закріплення контурів на деформацію конічних оболонок.

У висновку сформульовані основні результати, що отримані в роботі. Вони полягають в наступному.

Побудовано точний аналітичний розв'язок задачі про згин ортотропної конічної оболонки осесиметричної структури, що базується на використанні гіпергеометричних функцій. Розроблено підхід до чисельного розв'язування двовимірних задач статички відкритих і замкнених в коловому напрямку ортотропних конічних оболонок змінної в двох координатних напрямках жорсткості, що знаходяться під дією силових та температурних навантажень, який базується на сплайн-апроксимації в одному координатному напрямку і чисельному інтегруванні в іншому; проведено дослідження напружено-деформованого стану розглянутого класу задач, виявлені ефекти, зв'язані зі змінністю товщини, ортотропією, способами закріплення контурів.

При цьому отримано такі конкретні результати:

1. Побудовано точний аналітичний розв'язок задачі про згин ортотропних конічних оболонок змінної вздовж твірної товщини під дією нормального поверхневого навантаження та температурного поля з використанням гіпергеометричних функцій.

2. Розроблено методику чисельного розв'язання двовимірних крайових задач про деформацію відкритих і замкнених ортотропних конічних оболонок обергання зі змінними в двох координатних напрямках параметрами, що базується на спільному використанні методів сплайн-колокації та дискретної ортогоналізації.

3. На основі розробленого підходу до розв'язання двовимірних крайових задач побудовано алгоритм чисельного розв'язування задач про деформацію ортотропних відкритих і замкнених конічних оболонок змінної жорсткості, що реалізований у вигляді програми для ЕС ЕОМ.

4. За допомогою різних індуктивних способів проведена оцінка вірогідності отриманих результатів.

5. Проведено дослідження напружено-деформованого стану конічних оболонок в залежності від їх геометричних і механічних параметрів, видів навантаження і граничних умов. Зокрема, виконано аналіз напружено-деформованого стану: замкнених в коловому напрямку ортотропних конічних оболонок змінної в двох координатних напрямках товщини під дією внутрішнього тиску при жорсткому закріпленні криволінійних контурів для різних значень кута конусності; відкритих конічних оболонок на пружній основі; відкритих конічних оболонок змінної в коловому напрямку товщини при зміні параметрів ортотропії матеріалу і способів закріплення контурів. В наведених задачах побудовано розподіли прогинів і напружень в меридіональному і коловому напрямках. Показано вплив змінності товщини в коловому напрямку на напружено-деформований стан оболонок і необхідність урахування цього фактору в розрахункових схемах при дослідженні елементів конструкцій.

Розроблені методики були використані для визначення полів напружень і переміщень конічних оболонкових елементів конструкцій спеціального призначення (ІТТФ АН України), дифузорів (Київський монтажний-заготівельний завод № 2), роторного металника землерийно-транспортного механізованого інструменту (інструмент створено на кафедрі будівельних машин КІБІ за договором з тепличним радгоспом "Київська овочева фабрика". (А.П. № І46І829 (СРСР). Землерийна машина).

Таким чином, отримані в роботі результати можуть бути використані для дослідження напружено-деформованого стану шаруватих ортотропних відкритих і замкнених в коловому напрямку конічних оболонок зі змінними геометричними і механічними параметрами під дією поверхневих і контурних навантажень та температурного поля при різних умовах закріплення контурів.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

І. Убайдуллаев Ю.Н. Об одном подходе к исследованию напряженно-деформированного состояния оболочек вращения с переменными параметрами и сложными граничными условиями на контуре. - В кн.: Теория и численные методы расчета пластин и оболочек. Т. II, Тбилиси. - 1984. - С. 59-69.

2. Убайдуллаев Ю.Н. О методе расчета тонкостенных бетонных и железобетонных элементов конструкций. Школа-семинар "Качество и надежность строительных материалов и конструкций в сейсмическом строительстве" //Тез. докл. - Тбилиси, 1986. - С. 108.

3. Журавель А.Е., Убайдуллаев Ю.Н. Расчет конических оболочек симметричного строения при силовых и температурных воздействиях //Нелинейные методы расчета пространственных конструкций. Сб. научных трудов. - Москва, 1988. - С. 151-157.

4. А.с. № 1461829 (СССР). Землеройная машина /В.Л. Баладинский, В.Ю. Дончук, Ю.Н. Убайдуллаев, И.Н. Кравченко. - Опубл. в Б.И., 1989, № 8.

5. Журавель А.Е., Убайдуллаев Ю.Н. Влияние угла конусности на прочность конструктивно-ортотропных оболочек //Тез. докл. 52-й научно-практич. конф. - Киев: КИСИ, 1991. - С. 172-173.

6. Убайдуллаев Ю.Н. Определение напряженно-деформированного состояния конических оболочек переменной жесткости методом сплайн-коллокаций //Тез. докл. 52-й научно-практич. конф. - Киев: КИСИ, 1991. - С. 173.

7. Григоренко Я.М., Крюков Н.Н., Шутовский О.М., Убайдуллаев Ю.Н. Решение двумерных краевых задач статики открытых и замкнутых конических оболочек переменной жесткости с применением сплайн-функций //Докл. АН Украины, Сер. А. - 1992. - № 3. - С. 35-38.

8. Журавель А.Е., Убайдуллаев Ю.Н. Гипергеометрическое решение многослойной конической оболочки //Тез. докл. 53-й научно-практич. конф. - Киев: КИСИ, 1992. - С. 158.

9. Убайдуллаев Ю.Н. Исследование влияния ортотропии на напряженно-деформированное состояние конических оболочек с помощью В-сплайнов //Тез. докл. 53-й научно-практич. конф. - Киев: КИСИ, 1992. - С. 160.

10. Убайдуллаев Ю.Н. Решение двумерных задач статики конических оболочек с применением В-сплайнов. - Киев: Киевск. инж.-строит. ин-т (рукопись деп. в УкрИНТЭИ сентябрь 1992 г., № 3193), 1992.

11. Убайдуллаев Ю.Н. Расчет напряженно-деформированного состояния конических оболочек переменной жесткости на основе метода сплайн-коллокации. - Киев: Киевск. инж.-строит. ин-т (Рукопись деп. в УкрИНТЭИ сентябрь 1992 г., № 3194), 1992.

Ніан. до друку *сч. 01.92* . Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Папір друк. № *3* . Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. *сч. 93* .
Умовн. фарбо-відб. *1,16* . Обл.-вид. арк. *10* .
Тираж *100* . Зам. № *3634* . Безплатно.

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волницька, 60.



Бесплатно

ЛВ 26.622

АВ 26.622