

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський інженерно - будівельний інститут

На правах рукопису

РАКША Сергія Васильович

УДК 624.075.2:621.873.3

ЗВ'ЯЗАНА ВТРАТА СТІЖКОСТІ ТОНКОСТІЙНИХ
КОРОВАСТИХ СТЕРЖНІВ

06.23.17 - Будівельна механіка

06.06.04 - Дорожні і будівельні машини

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ 1983

Робота виконана на кафедрі теоретичної механіки і опору матеріалів Дніпропетровського хіміко - технологічного інституту.

- Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор А.І. Маневич.
- Науковий консультант - кандидат технічних наук,
доцент М.П. Колісник.
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Л.В. Андреев;
доктор технічних наук
професор В.В. Нічка.
- Провідна установа - Український Державний інститут
кранобудування

Захист відбудеться "14" квітня 1993р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.32.01 в Дніпропетровському інженерно - будівельному інституті за адресою: 320600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського 24-а, ДІБі, ауд.202.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського інженерно - будівельного інституту.

Автореферат розіслано "12" березня 1993 року

Відгук подається в двох примірниках в підписом, засвідченим печаткою.

Телефон для довідок: 47-35-22.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради К 068.32.01

кандидат технічних наук, доцент *В.Л. Сєдін* В.Л. Сєдін

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00803121 (F)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ. В світовій інженерній практиці в різних галузях машинобудування і в будівництві широке розповсюдження набули тонкостінні конструкції, які поєднують низькі вагові характеристики, відносну простоту і високу технологічність. В будівельному і шляховому машинобудуванні перспективи використання тонкостінних профілів пов'язуються, в першу чергу, з впровадженням нових раціональних форм поперечного перерізу телескопічних стріл вантажопідйомних кранів, коробчастих елементів металевих конструкцій екокаваторів, кранів і других машин.

Однак при цьому, в зв'язку з зменшенням товщини елементів отиснутих тонкостінних профілів, з'являється можливість локальної втрати стійкості і взаємного впливу загальної і локальної форм випинання. Взаємодія форм приводить до появи складних, "зв'язаних" форм втрати стійкості із значним, в деяких випадках, зниженням граничного навантаження.

В розрахунковій практиці визначення несучої здатності отиснутих тонкостінних елементів металоконструкцій виконується по загальній та локальній формам втрати стійкості окремо, і зв'язаність форм не враховується.

Із цього випливає, що проблема зв'язаної втрати стійкості тонкостінних коробчастих стержнів є актуальною.

ЦІЛЮ РОБОТИ є дослідження і розробка надійних методів розрахунку зв'язаної втрати стійкості тонкостінних стержнів замкнутого профілю, центрально і позацентрово отиснутих, які, враховуючи всі найбільш важливі фактори, були б в той же час достатньо простими, економічними з точки зору витрат машинного часу і зручними при використанні в інженерних розрахунках.

НАУКОВА НОВИЗНА. Одержано розв'язок задачі стійкості позацентрово стиснутого тонкостінного стержня замкнутого профілю в загальними недосконалотями, яке базується на розрахунку локальної втрати стійкості в врахуванням докритичного загального прогину і на будіванні вкритичної кривої загального вигину в урахуванням локального випинання стінок.

На основі асимптотичної теорії Коїтера і використання "вторинної" локальної форми одержано розв'язок задачі зв'язаної втрати стійкості стиснутого тонкостінного стержня в загальними та локальними недосконалотями.

Досліджено вплив взаємодії форм на оптимальні параметри стиснутих тонкостінних стовпків квадратного та прямокутного поперечного перерізу.

Показано необхідність врахування взаємного впливу загальної та локальної форм випинання при розрахунку телескопічних стріл вантажопідійомних кранів.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ. Розроблені методики розрахунку центральної і позацентрово стиснутих тонкостінних стержнів, а також пакети програм для ЕОМ, котрі реалізують ці методики, дозволяють підвищити точність і надійність визначення граничного навантаження, більш обґрунтовано визначувати матеріалоеміксть. Результати роботи знайшли використання при розрахунках телескопічних кранових стріл.

РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. Результати досліджень впроваджені при розрахунку стійкості конструктивних елементів опорної рами доладного примірника крана КБ-20І, розробленого науково-конструкторським бюро баштового кранобудування "Висота". Методика розрахунку телескопічних стріл вантажопідійомних кранів схвалена відділом розрахунків Українського Державного інституту кра-

нобудування.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Матеріали дисертаційної роботи доповідались на засіданнях і наукових семінарах кафедри теоретичної механіки та опору матеріалів ДХТІ (1991-1993 р.), на науковому семінарі кафедри будівельних та шляхових машин ДІБІ (1993 р.), на 44-ої науково-технічній конференції ДІБІ (1992 р.), на республіканській науково-технічній конференції "Розробка ресурсозберігаючих технологій, ефективних технологій виробництва будівельних матеріалів і конструкцій і ведення будівельно-монтажних робіт" (1988 р., м. Дніпропетровськ), на XV Всесоюзній конференції в теорії оболонок і пластин (1990 р. м. Казань), на 2-ій науково-технічній конференції "Питання надійності та оптимізації будівельних конструкцій і машин" (1991 р., м. Севастополь), на науково-практичній конференції "Транспорт Росії. Проблеми та шляхи їх розв'язання" (1992 р. м. Суздаль).

ПУБЛІКАЦІЇ. За результатами досліджень опубліковано 5 друкованих робіт.

ОБ'ЄМ РОБОТИ. Дисертація складається із вступу, шести глав, включення, списку літератури і додатку. Робота в цілому містить 176 сторінок, в тому числі 116 сторінок машинописного тексту, 37 ілюстрацій, список літератури із 124 найменувань.

НА ЗАХИСТ ВІНОСЯТЬСЯ:

- методика розрахунку стійкості центрально і позачентрово стиснутих тонкостінних стовпів з урахуванням взаємного впливу загальної та локальної форм випинання при наявності загальної початкової недосконалості ;

- асимптотичний розв'язок задачі про зв'язану втрату стійкості центрально стиснутих стержнів з близькими значеннями критичних навантажень загальної та локальної форм в першому нелі-

нійшому наближенні;

- розв'язок задачі оптимального проектування центральних стиснутих тонкостінних стержнів при врахуванні загальних та локальних початкових недосконалостей;

- методика розрахунку локальної стійкості і граничного навантаження секцій телескопічних стріл вантажопідіймних кранів з урахуванням впливу загального вигину.

ЗМІСТ РОБОТИ

В ПЕРШІЙ ГЛАВІ дано огляд робіт з розрахунку стійкості стиснутих тонкостінних стержнів, розглянуто сучасний стан питання про зв'язану втрату стійкості тонкостінних конструкцій.

В останні два десятиліття інтенсивно розвивалася теорія зв'язаної втрати стійкості тонкостінних конструкцій (тонкостінних стержнів, підкріплених пластин і оболонок). Необхідність врахування взаємодії загальних та локальних форм випинання при кінцевих переміщеннях вперше була показана в дослідженнях, виконаних в кінці 60-х і на початку 70-х років - в теоретичних роботах В. Коутера, А. Нейта, Д. Хатчісона, А. І. Маневича, В. Твергарда, в експериментах А. І. Маневича та ін. по стійкості підкріплених оболонок і в експериментах М. Шкалауда та ін. по стійкості тонкостінних стержнів. Було встановлено, що в широкому діапазоні параметрів конструкцій вельми складно розділити стадії локального і загального випинання, і їх взаємний вплив може приводити до значного зниження граничного навантаження.

Теорію зв'язаної втрати стійкості можна розглядати як продовження і розвиток досліджень по впливу початкових недосконалостей на локальну та загальну втрату стійкості і впливу по-

переднього локального випинання на здатність конструкції нести навантаження (Р. Бейлард, К. Кльопель, В. Протте, Г. Фішер, С. Венг, Г. Пас, М. Шарп, С. Черрі, Б.І. Іванія, І.Б. Єфімов, А.В. Ільяшенко).

В 70-х роках було досліджено рівні моделі, котрі дозволяли спрощено описати зв'язане випинання, і розроблені рівні підходи до даної задачі (В. Койтер, А. Нейт, С. Свенссон, Дж. Кроллі, Дж. Томпсон, А.І. Маневич, М. Пігнатаро, А. Уолкер).

Дослідження зв'язаної втрати стійкості показали неадекватність спрощеного трактування проблеми, при якому враховується лише односторонній вплив однієї з форм на другу. В 80-і роки дослідження були продовжені в напрямку наближення розрахункових схем до реальних конструкцій. Поряд з аналітичними методами (А.І. Маневич, Дж. Рурда, М. Пігнатаро) широке застосування набули напіваналітичні та чисельні - метод кінцевих смуг, метод кінцевих елементів та ін. (С. Спрідхаран, Г. Хенкок, Р. Беніто, М. Алі, З. Колаковські та ін.).

Аналіз сучасного стану проблеми показує, що ступінь її розробки ще відстає від вимог практики. Використання чисельних методів до розрахунку зв'язаного випинання тонкостінних стержнів приводить до складних, громіздких рішень, які потребують великих витрат машинного часу. Тому актуальною є задача розробки ефективних алгоритмів розрахунку різних типів конструкцій.

В ДРУГІЙ ГЛАВІ одержано точне рішення лінійної задачі про локальну втрату стійкості стиснутих тонкостінних стержнів замкнутого профілю прямокутного, трапецевидного та шестикутного поперечного перерізу (рис. 1). При заданні прогину в подовньому напрямку по синусу (\sin напівхвилями) рішення отри-

маю шляхом сполучення точних рішень одновимірних рівнянь для кожної пластини.

Використання матриці жорсткості $[H]$, зв'язуючої амплітудні значення узагальнених сил на краях 1 і 2 пластин, з узагальненими переміщеннями на краях 1 і 2:

$$Q = [H] \cdot W, \quad (I)$$

$$\text{де } Q = \left[\frac{1}{E \cdot F} \right] \left(Q^{(1)}, \frac{M^{(1)}}{L}, Q^{(2)}, \frac{M^{(2)}}{L} \right)^T,$$

$$W = \left(W^{(1)}, W_{\eta}^{(1)}, W^{(2)}, W_{\eta}^{(2)} \right)^T,$$

(Q - поперечна сила, M - згинаючий момент, W - прогин, W_{η} - кут повороту, нижній індекс " η " позначає диференціювання по поперечній координаті $\eta = y/L$, верхній індекс " T " - транспонування) дозволяє одержати характеристичне рівняння, яке визначає критичні напруження локальної втрати стійкості для стояків довільного замкнутого поперечного перерізу.

Особливе значення дає рішення має при розрахунку телескопічних стріл вантажопіддомних кранів, так як перспективними для стріл (як відомо із вітчизняного та зарубіжного досвіду) є трапецієвидні, п'яти-, шести-, і восьмикутні профілі.

В чисельному аналізі побудовані власні форми, відповідаючі критичним напруженням першої $\sigma^{(2)}$ і другої $\sigma^{(3)}$ локальних форм. Досліджувалось співвідношення між $\sigma^{(2)}$ і $\sigma^{(3)}$ в залежності від геометричних параметрів перерізу, і встановлено, що для стержнів прямокутного та квадратного поперечного перерізу збільшення жорсткості приводить до зближення критичних значень локальних форм, що являє собою небезпеку в точки зору зв'язаної втрати стійкості.

В ТРЕТІЙ ГЛАВІ побудовано наближене рішення задачі про зв'яз-

зане випинання повацентрово стиснутих стержнів, в початковою загальною недосконалістю (рис. 2). Суть даного підходу полягає в наступному:

1) при розрахунку локальної стійкості враховується перерозподіл напружень внаслідок докритичного загального вигину (зростання ексцентриситету прикладення сили), тобто локальна стійкість стержня визначається вдовж рівноважної кривої загально-го подовжнього вигину, розрахованої в урахуванням ексцентриситету сили і загальної початкової недосконалості (викривлення осі стержня);

2) рівноважна крива після локального випинання будується в використанні концепції "ефективної ширини" (редукційного коефіцієнта) і в урахуванням зміщення ефективного центру жорсткості перерізу через неоднакові "ефективні ширини" пластин, складаючих профіль; несуча здатність визначається навантаженням локального випинання або навантаженням, відповідним початку пластичного деформування (на до- або післякритичній ділянці рівноважної кривої).

При розрахунку локальної форми вигнутого стержня, для якого напруження в стінці міняються по лінійному закону, стінка ділиться на декілька смуг, в межах яких напруження приймаються постійними (тобто лінійна залежність замінюється кусочно-постійною). Для кожної смуги, на відміну від методу кінцевих смуг, використовувалася точна матриця $[G]$, яка ав'язує значення узагальнених сил і переміщень на подовжніх краях:

$$\left\{ w^{(2)}, w_{\eta}^{(2)}, \tilde{M}^{(2)}, \tilde{Q}^{(2)} \right\}^T = [G] \cdot \left\{ w^{(1)}, w_{\eta}^{(1)}, \tilde{M}^{(1)}, \tilde{Q}^{(1)} \right\}^T \quad (2)$$

Для визначення редукційних коефіцієнтів (приведених ширин) кожної пластини використовувалися наближені значення

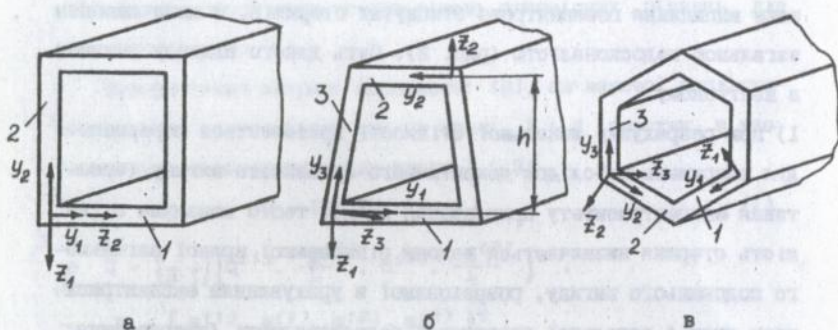


Рис.1.Профілі стержнів і локальні осі координат

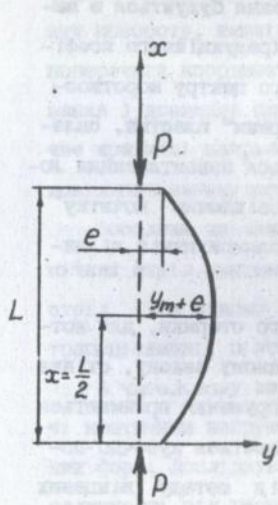


Рис.2.Схема навантаження по-зацентровано стиснутого стержня

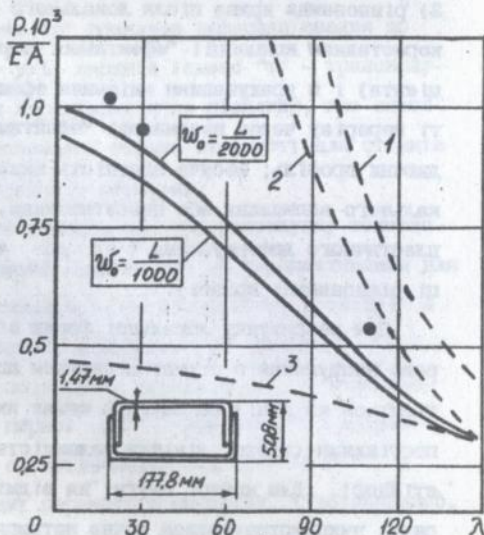


Рис.3.Порівняння результатів розрахунків з даними експериментів Де-Вулф та ін.

- даний розрахунок
- експеримент
- 1 ейлерове навантаження
- 2 редуковане ейлерове навантаження
- 3 навантаження локального випинання

(оцінки звязу), отримані В. Коутером:

$$f = 1 - \left[\frac{\bar{g}^2}{g^2} \right]^2 / \bar{g}^4, \quad (3)$$

де $g(y)$ - поперечний профіль локальної форми випинання, а риска зверху означає середнє значення відповідної величини.

Диференціальне рівняння загального вигину після досягнення навантаження локального випинання $P_{кр}$ отримано варіаційним методом у вигляді:

$$E \cdot I_* \cdot W_{,xx} + P \cdot W = (P_{кр} - P)(w_0 + w_{кр} + e + e_{кр}) \quad (4)$$

(тут W - додатковий (закритичний) прогин, e - ексцентриситет прикладення сили P ; w_0 - початкова загальна недосконалість; $w_{кр}$ - прогин при $P = P_{кр}$; $e_{кр}$ - зміщення "ефективного" центру жорсткості в результаті редукування перерізу, I_* - редукування момент інерції поперечного перерізу).

Рішення рівняння (4) приводить до наступної залежності між силою P і максимальним прогином (при $x = \frac{L}{2}$)

$$W_{max} = w_0 \frac{1 - \frac{P_{кр}}{P}}{\left(1 - \frac{P}{P_g}\right) \cdot \left[\frac{P_*}{P} - 1\right]} + e \cdot \frac{1 - \frac{P_{кр}}{P}}{1 - \frac{P_{кр}}{P} \cdot \frac{I_*}{I}} \left[\frac{1}{\cos\left[\sqrt{\frac{P}{E \cdot I_*}} \cdot \frac{L}{2}\right]} - \frac{1}{\cos\left[\sqrt{\frac{P_{кр}}{E \cdot I}} \cdot \frac{L}{2}\right]} \right]. \quad (5)$$

В залежності від співвідношення $P_{кр}$ і P_* закритична рівноважна крива (5) може бути спадаючою ($P_* < P_{кр}$) або зростаючою ($P_* > P_{кр}$). В першому випадку несуча здатність визначається величиною $P_{кр}$ або (якщо на докритичній ділянці в найбільш

навантаженому елементі максимальні напруження перевершать межу пружності) навантаженням початку пластичного деформування. В другому випадку граничне навантаження визначається початком пластичного деформування (на до- або післякритичній ділянці).

В чисельному експерименті при аналізі впливу загального вигину одержано зниження навантаження локального випинання на 40% для стоеків, близьких до рівності як по загальній та локальній формам. Профіль локальної форми в цьому разі суттєво несиметричний на відміну від локальної форми в лінійному розрахунку ідеального стійка (глава 2).

Виконано порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними, отриманими Де-Вулфом та ін. (1988 р.) при випробуваннях центрально навантажених стоеків, складених з гнучких профілів, і даними М. Шкалауда та ін. (1970 р.) для стиснутих сталевих стержнів прямокутного поперечного перерізу. Зіставлення виконувалося для декількох серій зразків і було отримано близькі значення теоретичних і експериментальних граничних навантажень в широкому діапазоні гнучкості стоеків. На рис. 3 побудовано дві криві теоретичного граничного навантаження при загальних недосконалостях $\psi_0 = \frac{L}{1000}; \frac{L}{2000}$, а також криві ейлерової сили, навантаження локального випинання з урахуванням загального вигину і редукованої ейлерової сили. Експериментальні точки позначені кружками. Розрахункове граничне навантаження лачно вище $P_{кр}$, але нижче P_0 . Розбіжність експериментальних і розрахункових даних можна пояснити заниженим значенням редукаційного коефіцієнту, а також різницею між дійсними та прийнятими в розрахунках початковими недосконалостями.

В ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ викладено інший (більш строгий) метод

роав'язання задачі стійкості для центрально стиснутого стержня, оснований на асимптотичній теорії Коатера і дозволяючи врахувати, поряд з загальними недосконалотями, також і локальні.

Врахувочи специфіку стержнів, у яких поперечний переріз має дві осі симетрії, розрахунок зв'язаного випинання виконувався при врахуванні "потрійної" взаємодії форм - загальної, основної (першої) локальної форми і так званої "вторинної" локальної форми, яка має ту ж довжину хвилі, що і перша, але другий характер симетрії. Накладення двох локальних форм приводить до несиметричного сумарного локального прогину, і, в результаті, в потенційній енергії в'являється член третього ступеня, який описує взаємодію трьох форм.

Для стержнів в одній віслю симетрії (наприклад, трапецієвидного профілю), внаслідок несиметричного локального прогину, виявляється достатнім врахування взаємодії загальної і однієї локальної форми.

Вираз для потенційної енергії в випадку взаємодії трьох форм має вид:

$$\begin{aligned} \Pi = & a_0 + \frac{1}{2} a_1 \zeta_1^2 \left(1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_1}\right) + \frac{1}{2} a_2 \zeta_2^2 \left(1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_2}\right) + \\ & + \frac{1}{2} a_3 \zeta_3^2 \left(1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_3}\right) + \frac{1}{3} a_{111} \zeta_1^3 + a_{122} \zeta_1 \zeta_2^2 + a_{133} \zeta_1 \zeta_3^2 + \quad (6) \\ & + a_{123} \zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 - a_1 \zeta_1 \zeta_1^* \frac{\Lambda}{\Lambda_1} - a_2 \zeta_2 \zeta_2^* \frac{\Lambda}{\Lambda_2} - a_3 \zeta_3 \zeta_3^* \frac{\Lambda}{\Lambda_3} \end{aligned}$$

де ζ_i - амплітуда переміщень по і-ій формі; ζ_i^* - амплітуда недосконалотей по і-ій формі; Λ_i - лінійне критичне навантаження, для і-ої форми; $a_i, a_{i,j,k}$ - коефіцієнти, що вираховуються по лінійним формам по наступним формулам (до безрозмірного вигляду приведені помноженням на $1/E \cdot t^3$):

$$\alpha_i = \frac{1}{E \cdot t^3} \int \int_{\xi \eta} \sigma^{(i)} \left[(w_{,\xi}^{(j)})^2 + (v_{,\xi}^{(j)})^2 \right] d\xi d\eta;$$

$$\alpha_{i,jk} = \frac{1}{E \cdot t^3} \left\{ \int \int_{\xi \eta} \sigma^{(i)} \left[w_{,\xi}^{(j)} \cdot w_{,\xi}^{(k)} + v_{,\xi}^{(j)} \cdot v_{,\xi}^{(k)} \right] d\xi d\eta + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \int \int_{\xi \eta} \sigma^{(k)} \left[w_{,\xi}^{(i)} \cdot w_{,\xi}^{(j)} + v_{,\xi}^{(i)} \cdot v_{,\xi}^{(j)} \right] d\xi d\eta \right\}.$$

Умовою стійкості рівноважної кривої є позитивна визначеність другої варіації потенційної енергії, що потребує позитивності визначника матриці Гессе, тобто якобіана системи рівнянь рівноваги. Для граничної точки, відповідаючої максимальному значенню навантаження, і точок біфуркації якобіан обертається в нуль.

В чисельному експерименті розраховано значення критичних напружень загальної, двох локальних форм випинання і граничних навантажень при різних співвідношеннях геометричних параметрів стоеків. Як і очікувалося, найбільше зниження несучої здатності спостерігалось при близьких значеннях всіх трьох критичних напружень лінійного розрахунку (загальної та локальних форм). Для стоеків квадратного профілю зниження граничного навантаження порівняно з лінійним розрахунком досягає 40% (рис. 4), при амплітудах початкових недосконалостей (віднесених до товщини) загальної форми $\zeta_1^* = 0.5$, та локальних форм $\zeta_2^* = \zeta_3^* = 0.2$.

При дослідженні ряду стержнів трапецієвидного профілю з фіксованими висотою перерізу h , шириною пластини b , і емінімним кутом α , (рис. I, б) встановлено слідуєче: при $\alpha < 75^\circ$, внаслідок несиметричного прогину першої локальної форми, виявляється

достатнім двумодальний розрахунок; при α , близьких до 90° , двумодальний розрахунок стає некоректним і потрібно врахувати взаємодію трьох форм. Побудовано сумарні локальні форми для декількох рівнів навантаження стержня.

Для порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними, отриманими Де-Вулфом, була вибрана серія вразків, для котрих межа пружності матеріалу вище напружень локального випинання (рис. 5). Теоретичні криві залежності граничного навантаження (суцільна лінія) від гнучкості λ побудовані для трьох рівнів локальної недосконалості $\zeta_2^* = 0; 0,05; 0,1$, при загальній недосконалості $w_0 = \frac{l}{1000}$.

Необхідно відзначити, що область застосування даного рішення обмежена значеннями λ , достатньо близькими до значення $\lambda=77$, при якому стояк буде рівності як по загальній і локальній формам. При надто малих і надто великих λ теоретичні криві можна розглядати лише як орієнтовні. В цілому розрахункові і експериментальні дані добре узгоджуються.

В П'ЯТІЙ ГЛАВІ приведене рішення задачі вагової оптимізації стиснутих стояків прямокутного і квадратного перерізу з урахуванням впливу початкових недосконалостей і нелінійної взаємодії форм втрати стійкості.

При заданих довжині стержня, навантаженні, недосконалостях і характеристиках матеріалу визначалися оптимальні геометричні параметри перерізу. Обмеження задачі оптимізації включали в себе обмеження по стійкості, по міцності і по товщині елементів.

Задача нелінійного програмування розв'язувалась за допомогою лінеаризованого методу приведенного градієнта, розробленого А.І. Маневичем. Для контролю знайденого оптимуму розрахунок

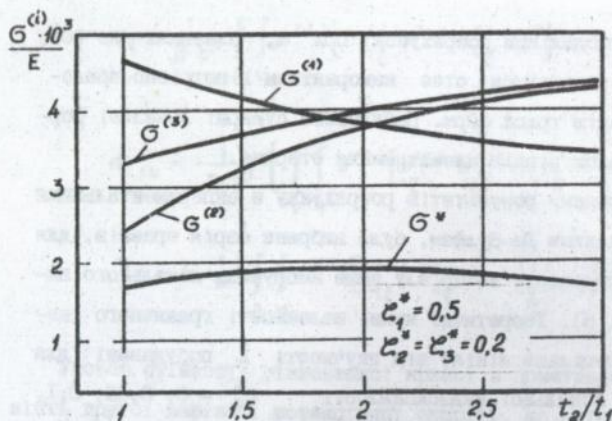


Рис.4. Залежності безрозмірних напружень від відношення товщин елементів для стержня квадратного перерізу $b/L = 0,052$, $t_1/b = 0,025$, $\sigma^{(1)}$ - загальної форми, $\sigma^{(2)}, \sigma^{(3)}$ - локальних форм, σ^* - граничне напруження зв'язаного випинання

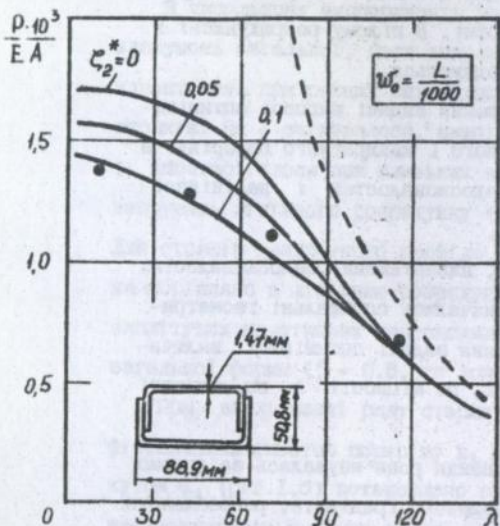


Рис.5. Порівняння результатів розрахунків по асимптотичному методу з експериментальними даними Де-Вулф та ін.

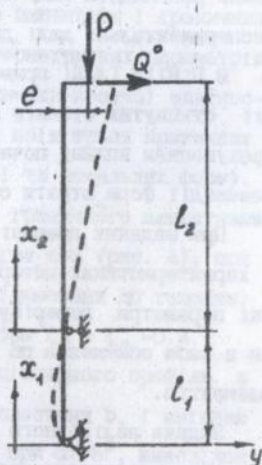


Рис.6. Розрахункова схема телескопічної стріли вантажопідіймального крана

виконувався в різних початкових точок. У всіх випадках процес пошуку приводив до одного і того ж результату, що дозволяє вважати знайдені локальні мінімуми глобальними.

Наведено залежності для безрозмірних параметрів ваги $G^* = \Delta/L^2$, напружень $\sigma^* = \sigma \cdot 10^3/E$ від параметра навантаження $P^* = P \cdot 10^6/E \cdot L^2$. Досліджувався вплив початкових недосконалостей на оптимальні геометричні параметри стояка.

Для стояка квадратного поперечного перерізу задавалися різні сполучення загальних і локальних недосконалостей з амплітудами $\zeta_i^* = 0,5$. При наявності тільки загальної недосконалості вага стояка підвищується на 8% порівняно з лінійним розрахунком; при врахуванні загальних і локальних недосконалостей вага оптимального стояка на 10-25% більше одержаної при лінійній оптимізації.

На відміну від рішення по лінійній теорії, оптимальний стояк не є рівностійким і критичні напруження локального випинання вище напружень загальної форми на 5 - 10%.

В ШОСТІЙ ГЛАВІ на основі методики, враховуючої взаємний вплив загального і локального випинання (глава 3) одержано рішення задачі стійкості телескопічної стріли вантажопідйомного крана. Стріла розглядається як тонкостінний стиснуто - вигнутий стержень коробчастого перерізу. Навантаження від ваги вантажу, ваги секція стріли, зусилля в вантажному поліспасті приводяться до стискаючої сили P , прикладеної з ексцентриситетом e , і поперечної сили Q^0 (рис. 6). Від одержаної схеми перейдемо до еквівалентного повацентрового стиснення за умови рівності максимальних напружень в небезпечному перерізі.

Приклад розрахунку виконано для телескопічної стріли крана КС-6473В при двох рівнях навантаження: I - максимальний вантаж

на гаку ($Q_H = 250$ кН) при повністю складеній стрілі; II - максимальний вантаж ($Q_H = 65$ кН) при повністю висуnutих секціях стріли. За розрахунковий прийнято переріз в місці установки шарніра гідроциліндра підйому стріли. У випадку I локальне випинання (з урахуванням загального прогина) починається при навантаженні меншому за Q_H , в випадку II навантаження локального випинання складає $1,14 \cdot Q_H$.

Граничне навантаження визначалось початком пластичного деформування в найбільш навантаженому елементі і складало $(1,8 + 2,3) \cdot Q_H$.

Одержані дані про навантаження локального випинання підтверджуються результатами експериментальних досліджень телескопічної стріли крана КС-5572, виконаних у ВНДІбуддормаш. Можливість локальної втрати стійкості, яка являє собою небезпеку в точки зору малоциклової втоми, необхідно враховувати при розрахунках і проектуванні телескопічних стріл вантажопідйомних кранів.

В ДОДАТКУ містяться відомості про комплекс програм для ЕОМ, який дозволяє реалізувати розроблені методики розрахунку ав'язаної втрати стійкості тонкостінних стержнів, а також документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виконані дослідження ав'язаної втрати стійкості центрально і поцентрово стиснутих тонкостінних коробчастих стержнів дозволяють сформулювати наступні наукові результати і висновки:

I. При розрахунку стиснутих тонкостінних стержнів замкну-

того профілю необхідно враховувати можливу взаємодію загальної та локальної форм втрати стійкості, яка приводить до зниження несучої здатності.

2. Розроблена методика розрахунку центрально і позачентрово стиснутих тонкостінних стержнів, яка враховує вплив докритичного загального вигину стержня на локальну форму втрати стійкості і локального випинання пластинчатих елементів на ейлерове навантаження. Зниження розрахункового граничного навантаження складає 30 - 40% порівняно з лінійним розрахунком.

3. Розроблена методика розрахунку ав'язаної втрати стійкості центрально стиснутих стержнів, яка базується на загальній асимптотичній теорії Койтера і враховує як загальні, так і локальні початкові недосконалості. Використання вторинної локальної форми дозволяє одержати рішення в першому нелінійному наближенні.

4. Виконано чисельний експеримент, в якому досліджувалася вплив взаємодії форм випинання стержнів квадратного, прямокутного и трапецієвидного поперечних перерізів на граничне навантаження. Найбільше зниження несучої здатності можливе при близьких значеннях критичних навантажень лінійного розрахунку (по загальній і локальній формам).

5. Співставлені результати розрахунків стиснутих тонкостінних стержнів по розробленим методикам з даними експериментів рієних авторів. В широких діапазонах гнучкості і тонкостінності стержнів отримано близькі значення теоретичних і експериментальних граничних навантажень.

6. Оптимальний стояк, розрахований з урахуванням ав'язаності форм випинання, не є рівностійким по загальній та локальній формам, на відміну від рішення по лінійній теорії.

Критичне напруження локальної форми вище критичного напруження загальної форми на 5 - 10%.

7. Розроблена методика розрахунку стійкості телескопічних стріл вантажопідйомних кранів в врахуванням впливу загального вигину в площині підвісу вантажу. Деформація контуру поперечного перерізу стріли (типу локальної форми втрати стійкості) може відбуватися при навантаженні, меншому за номінальне. Граничне навантаження перевищує номінальне, причому методика дозволяє оцінити реальні запаси несучої здатності.

8. Розроблений комплекс програм на алгоритмічних мові FORTRAN для ЕОМ класу ЕС. Набором необхідних програм утворюються пакети, які дозволяють реалізувати розроблені в даній роботі методики розрахунку стійкості тонкостінних конструкцій.

Основний зміст дисертації міститься в наступних роботах:

1. Ракша С.В. Устойчивость телескопических стрел самоходных кранов с учетом общей и местной форм выпучивания // Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции "Разработка ресурсосберегающих технологий, эффективных технологий производства строительных материалов и конструкций и ведения строительных - монтажных работ". - Днепропетровск. - 1988. С.208.

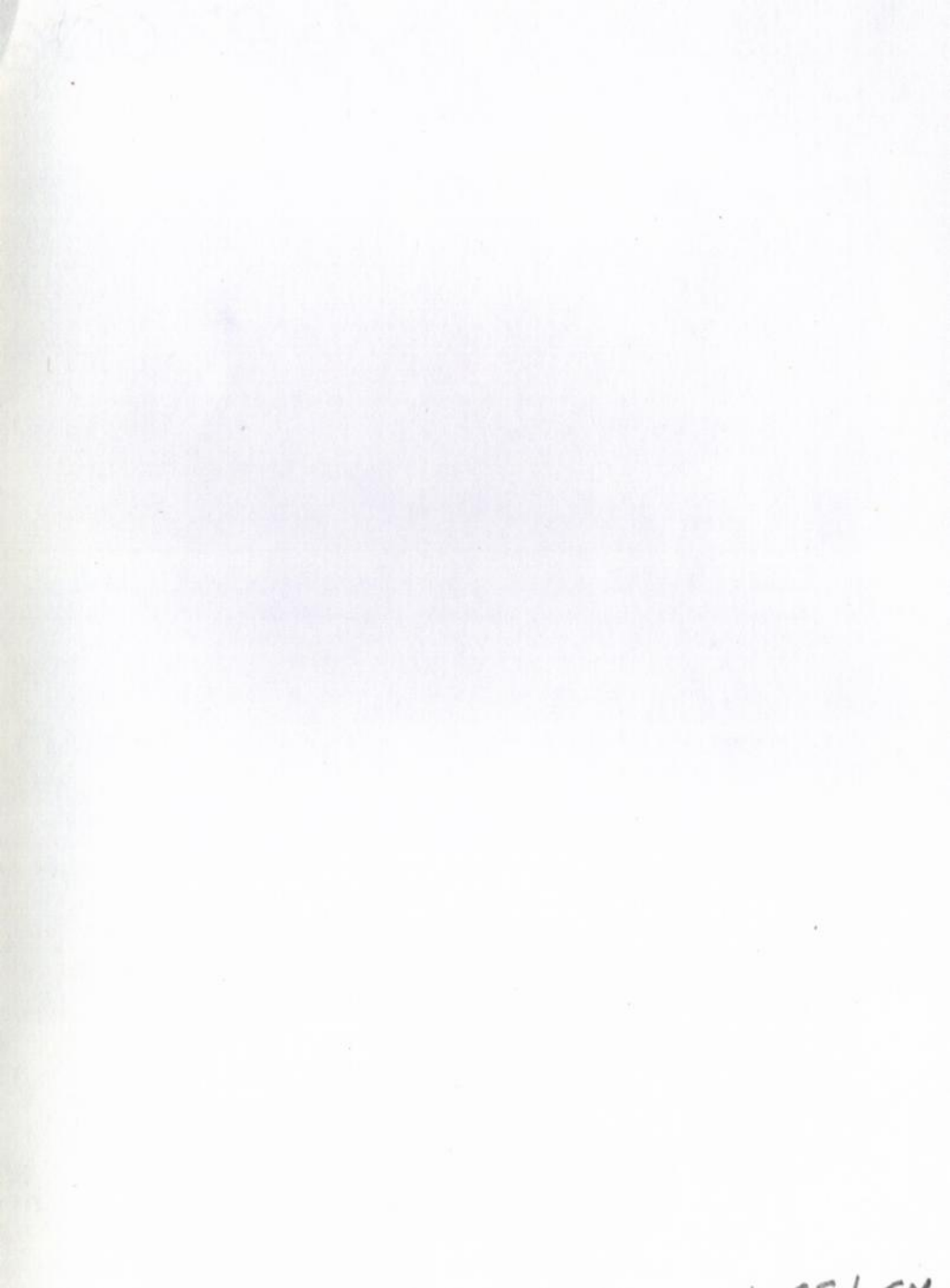
2. Маневич А.И., Ракша С.В. Весовая оптимизация сжатых тонкостенных стоек замкнутого профиля с учетом связанной потери устойчивости / Материалы 2-ой научно-технической конференции "Вопросы надежности и оптимизации строительных конструкций и машин". - Севастополь, 1991. - С.58-59.

3. Маневич А.И., Ракша С.В., Колесник Н.П. К расчету на устойчивость обжатых тонкостенных элементов металлических конструкций / Материалы научно-технической конференции "Транспорт России. Проблемы и пути их решения". - Суздаль,

1992. - С.39.

4. Ракша С.В. Взаимодействие форм потери устойчивости сжатых тонкостенных стержней закрытого профиля. - Днепропетровск, 1992. - 53 с. Деп. в УКРИНТЭИ 16.10.92 г., №663 -Ук92.

5. Маневич А.И., Ракша С.В. Связанная потеря устойчивости сжатых тонкостенных стержней закрытого поперечного сечения // Прикл. механика. - 1993. - 29, №2. - С. 62 - 68.



AB 27.006

AB 27.006