МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ПОКОЛЕНКО Вадим Олегович

УДК 624.04

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МАСИВНИХ ТІЛ ТРАНСЛЯЦІЙНОЇ ФОРМИ

Спеціальність 05.23.17.— Будівельна механіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 1993

Робота виконана на кафедрі будівельної механіки Київського інженерно-будівельного інституту.

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор В. К. Чибіряков

Офіційні опоненти — доктор технічних наук, професор В.С.Сіпетов

— кандидат технічних наук, ст. н. сп. С. Ю. Фіалко

Провідна організація — НДІредуктор

Захист дисертації відбудеться 14 травня 1993 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.05.04 Київського інженерно-будівельного інституту за адресою: 252037, Повітрофлотський проспект, 31.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано «14» квітня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук,
доцент — Г. Й. Мельниченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Технологія безперервного виробництва будівельних конструкцій, деталей машин та механізмів, гідротехнічних споруд приводить до створення об'єктів певної форми, утворених переміщенням (трансляцією) плоскої фігури (перерізу) вздовж деякої лінії - спрямовуючої. Такими об'єктами є залізобетонні елементи каркасів будівель промислового та громадського призначення (стінові панелі, ригелі, підкранові балки, плити покриття та перекриття, смужкові фундаменти), багато машинобудівних деталей (корпуси, станини, шнеки, елементи зубчастих передач).

Складний характер геометрії, статичних та кінематичних дій, неоднорідність пружних властивостей у поперечному напрямі ускладнюють напружено-деформований стан таких об'єктів та змушують розглядати їх як масивні тіла з позицій просторової задачі теорії пружності.

Для вказаних об'єктів виявляється доцільним розробити чисельно-аналітичну методику, яка поєднує різні методи розрахунку в єдиному алгоритмі та враховує особливості геометрії тіл трансляційної форми. Розробка такої методики є актуальною проблемою будівельної механіки.

Метою дисертації є розробка комбінованої чисельно-аналітичної методики розрахунку просторового напружено-деформованого стану масивних тіл трансляційної форми, яка грунтується на зведенні тривимірної задачі теорії пружності до одновимірної за допомогою варіаційно-різницевого методу з наступним розв'язанням побудованих одновимірних крайових задач методом дискретної ортогоналізації.

Наукова новина роботи полягає в слідуючому :
- розроблено чисельно-аналітичну методику розрахунку просторового напружено-деформованого стану масивних тіл трансляційної форми, згідно з якою на першому етапі здійснюється зниження вимірності вихідних рівнянь тривимірної задачі теорії пружності до одновимірної, а на другому - розв'язання редукованих крайових задач методом дискретної ортогоналізації;
- за допомогою варіаційно-різницевого методу побудовано системи редукованих розв'язуючих рівнянь для довільного вузла та - в цілому - одновимірні крайові задачі для дослідження НДС зка-

заного класу масивних тіл;
- створено програмний обчислювальний комплекс,орієнтований на використання ЄС ЕОМ та ПЕОМ;
- отримано нові результати по дослідженню НДС масивних елементів залізобетонних каркасів та машинобудівних деталей із складною геометрією у просторовій постановці;в результаті розв'язання задач одержано дані про складний суттево тривимірний характер розподілу напружень,визначено зони концентрації напружень.

Вірогідність результатів підтверджується достатньо обгрунтованим вибором методів чисельного аналізу,розв'язанням тестових задач та порівнянням з існуючими чисельними результатами, наведеними в роботах інших авторів.

Практична цінність роботи полягає в тому,що розроблена методика може бути застосована для розрахунку просторового напружено-деформованого стану будівельних конструкцій та деталей машин,розрахункові моделі яких являють собою масивні тіла трансляційної форми.

Впровадження результатів здійснено в рамках досліджень по темі: "Технологія монтажу будівель-модулів із застосуванням системи напівавтоматичних пристроїв",що велись в УкрНДІБВ.Матеріали впровадження подано розробленою методикою та результатами розрахунку масивних елементів залізобетонних каркасів складної геометричної будови.

Апробація роботи.Основні результати виконаних в дисертаційній роботі теоретичних та експериментальних досліджень доповідались на 5І-й,52-й та 53-й науково-практичних конференціях Київського інженерно-будівельного інституту (І990,І99І, І992 рр.).

Публікації.Основний зміст дисертації відображено у п'яти роботах.

Обсяг роботи.Дисертаційна робота складається із вступу,4 розділів,висновків по роботі,бібліографії (І36 найменувань) та додатку,вона складається з ІІ2 сторінок основного тексту та 4І малюнків.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі окреслено клас об'єктів,що розглядаються,подано огляд літератури з питань теорії та методів розрахунку масивних тіл вказаного класу,визначено мету та завдання дисертації.

Підкреслено,що в роботах Л.П.Винокурова,І.Є.Мілейковського, О.Є.Крушевського,В.Г.Корнеєва,Л.О.Розіна вказано,що специфіка форми таких об'єктів дозволяє розробити комбіновану методику розрахунку,яка грунтується на застосуванні різних чисельних та аналітичних методів в єдиному алгоритмі.В цих роботах головну увагу оконцентровано на питаннях зниження вимірності вихідних рівнянь,які вирішені повністю.Друга частина розрахунку - розв'язання редукованих крайових задач - вирішена недостатньо.Запропоновано використовувати аналітичні методи,та через їх обмежені можливості такий підхід подальшого розвитку не набув.

Ефективну чисельно-аналітичну методику розрахунку призматичних тіл та тіл обертання запропонували О.С.Сахаров та О.І.Гуляр.Зниження вимірності вихідних рівнянь здійснювалось аналітично,а двовимірна редукована крайова задача розв'язувалась чисельно.За метод дискретизації обрано напіваналітичний варіант методу скінчених елементів.Цей підхід одержав розвиток у роботах О.С.Сахарова,О.І.Гуляра,В.М.Кархальова,В.І.Степашко, С.А.Шалигіна,О.Г.Топора,Ле Чунг Кионга,О.Є.Майбороди.Методика була апробована для криволінійних тіл,для призматичних тіл та тіл обертання,що мають вирізи,які порушують осьову симетрію,для неоднорідних тіл.Досліджено можливості застосування даної методики до задач про великі пластичні деформації.

В наш час розроблено ефективні чисельні алгоритми розв'язання одновимірних крайових задач і це робить актуальним такий підхід.При цьому необхідно раціонально узгоджувати кожен з етапів розрахунку - зниження вимірності по поперечних координатах та розв'язання одновимірних крайових редукованих задач - з метою побудови ефективних обчислювальних алгоритмів.

Перший розділ присвячений постановці задачі.Визначено особливості геометрії тіл,що досліджуються.Розглядаються тіла,геометрія яких окреслена системою криволінійних координат ($x1$, $x2$, $x3$).Поперечні координати $x1$ та $x2$ є параметрами, незалежними від значень поздовжньої координати x^3, оскільки положення довільної точки у площині перерізу зберігається при будь-якому значенні x^3.- спрямовуючої. Здійснено вибір вихідних співвідношень, за які прийнято співвідношення узагальненого принципу мінімуму повної потенційної енергії системи, що для косокутніх координат має вигляд:

$$\delta\Pi = 0,$$

$$\Pi = \iiint_V \left(E(\varepsilon_{ij}) - \bar{X}_i \cdot u_i - \left(\varepsilon_{ij} - \frac{1}{2} \cdot (u_{i,j} + u_{j,i}) \right) \cdot \sigma^{ij} \right) dV - \iint_{A_1} T_i \cdot u_i \, dA - \iint_{A_2} (u_i - \bar{u}_i) \cdot \sigma^{ij} \cdot m_j \, dA \tag{I}$$

де i =1,2,3;

ε_{ij} - коваріантні компоненти тензору деформацій;

σ^{ij} - коваріантні компоненти тензору напружень;

$E(\varepsilon_{ij})$ - фуекція енергії деформації: $\frac{\partial E(\varepsilon_{ij})}{\partial \varepsilon_{ij}} = \sigma^{ij}$;

$u_{i,j}$ - коваріантна похідна коваріантного вектора, що визначається формулою : $u_{i,j} = \frac{\partial u_i}{\partial x^j} - \Gamma_{ij}^{k} u_k$

A_2 - частина поверхні тіла, де задані переміщення;

A_1 - частина поверхні тіла, де задані напруження;

dV - елемент об'єму тіла;

δ - знак варіації.

Оскільки функціонал є інваріантним відносно систем координат, з варіаційних рівнянь (I) одержують вихідні рівняння для криволінійних ортогональних, циліндричних та декартових координат, що є частинними випадками косокутньої криволінійної системи координат.

У другому розділі висвітлено процедуру побудови одновимірних крайових задач для дослідження просторового НДС масивних тіл трансляційної форми.

Площина поперечного перерізу тіла,що досліджуються,розбивається криволінійною ортогональною сіткою з кроками Δx_1 та Δx_2 так,щоб утворені перетином координатних ліній вузли розташовувались по межах перерізу та шарів з різними пружними властивостями.Чарунки сітки розділяються на чвеоті.Кожному i -му вузлу ставимо у відповідність набір коефіцієнтів $A(i,k)$, де i вказуе на порядковий номер вузла,а k - на номер однієї з чвертей,що збігаються у даному вузлі.Вагові коефіцієнти $A(i,k)$ чисельно дорівнюють відношенню площі k -ї чверті i-го вузлу до площі чарунки,що прийнята за стандартну(мал. I).

Похідні розв'язуючих функцій по поперечних координатах x_1 та x_2 апроксимуються центральними різницями :

$$\frac{\partial f^i}{\partial x_k} \rightarrow \frac{f^{i+\Delta x_k} - f^{i-\Delta x_k}}{2\Delta x_k} \qquad (2),$$

де $k = 1,2$; $x_k \rightarrow x_1, x_2$; i - порядковий номер вузлу ;

Апроксимацією похідних розв'язуючих функцій по змінних x_1 та x_2 скінченими різницями (2) та заміною інтегрування по площині поперечного перерізу сумою (використовуючи коефіцієнти $A(i,k)$),вихідний функціонал трансформується так, що единою залежною змінною залишається поздовжня координата x_3 - спрямовуюча.Рівняннями Ейлера відповідної варіаційної задачі е звичайні диференціальні рівняння першого порядку,які надалі використовуються як розв'язуючі в даному підході.

Розв'язуючі рівняння для довільного вузла мають вигляд (3) (наведено редуковані розв'язуючі рівняння в декартових координатах) :

$$\frac{dU(i)}{dx} = \frac{\sigma_{xx}(i)}{\lambda+2\mu} - \frac{\lambda}{\lambda+2\mu}\cdot\left(\frac{m_1(i,j)\cdot V(j)}{2\Delta y} + \frac{m_2(i,j)\cdot W(j)}{2\Delta z}\right);$$

2

$$\frac{dv(i)}{dx} = \frac{\tau_{xy}(i)}{\mu} - \frac{m_1(i,j)\cdot u(j)}{2\Delta y};\quad v\to w,\ m_1\to m_2,\ \Delta y\to\Delta z;$$

$$\frac{d\sigma_{xx}(i)}{dx} = -\frac{m_1(i,j)}{2\Delta y}\cdot\tau_{xy}(j) - \frac{m_2(i,j)}{2\Delta z}\cdot\tau_{xz}(j) - \bar{X};$$

$$\frac{d\tau_{xy}(i)}{dx} = -\frac{m_1(i,j)}{2\Delta y}\cdot\sigma_{yy}(j) - \frac{m_2(i,j)}{2\Delta z}\cdot\tau_{yz}(j) - \bar{Y};\qquad (3)$$

$$\frac{d\tau_{xz}(i)}{dx} = -\frac{m_1(i,j)}{2\Delta y}\cdot\tau_{yz}(j) - \frac{m_2(i,j)}{2\Delta z}\cdot\sigma_{zz}(j) - \bar{Z},$$

де $m_1(i,j)$, $m_2(i,j)$ – скінчено-різницеві аналоги похідних розв'язуючих функцій по змінних y та z ;

x – поздовжня координата.

Функції,що входять у рівняння (3) алгебраїчно,якщо вони не визначені з умов на поверхні тіла,виключаються із розв'язуючих рівнянь.Одержано відповідні залежності:

$$\sigma_{yy}(i) = \frac{\lambda}{\lambda+2\mu}\cdot\sigma_{xx}(i) + \frac{4\mu(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu}\cdot\frac{m_1(i,j)}{2\Delta y}\cdot v(j) + \frac{2\lambda\mu}{\lambda+2\mu}\cdot\qquad (4)$$

$$\cdot\frac{m_2(i,j)}{2\Delta z}\cdot w(j);\quad \sigma_{yy}\to\sigma_{zz},\ v\rightleftarrows w;\ \Delta y\rightleftarrows\Delta z;$$

$$\tau_{yz}(i) = \mu\left(\frac{m_1(i,j)}{2\Delta y}\cdot w(j) + \frac{m_2(i,j)}{2\Delta z}\cdot v(j)\right).$$

В рівняннях (3) враховано граничні умови на боковій поверхні тіла.Разом з об'ємними силами вони утворюють вільні члени рівнянь.Вимірність системи розв'язуючих рівнянь $N_y = 6N$,де 6 – кількість вузлів.Для системи N_y рівнянь на торцевих площинах ($x=0$ та $x=L$) задаються по $N_y/2$ граничних умов.Рівняння (3),записані в нормальній формі Коші,разом з граничними умовами складають одновимірну крайову задачу для розрахунку просторового НДС масивних тіл трансляційної форми.

Завдяки розробленій матричній формі подання розв'язуючих редукованих рівнянь їх структура та вигляд не залежать від кількості вузлів, що важливо для подальшого застосування чисельних методів.

Третій розділ розглядає питання розробки чисельного алгоритму розрахунку просторового напружено-деформованого стану масивних тіл трансляційної форми. Після реалізації першого етапу розрахунку, пов'язаного із зниженням вимірності вихідних рівнянь та одержанням одновимірних редукованих крайових задач, постає питання пошуку методу їх чисельного розв'язання. Найбільш ефективними алгоритмами розв'язання таких задач є алгоритми, засновані на зведенні крайової задачі до задачі Коші. В даній роботі перевага надається методу дискретної ортогоналізації С.К.Годунова. Застосування цього методу забезпечує стійкість обчислення та підвищує точність розрахунку просторової задачі теорії пружності, оскільки головний чисельний процес - розв'язання системи диференціальних рівнянь першого порядку - здійснюється за допомогою алгоритму Рунге-Кутта 4 порядку точності.

Запис рівнянь у явному вигляді сприяє ефективному використанню їх особливостей при розробці програмної реалізації алгоритму.

Крайова задача ставиться у вигляді (5) :

$$\frac{d\vec{Y}}{dx} = A(x)\cdot\vec{Y} + \vec{F} \qquad (5)$$

де x - поздовжня координата (спрямовуюча) ;

$\vec{Y}$ - вектор розв'язуючих функцій ;

$\vec{F}$ - вектор вільних членів рівнянь ;

A - матриця коефіцієнтів.

Граничні умови задаються у вигляді (6) :

$$C_0\left(\vec{Y}(0) - \vec{\Phi}_0\right) = 0, \; C_L\cdot\left(\vec{Y}(L) - \Phi_L\right) = 0, \qquad (6)$$

2*

$$C_0 = \left\| \begin{array}{cccc|cccc} \gamma_1^{(0)} & & & & 1-\gamma_1^{(0)} & & & \\ & \gamma_2^{(0)} & & & & 1-\gamma_2^{(0)} & & \\ & & \gamma_3^{(0)} & & & & 1-\gamma_3^{(0)} & \\ & & & \ddots & & & & \ddots \\ & & & \gamma_{\frac{N_y}{2}}^{(0)} & & & & 1-\gamma_{\frac{N_y}{2}}^{(0)} \end{array} \right\| ; \quad \begin{array}{l} C_0 \to C_L \\ \gamma(0) \to \gamma(L) \end{array}$$

де γ = I,якщо задано переміщення ;

γ = 0,якщо задано напруження ;

C_0, C_L – матриці,вимірністю $N_y/2 \times N_y$, N_y – вимірність рівнянь;

Φ_0, Φ_L – вектори,які визначають значення граничних умов відповідно при $x=0$ та $x=L$,їх вимірність N_y .

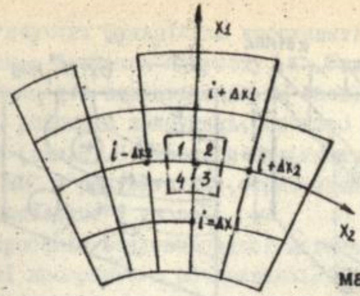
Для забезпечення стійкості обчислення на інтервалі інтегрування задаються точки ортогоналізації,що водночас є точками подання результатів.Кількість таких точок визначається шляхом чисельних експериментів.

Розроблена чисельно-аналітична методика розрахунку просторового напружено-деформованого стану масивних тіл трансляційної форми реалізована у вигляді комплексу програм,написаних мовою ФОРТРАН та орієнтованих на ЄС ЕОМ та ПЕОМ.Особливістю створеного програмного комплексу є виділення процедури формування правої частини розв'язуючих рівнянь в окремий програмний блок,що сприяю швидкій адаптації комплексу на інші задачі.

Для перевірки вірогідності вказаного підходу до розв'язання задач розрахунку просторового НДС масивних тіл трансляційної форми запропонована методика була апробована на розв'язанні задач,для яких є результати чисельного або аналітичного розрахунку,наведені в роботах інших авторів.

Як одну з тестових задач досліджено плоский напружений стан консольної пластини,що є результатом дії рівномірно розподіленого навантаження на її верхній грані.Одержані дані порівнювались з результатами,отриманими за допомогою узагальненого методу скінчених інтегральних перетворень(табл.I).

Досліджено просоровий напружено-деформований стан короткого брусу змінної висоти під діє.о локального навантаження.У розв'язуючі рівняння в скінченно-різницеві аналоги похідних



мал.I

табл.I.

$z = -h/2$

x/l	0.25	0.5	0.75	I.0
$\sigma_x \cdot 10^{-3}$, МПа	<u>I4.375</u>	<u>4.255</u>	<u>0.206</u>	<u>0</u>
	I2.86	4.4I0	0.I3I	0
$u \cdot 10^{-8}$, м	<u>3.795</u>	<u>5.268</u>	<u>5.972</u>	<u>6.444</u>
	3.82I	5.268	5.986	6.452
$w \cdot 10^{-7}$, м	<u>5.6I9</u>	<u>9.794</u>	<u>I3.429</u>	<u>I6.627</u>
	5.698	9.84I	I3.470	I6.662

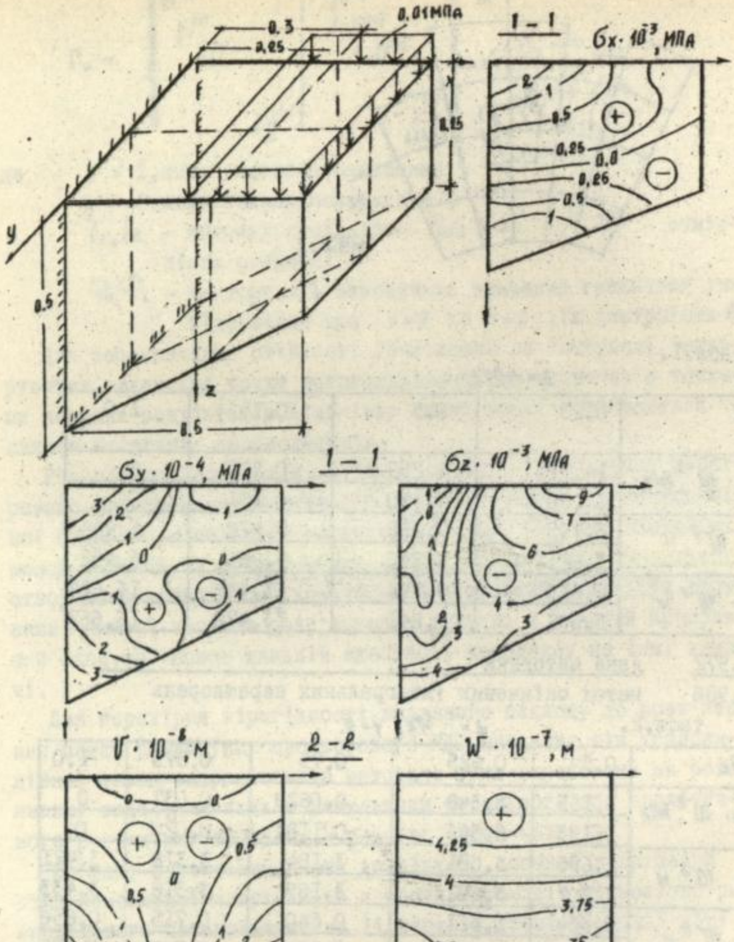
<u>5.972</u> <u>дана методика</u>
5.986 метод скінчених інтегральних перетворень

табл.2.

$z = -h/2, \; y = 0.$

x/l	0.5	0.625	0.75	0.875	I.0
$\sigma_x \cdot 10^{-2}$, МПа	<u>I.I65</u>	<u>0.348</u>	<u>0.0829</u>	<u>0.037</u>	<u>0</u>
	I.I73	0.346	0.II8I	0.020	0
$u \cdot 10^{-8}$, м	<u>2.696</u>	<u>3.00I</u>	<u>3.I84</u>	<u>3.3I8</u>	<u>3.42I</u>
	2.707	3.002	3.I89	3.3I8	3.433
$w \cdot 10^{-6}$, м	<u>0.384</u>	<u>0.52I</u>	<u>0.640</u>	<u>0.7I5</u>	<u>0.856</u>
	0.380	0.5I7	0.639	0.70I	0.855

<u>0.348</u> <u>дана методика</u>
0.346 метод скінчених інтегральних перетворень



0.3
0.25
0.01МПА
0.25
0.5
y
z
1 – 1
бx · 10⁻³, МПА
бy · 10⁻⁴, МПА
бz · 10⁻³, МПА
2 – 2
V · 10⁻⁸, М
W · 10⁻⁷, М

мал.2

розв'язуючих функцій по координаті z введено змінні коефіцієнти - значення приросту Δz .Складний характер геометрії, локальна дія навантаження,як засвідчили розрахунки,ускладнюють розподіл напружень,особливо у перерізах,паралельних xOz (мал.2).Порівняння одержаних розрахункових характеристик НДС з результатами,отриманими за допомогою іншого методу,наведено в табл.2.

Апробація запропонованої методики та створеного на її основі програмного обчислювального комплексу дозволяє зробити висновок про можливість застосування даної чисельної методики до розв'язання конкретних інженерних задач - до розрахунку об'єктів будівництва та машинобудування,розрахункові моделі яких являють собою масивні тіла трансляційної форми.

У четвертому розділі наведено розрахунки складних задач, виконані за допомогою даної методики.

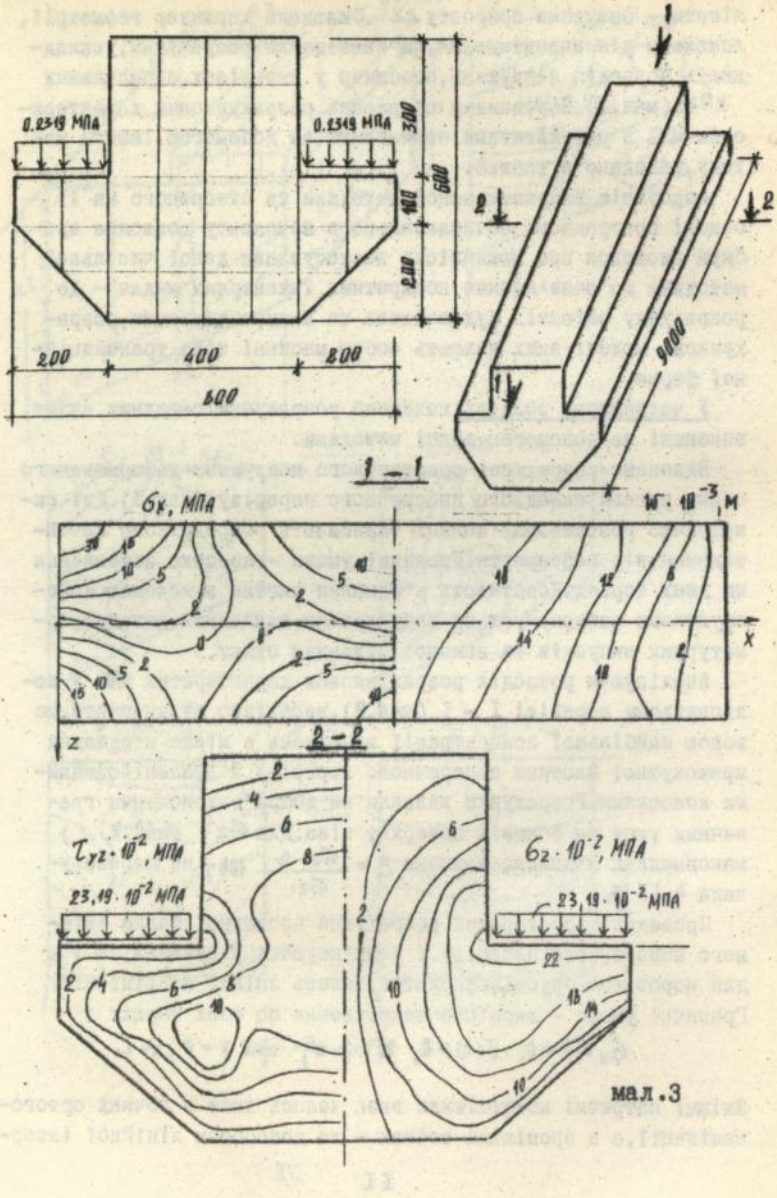
Виконано розрахунок просторового напружено-деформованого стану ригеля складного поперечного перерізу (мал.3).Дві симетрично розташовані полиці сприймають розрахункове навантаження від перекриття.Граничні умови - жорстке защемлення по двох торцях.Жорсткість з'єднання ригеля з колоною конструктивно забезпечується зварюванням закладних деталей,арматурних випусків та замонолічуванням стику.

Аналізуючи розподіл розрахункових характерстик НДС у поздовжньому перерізі I - I (мал.2),необхідно пхдкреслити,що зоною найбільшої концентрації напружень є місце з'єднання прямокутної частини поперечного перерізу з трапецієвидними консолями.Розрахунки вказали на добре задоволення граничних умов на боковій поверхні тіла.Для σ_z (мал.2) максимальна відносна похибка $\varepsilon = \frac{\sigma_z - q}{\sigma_z} \cdot 100\%$ не перевищувала 4.15 %.

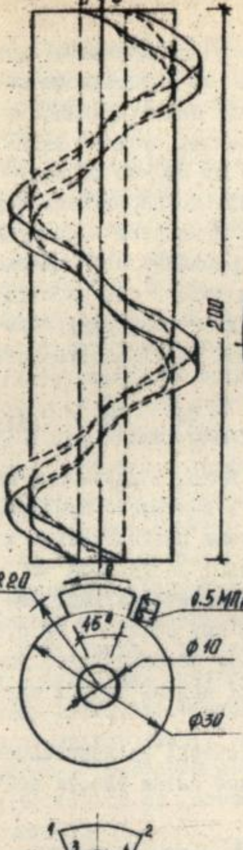
Проведено просторовий розрахунок кроквяної балки змінного поперечного перерізу.У розв'язуючих рівняннях,як і для короткого брусу,використовувались змінні коефіцієнти. Граничні умови - шарнірне закріплення по обох торцях :

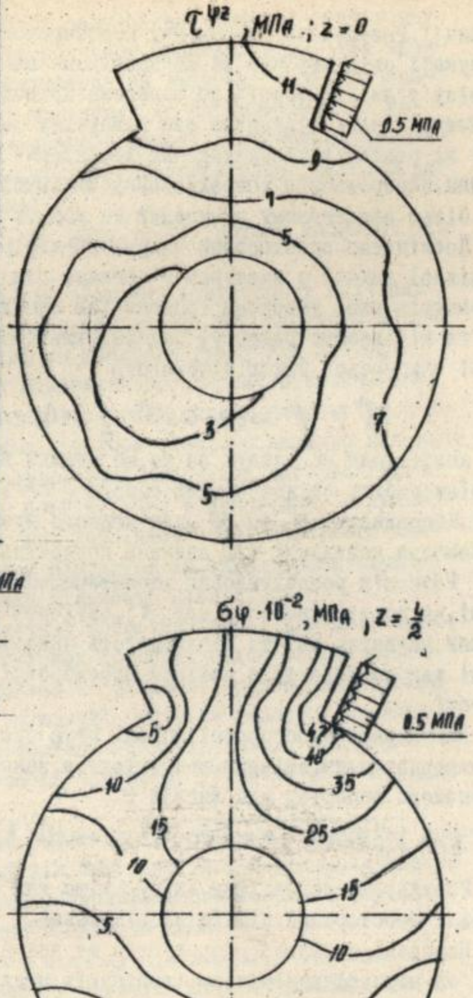
$$\sigma_x(i) = 0, \quad V(i) = 0, \quad W(i) = 0, \quad \text{при } x = 0,\ x = L$$

Змінні матричні коефіцієнти визначались лише в точках ортогоналізації,а в проміжних точках - за допомогою лінійної інтер-


0.2319 МПА
0.2319 МПА
300
600
100
200
200
400
200
800
9000
1
2
1 – 1
σx, МПА
W · 10⁻³, м
X
Z
2 – 2
τyz · 10⁻², МПА
23.19 · 10⁻² МПА
σz · 10⁻², МПА
23.19 · 10⁻² МПА

мал.3


z
L
200
R2.0
0.5 МПА
45°
ф10
ф30


τ^φz, МПА; z = 0
0.5 МПА
σφ·10^-2, МПА, z = L/2
0.5 МПА

мал.4

поляції.Результати розрахунку просторового НДС кроквяної конструкції свідчать про те,що зростання висоти поперечного перерізу тіла від торців до середини прогону балки,прийняте з конструктивних міркувань для утворення нахилу,суттєво впливає на розподіл розрахункових характеристик НДС по довжині балки.Перерозподіл розрахункових напружень та переміщень сприяє більш ефективному армуванню та роботі кроквяної конструкції.

Досліджено просторовий напружено-деформований стан машинобудівної деталі з виступом у вигляді гвинтового циліндроїда, геометрія якої утворена трансляцією складного перерізу(кільця та кільцевого сектору) вздовж гвинтової лінії,радіус-вектор якої описується такою залежністю :

$$\vec{r} = \rho\cdot\cos(\varphi+\alpha z)\vec{i} + \rho\cdot\sin(\varphi+\alpha z)\vec{j} + z\vec{k} \qquad (7),$$

де коефіцієнт α вказує на те,що кожний вузол поперечного перерізу робить по два повних оберти (4π) навколо поздовжньої осі.Координати ρ та φ для кожного вузла розглядаються як параметри,незалежні від значень поздовжньої координати z .

Розподіл розрахункових характеристик машинобудівної деталі,що досліджувалась,(мал. 4),свідчить про складний просторовий характер НДС та необхідність аналізу розрахункової моделі такого об'єкту з позицій просторової задачі теорії пружності.

Розрахунок просторової моделі зуба шестерні здійснювалось з використанням змінних коефіцієнтів,закон зміни висоти поперечного перерізу має вигляд :

$$h(x) = \sqrt{\frac{L\,h_0^2 - x\,(h_0^2 - h_L^2)}{L}};\ h_0 = 0.01\text{м},\ h_L = 0.002\text{м},\ L = 0.01\text{м} \qquad (8).$$

Результати розрахунку вказують,що для такої відповідальної деталі просторовий підхід обов'язковий.

Наведені приклади розрахунків ще деяких об'єктів будівництва та машинобудування,що ілюструють можливості запропонованої методики.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розроблено чисельно-аналітичну методику розрахунку одного класу масивних тіл - тіл трансляційної форми,що грунтується на зведенні вихідної просторової задачі теорії пружності до одновимірної за допомогою варіаційно-різницевого методу з наступним розв'язанням побудованих редукованих крайових задач методом дискретної ортогоналізації.

Побудовано одновимірну математичну модель масивних тіл трансляційної форми.

Запропоновано процедуру зниження розмірності вихідних рівнянь по поперечних координатах,якк використовує варіаційно-різницевий метод та дозволяє врахувати специфіку геометрії та зберегти континуальний характер визначення ЗДС в поздовжньому напрямі,а також подати систему розв'язуючих рівнянь у нормальній формі Коші,що важливо для наступного застосування ефективних чисельних алгоритмів.

Побудовано систему розв'язуючих рівнянь для вільного вузла та - в цілому - для дослідження НДС вказаного класу масивних тіл,причому структура та вигляд розв'язуючих рівнянь не залежать від кількості вузлів.

Вибір методу дискретної ортогоналізації для розв'язання побудованих одновимірних крайових задач сприяв підвищенню стійкості обчислень та точності розв'язання просторової задачі теорії пружності,оскільки головний чисельний процес - розв'язання системи диференціальних рівнянь - здійснюється за допомогою алгоритму Рунге-Кутта 4 порядку точності.

Розроблена чисельно-аналітична методика розрахунку просторового НДС масивних тіл трансляційної форми реалізована у вигляді програмного обчислювального комплексу,орієнтованого на використання ЕС ЕОМ та ПЕОМ.

Вірогідність даного підходу підтверджено вивченням питань практичної збіжності та стійкості побудованих на основі запропонованої методики обчислювальних алгоритмів,а також розв'язанням задач,для яких відомі результати чисельного або аналітичного розрахунків.

Розв'язано ряд нових просторових задач теорії пружності по дослідженню напружено-деформованого стану масивних елементів залізобетонних каркасів та машинобудівних деталей складної геометрії, визначено зони концентрації напружень.

Досліджено просторовий напружено-деформований стан машинобудівної деталі з виступом у вигляді гвинтового циліндроїда, геометрія якої визначена відносно криволінійної косокутньої системи координат, причому поперечні координати розглядались як параметри, незалежні від значень поздовжньої координати - спрямовуючої. Результати розрахунків засвідчили необхідність дослідження розрахункової моделі такого об'єкту як масивгого тіла з позицій просторової задачі теорії пружності.

Розроблена чисельна методика просторового розрахунку напружено-деформованого стану вказаного класу масивних тіл та створений на її грунті програмний обчислювальний комплекс можуть бути використані для розрахунку об'єктів будівництва та машинобудування, розрахункові моделі яких являють собою масивні тіла трансляційної форми.

Основні положення дисертації відображено в таких роботах:

I. Поколенко В.О. К расчету массивных тел трансляционной формы.//Тезисы докладов 52-й научно-практической конференции КИСИ : Киев, I99I.-с.9I.

2. Поколенко В.О. Численная реализация алгоритма расчета массивных тел.//Тезисы докладов 53-й научно-практической конференции КИСИ : Киев, I992.-с.86.

3. Чибиряков В.К., Поколенко В.О. Численная реализация алгоритма расчета пространственного НДС массивных тел трансляционной формы.:Киев, КИСИ, I992.-I7 с.-Деп. в УкрИНТЭИ I2.03.92 №339 - Ук 92.

4. Чибиряков В.К., Поколенко В.О. Построение одномерных краевых задач для определения напряженно-деформированного состояния массивных тел трансляционной формы.:Кивв, КИСИ, I992.-II с.-Деп. в УкрИНТЭИ I2.03.92 №340 - Ук 92.

5. Чибиряков В.К., Поколенко В.О. К расчету пространственного НДС упругих тел трансояционной формы.//Сопротивление материалов и теория сооружений.-Киев, I992.-с.64-67.

Поколенко

Підп. до друку 22.03.93. Формат 60×84/16. Папір друк. № 3.
Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 0,93. Умовн. фарбо-відб. 1,16.
Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100. Зам. У-37. Безплатно.

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

Безплатно

З. У-37.