

ПОЛТАВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Харченко Юрій Анатолійович

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ  
СТАЛЕВИХ СТИСНУТО-ЗІГНУТИХ  
ЕЛЕМЕНТІВ ПОСТІЙНОГО  
ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

05.23.01 - будівельні конструкції, будови та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття

наукового ступеня кандидата

технічних наук

ПОЛТАВА-1994



00778470 (X)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі конструкцій із металу, дерева та пластмас Полтавського технічного університету.

Науковий керівник – доктор технічних наук  
Пічугін С.Ф.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук

Перельмутер А.В.

– кандидат технічних наук, доцент

Шкурупій О.А.

Ведуча організація – Українське кооперативно-державне проектно-випробувальне і науково дослідне об'єднання "УкрНДІагропроект".

Захист дисертації відбудеться "7" лютого 1995р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої ради К 069.46.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" при Полтавському технічному університеті згідно адреси: 314601, м.Полтава, проспект Першотравневий, 24.

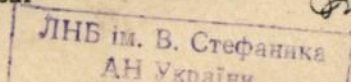
З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Відгуки на автореферат просимо надсилати на ім'я вченого секретаря у двох примірниках, завірених печаткою:

Автореферат розіслано "4" січня 1995р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради  
кандидат технічних наук,

доцент



*Бондар*

В.О.Бондар

В - 31.701

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Підвищення ефективності і зменшення матеріалоемкості при проектуванні сталевих несучих конструкцій, а також виявлення резервів несучої здатності в існуючих конструкціях є постійно актуальними задачами. Одним із перспективних шляхів вирішення цих задач, який не вимагає додаткових матеріальних і фінансових вкладів, є удосконалення методики розрахунку і проектування конструкцій на базі широкого і активного використання методів теорії надійності конструкцій.

Використання в нормах проектування сталевих конструкцій методу розрахунків по граничним станам не забезпечує однакового рівня надійності конструкцій і не дає гарантії, що розраховані конструкції мають достатню надійність на протязі всього строку експлуатації. Зараз ведеться розробка Міждержавного нормативного документу СНиП "Надежность несущих строительных конструкций" и ДЕН В.1.2....-95 "Общие принципы обеспечения надежности и безопасности строительных конструкций и оснований", які створюють загальний методичний базис для переходу до розрахунків конструкцій на надійність. Але вказані загальні рекомендації потребують конкретизації і прив'язки до конструкцій різного виду.

На цей час найменш дослідженим з точки зору надійності є конструкції, які можливо представити у вигляді стиснуто-зігнутих сталевих елементів, наприклад, колони постійного поперечного перерізу, стержні крокв'яних ферм з позавузловим навантаженням та інші. В зв'язку з цим, розвиток імовірносного методу розрахунків сталевих конструкцій з метою одержання оцінки параметрів надійності стиснуто-зігну-

тих елементів є задачою важливою і достатньо актуальною.

М е т а р о б о т и - розробка методу імовірносного розрахунку стиснуто-зігнутих сталевих елементів постійного поперечного симетричного перерізу з навантаженням в одній з головних площин з оцінкою імовірності відмови даних конструкцій, запроєктованих по діючим нормам.

А в т о р з а х и щ а є:

-розроблений метод оцінки параметрів надійності стиснуто-зігнутих елементів для різних умов закріплення кінців і схеми прикладання навантаження, імовірносних особливостей реальних навантажень, врахуванням роботи сталі за межою пружності;

-обґрунтованість використання методу лінеаризації для функції резерву стійкості в задачах імовірносного розрахунку реальних стиснуто-зігнутих сталевих елементів;

-методику визначення параметрів надійності елементів крокв'яних ферм з позавузловим навантаженням і результати оцінки рівня надійності існуючих конструкцій;

-методику оцінки і результати розрахунків параметрів надійності сталевих колон постійного поперечного перерізу, запроєктованих за діючими нормами.

Н а у к о в а н о в и з н а р о б о т и. Вперше запропонована методика оцінки параметрів надійності сталевих стиснуто-зігнутих елементів постійного поперечного перерізу з врахуванням їх дійсної роботи і реальних зовнішніх навантажень, в результаті чого:

-запропоновано вирішення задачі оцінки параметрів надійності елементів з врахуванням особливостей граничного стану за межою пружності;

-одержаний алгоритм визначення імовірності відмови сталевих колон постійного поперечного перерізу;

-розроблений метод оцінки параметрів надійності елементів сталевих крокв'яних ферм з позавузовим навантаженням;

-виконаний числовий експеримент по розробленим програмам на ПЕОМ типу XT/AT для оцінки імовірності відмови (рівня надійності), як існуючих конструкцій, так і запроєктованих по ділчим нормам.

**Практичне значення роботи.** Запропонована методика розрахунків дає можливість виконати оцінку параметрів надійності експлуатованих і запроєктованих конструкцій сталевих каркасів з різними поперечними навантаженнями і умовами закріплення кінців. На основі запропонованої методики складений алгоритм і розроблена програма, реалізована на ПЕОМ типу IBM XT/AT. Матеріали роботи в цілому прийняті для врахування в подальшій роботі по удосконаленню норм проектування.

**Реалізація роботи.** Окремі одержані результати підготовлені для включення в проєкт ДБН В.1.2 -...- 95. "Общие принципы обеспечения надежности и безопасности конструкций и оснований". Результати аналізу параметрів надійності типових сталевих крокв'яних ферм покриття "Молодечно" прийняті Полтавським комплексним відділом УкрНДІ Проектстальконструкція для використання при проектуванні і реконструкції покриття цього типу на території України. Розроблена методика оцінки параметрів надійності стиснуто-зігнутих стержнів використана для визначення імовірності відмови елементів сталевих ферм при обладнанні системи пожежогасіння у відділенні штампування головного корпусу пресово-рамного заводу АО КАМАЗ. Результати роботи відображені в проміжному звіті по держбюджетній темі "Розробка пропозицій по вдосконаленню норм проектування буді-

вельних конструкцій на основі дослідження їх надійності".

**А п р о б а ц і я р о б о т и.** Основні положення дисертації доповідались на: Міжнародній науково-практичній конференції "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях" (Суми, 1994), Всесоюзній конференції "Экспериментальные исследования инженерных сооружений - 91" (Суми, 1991), П'ятій Українській науково-технічній конференції по металевим конструкціям "Усиление и реконструкция производственных зданий и сооружений, построенных в металле" (Київ, 1992), тематичних конференціях і семінарах: "Вопросы оптимального проектирования конструкций и расчет их рационального усиления" (Пенза, 1990); "Прогрессивные методы ведения проектных и исследовательских работ при реконструкции стальных каркасов зданий и сооружений" (Київ, 1991); "Надежность зданий и сооружений" (Черкаси, 1993), на щорічних науково-технічних конференціях Полтавського ІВІ (1991-1994 р.).

**П у б л і к а ц і ї.** Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в сімнадцяти друкованих роботах, найбільш важливі з яких приведені в списку літератури.

**О б с я г р о б о т и.** Дисертаційна робота загальним обсягом 217 сторінок складається із вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел із 134 найменувань і додатків. Робота містить 128 стор. основного тексту, 34 рисунків, 23 таблиці на 29 сторінках.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність задачі, сформульовані мета і задачі дослідження, коротко викладений

основний зміст і результати дисертації.

У першій главі наведений огляд раніше виконаних досліджень надійності конструкцій.

Надійність – складна властивість, яка в залежності від призначення об'єкту і умов його використання поєднує в собі властивості: безвідмовність, довговічність, ремонтоздатність, цілісність як для об'єкту в цілому, так і для його основних частин. Найбільш важливою є властивість безвідмовності, яка полягає в збереженні роботоздатності на протязі деякого періоду часу і визначається, як імовірність відмови за визначений проміжок часу  $Q(t)$ . В даній роботі безвідмовність оцінюється по критерію несучої здатності.

Найбільший вклад в розвиток статистичних методів теорії надійності будівельних конструкцій внесли М.С.Стрелецький, О.Р.Ржавніцин, В.В.Болотін.

Загальні питання надійності конструкцій одержали розвиток в працях А.Я. Барашикова, О.О. Гвоздева, А.В. Геммерлінга, А.Я. Дрвінга, М.М. Застави, А.П. Кудзиса, О.В. Лужина, А.В. Перельмутера, Д.М. Подольського, М.М. Складнева, С.А.Тимашева, С.Б.Усиковського, В.П.Чиркова та ін.

Питання надійності металевих конструкцій в різноманітній постановці розглядалися в роботах В.А.Баддіна, Є.І. Белені, Г.І. Белого, Г.Є. Бельського, В.В. Бірмльова, В.М.Гордєєва, Є.В.Горохова, М.М.Жербіна, В.О.Пермякова, С.Ф.Пічугіна, А.В.Сильвестрова, В.В.Трофимовича, В.М.Шимановського та ін.

За кордоном питання теорії надійності будівельних конструкцій в різний час розробляли Г.Аугусті, А.Баретта, Г.Кьоніг, Ф.Кашіати, Р.Леві, М.Майер, С.Трезо, А.М.Фрейденталь, Д.Хоссер, В.Шоббе та інші вчені.

Важливим аспектом при оцінці параметрів надійності металевих конструкцій є імовірносний опис навантажень, які діють на конструкцію. Дослідженнями навантажень та їх сполучень з побудовою імовірносних моделей в різних формах займалися Б.Н.Кошутін, Ю.С.Кунін, К.С.Лосицька, В.А.Отставнов, В.А.Пашинський, Ю.Д.Сухов та інші.

При аналізі надійності конструкцій широко використовується підхід, запропонований О.Р.Ржаніциним, коли на базі статистичного дослідження навантажень і міцності матеріала складається узагальнена умова її безвідмовної роботи:

$$\tilde{Y}(t) = \tilde{R}(t) - \tilde{S}(t) > 0, \quad (1)$$

де  $\tilde{Y}(t)$  - резерв несучої здатності конструкцій;

$\tilde{R}(t)$  - узагальнена несуча здатність конструкції;

$\tilde{S}(t)$  - узагальнене навантаження на конструкцію.

У випадку подання даних параметрів у вигляді випадкових процесів, імовірність невиконання умови (1) по В.В.Волотіну наближено оцінюється, як кількість викидів випадкового процесу узагальненого навантаження за випадковий рівень узагальненої несучої здатності під час експлуатації конструкцій.

На даний час найменш розробленим є імовірносний розривунок конструкцій, які включають стиснуті і стиснуто-зігнуті елементи. Між тим в детерміністичній постановці питання стійкості конструкцій досліджувались в численних роботах, причому враховувались геометрична і фізична нелінійність, різні схеми навантаження і закріплення кінців елементів. Можна відзначити фундаментальні роботи Ф.Блейха, К.Ежека, М.В.Корноухова, С.Д.Лейтеса, М.К.Снітко, С.П.Тимошенко, С.Хвалла, В.Ф.Чена, Т.Атсути та ін. Деякі з підходів, розглянутих в даних роботах, можуть служити основою для побудови оцінок параметрів надійності стиснуто-зігнутих елементів.

Вперше статистичний метод розрахунку стержнів на стійкість запропонував О.Р.Ржаніцин, імовірнісні методи в задачах стійкості розроблені в роботах С.Ф.Пічугіна, В.Д.Райзера, Е.І.Федорова, В.В.Черячукіна при різних передумовах для певних конструкцій.

У кінці глави приведені висновки про стан питання і сформульовані задачі дослідження (рис. 1).

В другій главі одержані оцінки надійності пружних стиснуто-зігнутих елементів на базі замкнених аналізів задачі стійкості.

На основі формули (1) запропоновано загальне рівняння для визначення резерву стійкості сталевих стиснуто-зігнутих елементів, як умова неперевищення границі області стійкої рівноваги:

$$Y(t) = f(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_n, t) = f(\tilde{\sigma}_y, \tilde{N}, \tilde{M}, t) > 0, \quad (2)$$

де  $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_n$  - випадкові аргументи;

$\tilde{\sigma}_y, \tilde{N}, \tilde{M}$  - випадкова межа плинності, поздовжня сила, згинальний момент, відповідно.

Для обчислення числових характеристик резерву стійкості (математичне сподівання  $\bar{Y}$  і середній квадратичний відхи́л (стандарт)  $\hat{Y}$ ) використані формули:

$$\bar{Y} = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n); \quad \hat{Y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \hat{X}_i^2}, \quad (3)$$

де  $\alpha_i = \partial Y(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n) / \partial X_i$ .

У зв'язку з складністю послідовного стохастичного аналізу поведінки стиснуто-зігнутих стержнів в роботі використаний прийом з підстановкою імовірнісних параметрів в детерміністичні рішення задач стійкості. Оскільки відсутні замкнені точні рішення таких задач, які враховують фізичну і геометричну нелінійність, в даній главі порівняльно-

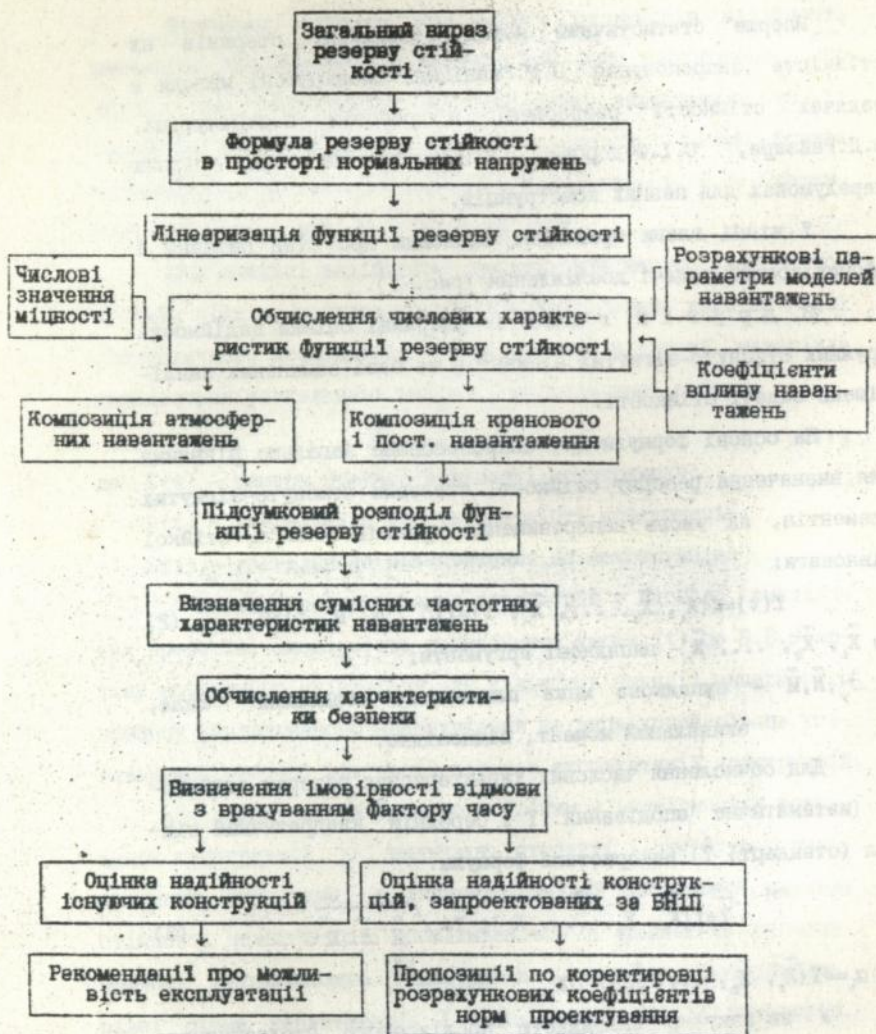


Рис.1.Методика імовірносного розрахунку стиснуто-зігнутих елементів конструкцій.

аналітичним методом розроблено декілька оцінок параметрів надійності, що базуються на різних вихідних позиціях і загальноприйнятих передумовах без врахування фактору часу: розрахунки ведуться по деформованій схемі з врахуванням додаткового моменту від дії поздовжньої сили, матеріал стержнів є лінійно пружним, при аналізі згинальних деформацій приймається гіпотеза плоских перерізів, вісь зігнутого стержня має полусінусоїдальну форму. Критерієм втрати стійкості являється досягнення крайовим напруженням межі плинності в середньому перерізі стержня.

Параметри одержаних рішень, які базуються на різних формулах для максимальних згинальних моментів стиснуто-зігнутих стержнів, визначених по деформованій схемі, наведені в таблиці, де введені наступні позначення:  $M_0$  - згинальний момент від поперечного навантаження;  $u = \sqrt{N/EJ}$  - параметр навантаження;  $l$  - довжина стержня;  $N_0$  - критична сила Ейлера;  $A$ ,  $W$  - площа і момент опору перерізу.

У зв'язку з спільними передумовами, порівняння одержаних оцінок показало їх близькість, незважаючи на різні початкові аналітичні вирази. Область використання наведених оцінок визначена шляхом обрахування похибки обчислення критичного напруження втрати стійкості пружного методу  $\sigma_{kp}^v$  в порівнянні з пружно-пластичним рішенням  $\sigma_{kp}^{n\wedge}$ , рис. 2. Ця область включає: стержні із сталей підвищеної і високої міцності без чітко виявленої межі плинності і порівняно гнучкі стержні з невеликими відносними ексцентриситетами. Ці рішення можна використовувати для експрес-оцінки надійності елементів, яка не потребує великої точності, а також для тестування результатів, одержаних за іншими методиками.

Для вирішення задач для умов, які наближають постанов-

Наближені оцінки параметрів надійності сталевих стиснуто-зігнутих елементів

Вар	Згинальний момент	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
$\alpha$	$\frac{M_0}{1-N/N_3}$	1	$-\frac{1}{A} - \frac{\bar{M}_0}{W N_3 (1-\bar{N}/N_3)^2}$	$-\frac{1}{W(1-\bar{N}/N_3)}$
$\delta$	$\frac{8M_0}{u^2} \left( \frac{1}{\cos(\frac{u}{2})} - 1 \right)$	1	$-\frac{1}{A} \frac{\bar{\psi} E J (\cos(\frac{u}{2}) - \frac{u}{4} \sin(\frac{u}{2}) - \cos^2(\frac{u}{2}))}{W \bar{N}^2 \cos^2(\frac{u}{2})}$	$-\frac{8 E J}{W \bar{N}^2 l^2} \left( \frac{1}{\cos(\frac{u}{2})} - 1 \right)$
$\beta$	$M_0 \cdot \sec(u/2)$	1	$-\frac{1}{A} - \frac{\bar{M}_0}{2 \bar{N} W} \frac{u}{2} \operatorname{tg}(\frac{u}{2}) \sec(\frac{u}{2})$	$-\frac{1}{W} \sec(\frac{u}{2})$

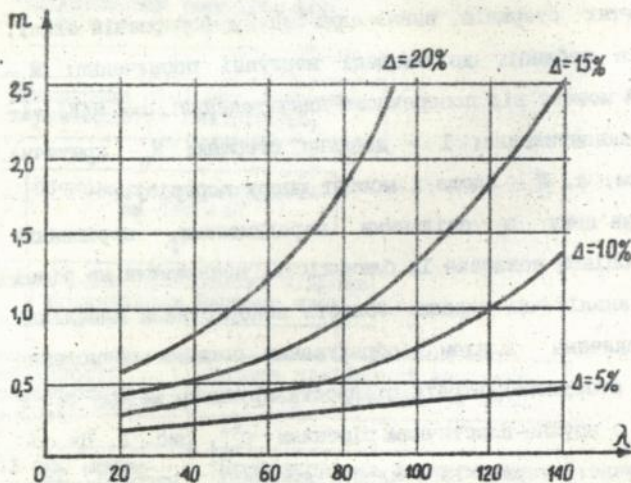


Рис. 2. Похибка наближених оцінок

ку задачі до реальних конструкцій, використане рішення диференційного рівняння малих згинальних переміщень стиснуто-зігнутого стержня в формі методу початкових параметрів:

$$(d^4y/dx^4) + \alpha_N^2 (d^2y/dx^2) = p(x)/EJ, \quad (4)$$

де  $x, y$  - координати точки на пружній лінії;  $\alpha_N = u/l$ ;  $p(x)$  - поперечне навантаження;  $EJ$  - жорсткість стержня.

Це дозволило одержати аналітичні вирази для визначення параметрів резерву стійкості, придатних для практичних розрахунків пружних стержнів при різноманітних схемах поперечного навантаження і умовами закріплення кінців стержнів, відмінними від шарнірних.

На основі всіх приведених в главі рішень, розроблені алгоритми і складені програми для ПЕОМ.

В третій главі розроблено метод оцінки параметрів надійності сталевих стиснуто-зігнутих стержнів, які працюють за межою пружності, показана можливість лінеаризації функції  $Y$  для умов, відповідаючих існуючим конструкціям. У цьому випадку критерієм втрати стійкості є порушення умови рівноваги між внутрішніми і зовнішніми силами при розповсюдженні області плинності вглиб поперечного перерізу.

Імовірносне рішення отримано, для вищенаведених передумов і для додаткового припущення можливості пружно-пластичної роботи матеріала згідно діаграми Прандтля, на основі запропонованих Ф. Блейхом індивідуальних алгебраїчних формул, апроксимуючих залежність критичного напруження втрати стійкості стиснуто-зігнутого  $\sigma_{kp}$  і центрально-стиснутого  $\sigma_{kpo}$  стержнів:  $\beta = \sigma_{kpo} / \sigma_{kp}$ . Одержана узагальнена формула для пружно-пластичної області (наприклад, гнучкість  $\lambda = 20-80$  для сталі з  $R_y = 240$  МПа):

$$\beta = 1 + m_{st} / 2, 1 + \sqrt{m_{st}} R_y / \sigma_s, \quad (5)$$

де  $m_{ef}$  - приведений відносний ексцентриситет;  $\sigma_3$  - критичне напруження по Ейлеру.

Результати порівняння  $\beta$ , визначеного по (5), з даними експериментальних досліджень стиснуто-зігнутих елементів, одержаних Е.Хвалла, і коефіцієнтом  $1/\varphi_0$ , обчисленим по ділчим нормам, показали, що відносна похибка складає  $\Delta=2-6\%$ .

Математичне сподівання резерву стійкості згідно (3):

$$\bar{Y} = \bar{\sigma}_y / \bar{\beta} \bar{N} / \Lambda, \quad (6)$$

де  $\bar{\beta}$  - середнє значення параметру  $\beta$ , одержаного при підстановці математичних сподівень випадкових аргументів в (5).

Коефіцієнти формули (3) для визначення стандарту:

$$\alpha_1 = (1 + 0,476 * \bar{m}_{ef}) / \bar{\beta}^2; \quad \alpha_3 = \alpha_2 \left[ -\frac{\bar{M}}{\bar{N}} \right] - \frac{1}{\Lambda} \quad (7)$$

$$\alpha_2 = -\frac{\bar{\sigma}_y * \eta * \Lambda}{\bar{N} * W * \bar{\beta}^2} \left[ 0,476 + \frac{\bar{\sigma}_y}{2\sigma_{3y} \sqrt{\bar{m}_{ef}}} \right];$$

Як показали дослідження залежності функції резерву стійкості  $\bar{Y}$  від випадкових аргументів, вона практично лінійно залежить від  $\bar{\sigma}_y$  і  $\bar{M}$  і нелінійно від  $\bar{N}$ , тому розглянута можливість використання методу лінеаризації. Для цього в діапазоні зміни випадкових аргументів використаний розклад функції в ряд Тейлора поблизу точки з координатами  $(\bar{\sigma}_y, \bar{N}, \bar{M})$  із збереженням членів не вище другого порядку і одержані уточнені формули для числових характеристик резерву стійкості  $\bar{Y}_T$ ,  $\hat{Y}_T$  та характеристика безпеки  $Z_{yT} = \bar{Y}_T / \hat{Y}_T$ .

Розрахунки, виконані на ПЕОМ по розробленій програмі, показали, що відносна похибка при обчисленні  $\bar{Y}_T$  і  $\hat{Y}_T$  складає 5-15% за рахунок врахування нелінійних членів, а для характеристики безпеки не перевищує 5%, що підтверджує можливість використання методу лінеаризації при рішенні поставленої задачі з використанням наведених вище формул (3).

Числовий експеримент, виконаний по розробленим програмам на ПЕОМ, де 34 варіанти стиснуто-зігнутих сталевих елементів були обраховані по всім розглянутим методикам, засвідчує, що характеристика безпеки, яка визначена по методиці з врахуванням пружно-пластичної роботи матеріала (формули (6), (7)), перевищує на 10-15% значення, одержані по пружним методам, це дозволяє більш повно використовувати несучу здатність матеріала і більш точно оцінювати параметри надійності стиснуто-зігнутих елементів.

В четв'яртій главі розроблена методика оцінки параметрів надійності елементів покриттів з позавузловим навантаженням, виконана практична оцінка рівня надійності типових крок'яних ферм.

Розвиток конструктивних форм покриттів будівель привів до нових рішень крок'яної конструкції з безпрогінним вирішенням шатра та позавузловим навантаженням: крок'яні ферми блоків покриттів "Молодечно", "Москва", "Таріл" і малоелементні ферми та деякі інші.

В зв'язку з достатньо широкою областю використання і перспективністю безпрогонних покриттів актуальною задачею є оцінка їх рівня надійності з визначенням області раціонального використання. У роботі розглянуті статично визначені крок'яні ферми покриттів, які сприймають звичайно, постійне і одне тимчасове (снігове) навантаження.

Конструкції, які будуть розглянуті в даній роботі, у рамках статистичної динаміки конструкцій, визначені як стохастичні стаціонарні лінійні системи, які мають невироджуваний характер і до яких в повній мірі можуть використовуватись оцінки параметрів надійності на базі теорії викидів випадкових процесів. Відмова конструкції

інтерпретується, як викид випадкового процесу резерва стійкості у від'ємну область, для визначення імовірності якого з врахуванням фактору часу  $Q(t)$  використовуються частотні характеристики  $\tilde{Y}(t)$ : ефективна частота  $\omega_q$  і коефіцієнт широкполосності  $\beta_{\omega}$ . Формула для обчислення має вигляд:

$$Q(t) = \omega_q * f(Z_v) * t / (\beta_{\omega} \sqrt{2\pi}), \quad (8)$$

де  $f(Z_v)$  – ордината нормованого розподілу резерву стійкості.

В роботі використані розроблені в Полтавському ІБІ імовірносні моделі атмосферних навантажень. Математична модель снігового навантаження в формі квазістаціонарного випадкового процесу (ВП) з сезонним трендом математичного сподівання, постійним коефіцієнтом варіації і частотними параметрами використовує поліномо-експоненціальний розподіл ординати, який характерний для малосніжних, нестійких зим України. З точки зору математичного опису, на основі численних дослідних даних, постійне навантаження можна представити у вигляді випадкової величини з нормальним розподілом. Для характеристики міцності сталі використовується розподіл Гауса, який не дає великої похибки, що підтверджує статистичні дослідження.

Методика оцінки параметрів надійності запропонована на основі пружно-пластичного рішення (гл. 3). При цьому чисельним інтегруванням одержані несиметричні розподіли резерву стійкості, які суттєво відрізняються від нормального. Складений алгоритм і розроблена програма для визначення рівня надійності елементів крокв'яних ферм покриття "Молодечно". Отримані результати ілюструє рис. 3, на якому для наочності епюри надійності побудовані в логарифмічних одиницях. Рівень надійності (в белах) визначається по формулі:

$$r = -\log(Q(t)) \quad (9)$$

Рис.3 ілюструє суттєву різнонадійність елементів ферм і понижену надійність деяких елементів решітки ферм, що засвідчує необхідність підвищеної уваги до типових сталевих ферм покриттів типу "Молодечно", які експлуатуються на території України.

По розробленій методиці був виконаний аналіз необхідності підсилення крокв'яних ферм головного корпусу ПРЗ АО КАМАЗ, який дав змогу виключити трудомістке підсилення стоеків 128 ферм, завантажених додатковими моментами від маси труб системи пожежогасіння даху.

В п'ятій главі розглянуті стиснуто-зігнуті сталеві колони постійного поперечного перерізу, виконаний числовий експеримент по оцінці їх надійності на ПЕОМ.

Сталеві колони є малодослідженими конструкціями з точки зору надійності, такий стан пов'язаний з складністю імовірносного опису реальних навантажень, необхідністю врахування фізичної та геометричної нелінійності роботи матеріала і конструкції. В той же час, ці конструкції характерні тим, що в них поєднуються всі можливі навантаження і є можливість викриття додаткових резервів несучої здатності.

В роботі аналізуються сталеві колони каркасів, шарнірно закріплені з ригелем і жорстко затиснені у фундаменті. Стиск колони безкранової будівлі визваний дією поздовжньої сили від постійного та снігового навантаження, а згинальний момент, який діє в одній з головних площин, визваний дією вітрового навантаження. Навантаження на будівлі, оснащені мостовими кранами, крім вищезгаданих навантажень, включає в себе поздовжнє та поперечне навантаження від дії кранів.

Прийнята в розрахунках імовірносна модель вітрового навантаження представлена у вигляді квазістаціонарного ВП з

стаціонарною частотною структурою і розподілом Вейбула для ординати. Математична модель кранового навантаження (вертикального та горизонтального (бокової сили) - нормальний стаціонарний ВП, числові характеристики якого є випадковими параметрами вагових та геометричних характеристик крана.

Для визначення параметрів надійності сталевих колон постійного поперечного симетричного перерізу, завантажених декількома випадковими тимчасовими навантаженнями, які представлені у вигляді ВП, описаних різними законами розподілу, і міцністю, представленою у вигляді випадкової величини, використане імовірносне рішення (6), (7).

При побудові розподілу зусиль від спільної дії атмосферних та кранових навантажень, який суттєво відрізняється від розподілу Гауса (рис. 4) використана формула для розподілу різниці нормального і довільного законів:

$$f(\beta_v) = (D/\sqrt{2\pi}) \int_{z_1}^{z_2} \exp(-0,5 * E^2) * f_{1,2}(z) dz, \quad (10)$$

де  $f_{1,2}(z)$  - густина розподілу зусиль від композиції атмосферних навантажень;  $\beta_v$  - нормований відхил аргумента від центру розподілу:

$$E = z/k + \beta_v * D; \quad D = \sqrt{1+k^2}/k; \quad k = \hat{X}_H / \hat{X}_A;$$

межі інтегрування:

$$z_1 = -\beta_v \sqrt{1+k^2} - k/\sqrt{V_H}; \quad z_2 = 5+10,$$

де  $\hat{X}_H$ ,  $\hat{X}_A$  - стандарт нормальної складової та композиції атмосферних навантажень, відповідно;  $V_H$  - коефіцієнт варіації нормальної складової функції резерву стійкості.

При розробці методики використана можливість запису розподілів атмосферних навантажень та їх композиції в одноквовій аналітичній формі:

ВНИИФТО. В. м. 1978

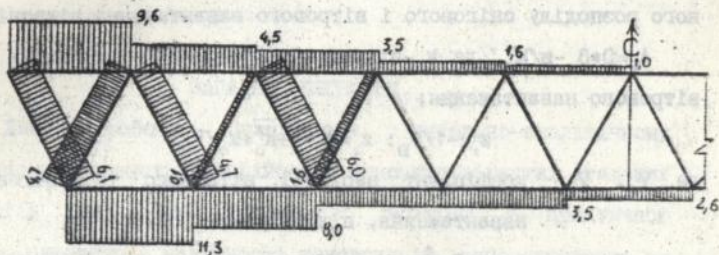


Рис. 3. Епіра рівнів надійності сталеві ферми ( $L = 30$  м)  
покриття типу "Молодечно"

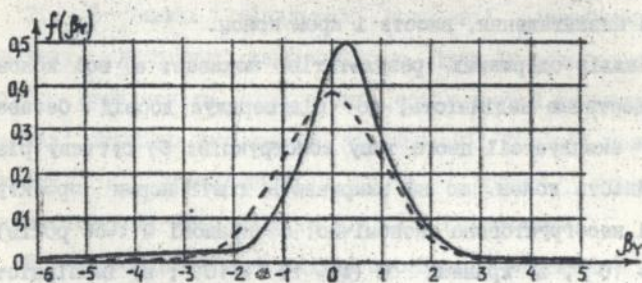


Рис. 4. Розподіл випадкових аргументів функції  
резерву стійкості

Позначення: — розподіл Гауса;  
———— підсумковий розподіл

$$f_{1,2} = \int_{z_1}^{z_2} \exp \left[ ((c_3 * A_R + c_2) A_R + c_1) A_R + c_0 + ((a_3 * z + a_2) z + a_1) z + a_0 \right], \quad (11)$$

де  $c_0 - c_3$ ,  $a_0 - a_3$  - коефіцієнти поліному поліномо-експоненціального розподілу снігового і вітрового навантаження, відповідно;

$A_R = D * \beta_V - z / k_0$ , де  $k_0$  - відношення стандартів снігового та вітрового навантаження;

$$z_1 = -1 / \sqrt{V_B}; \quad z_2 = \beta_V \sqrt{1 + k_0^2} + k_0 / \sqrt{V_C},$$

де  $V_B$ ,  $V_C$  - коефіцієнт варіації вітрового та снігового навантаження, відповідно.

Для практичної реалізації одержаного методу виконаний об'ємний числовий експеримент по оцінці параметрів надійності 112 сталевих колон постійного поперечного двутаврового перерізу, запроєктованих згідно діючих норм, який охопив практично всі можливі варіанти реальних колон. Змінними параметрами були: постійне, снігове, вітрове та кранове навантаження, висота і крок колон.

Аналіз одержаних результатів показав: а) всі колони мають достатню надійність, що підтверджує досвід безаварійної експлуатації цього типу конструкцій; б) суттєву різницю надійності колон, що не викривають діючі норми проектування і необґрунтовано економічно: безкранові  $Q(t=50 \text{ років}) = 10^{-2} + 10^{-4}$ , з кранами  $Q(t) = 10^{-1} + 10^{-2}$ ; в) імовірність відмови зменшується при зниженні долі атмосферних навантажень в загальному зусиллі, а для кранових при зниженні долі кранового навантаження; г) можливість запропонувати у першому наближенні, для безкранових колон, понижаючий коефіцієнт сполучення атмосферних навантажень, рівний 0,8.

Розроблено методику визначення необхідності підсилення колон з погнутими вітками. Запропоновані обґрунтовані варіанти підсилення, які забезпечують достатню надійність

експлуатованих конструкцій.

У додатках наведені числові характеристики постійного навантаження, блок-схеми алгоритмів розроблених програм, акти впровадження.

#### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

Дана робота присвячена чисельно-аналітичному дослідженню параметрів надійності стиснуто-зігнутих сталевих елементів постійного поперечного перерізу з практичною оцінкою параметрів надійності конструкцій, запроєктованих за діючими нормами. Основні результати роботи:

1. Вперше розроблено методикку оцінки параметрів надійності сталевих стиснуто-зігнутих елементів постійного поперечного перерізу з врахуванням фактору часу, дійсної роботи конструкцій і реального зовнішнього навантаження.

2. В межах загальної концепції імовірносного розрахунку конструкції запропоновано функцію резерву стійкості з врахуванням конкретних особливостей розглянутих елементів; показана можливість лінеаризації функції резерву стійкості з врахуванням дійсної роботи сталевих стиснуто-зігнутих елементів та реальних навантажень.

3. Розроблені методи оцінки параметрів надійності пружних сталевих стиснуто-зігнутих елементів і визначено область їх можливого застосування.

4. Опрацьовано практичну методикку визначення імовірності безвідмовної роботи сталевих стиснуто-зігнутих елементів, які працюють за межою пружності.

5. Виконано оцінку параметрів надійності елементів типових сталевих ферм з позаузловим навантаженням, яка виявила суттєву різнонадійність елементів та елементи не-

сучих конструкцій покриттів з недостатньою надійністю.

6. Проведено аналіз імовірності безвідмовної роботи сталевих колон постійного поперечного перерізу, який дав змогу виявити додаткові резерви несучої здатності сталевих колон безкранових будівель.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Пашинский В.А., Харченко Ю.А. Усиление стальных колонн с общими погибами ветвей // Пром. строительство и инженерные сооружения, - 1989, - №3. - С.30-31.
2. Пичугин С.Ф., Харченко Ю.А. Использование вероятностных методов при проектировании промышленных зданий с учетом вопросов экологии // Совершенствование проектных решений с учетом проблем экологии: Сб. научн. тр./ Редкол.: А.Н.Павликов (отв. ред.) и др. - К.: УМК ВО, 1992. - С.84-90.
3. Харченко Ю.А. Исследование надежности сжато - изогнутых стержней с учетом поперечной нагрузки и условий закрепления концов // Эффективные стр. материалы и конструкции, используемые при возведении зданий и сооружений: Сб. научн. тр. / Редкол.: А.Н. Павликов (отв.ред.) и др. - К.: УМК ВО, 1992. - С.55-62.
4. Пичугин С.Ф., Харченко Ю.А. Вероятностная оценка резерва устойчивости сжато-изогнутых стержней // Пути повышения эффективности строительства: Темат. сб. научн. тр./ Редкол.: А.Н. Павликов (отв. ред.) и др. - К.: ИСМО, 1993. - С.72-80.
5. Пичугин С.Ф., Харченко Ю.А. Оценка показателей надежности стальных стоек постоянного сечения с учетом реально действующих нагрузок // Материалы междунар. науч.-практич. конф. " Совершенствование стр. материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических

условиях ( 25-27.10.1994 ) / Под. ред. д.т.н., проф. Фомицы Л.Н. - Сумы: ИПИ "Мрия" ЛТД, 1994. - С.206-207.

6. Пашинский В.А., Пичугин С.Ф., Харченко Ю.А., Чичулин В.П. Эксплуатационные повреждения конструкций предприятий автомобильной промышленности // VII Всесоюзная конференция " Экспериментальные исследования инженерных сооружений (методы, приборы, оборудование, метрологическое обеспечение)": Тез. докл. - Сумы, 1991. - С.183-185.

7. Пичугин С.Ф., Харченко Ю.А., Чичулин В.П. Некоторые аспекты расчета надежности стальных конструкций производственных зданий // Усиление и реконструкция производственных зданий и сооружений, построенных в металле: Тез. докл. 5 Укр. науч.-техн. конф. по метал. констр., - К., 1992. - С.18-19.

8. Пичугин С.Ф., Харченко Ю.А. Надежность стальных элементов, работающих на сжатие с изгибом // Надежность зданий и сооружений: Тез. докл. науч.-технич. конф. - Черкассы, 1993. - С.43-44.

9. Пичугін С.Ф., Харченко Ю.А. Визначення надійності сталевих конструкцій, які сприймають снігове навантаження // Тези доповідей 46-ї наук. конф. проф., викл., наук. співробітників, асп. і студентів / Полт. ІБІ. - Полтава, 1994.- С.48.

#### АННОТАЦИЯ.

Харченко Ю.А. "Оценка параметров надежности стальных сжато-изогнутых элементов постоянного поперечного сечения".

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.23.01. - строительные конструкции, здания и сооружения, Полтавский технический университет, Полтава, 1994.

Численно-аналитическое исследование параметров надеж-

ности сжато-изогнутых стальных элементов с практической оценкой надежности стропильных ферм с внеузловой нагрузкой и стальных колонн постоянного сечения, запроектированных по действующим нормам.

Предложена методика оценки параметров надежности конструкций с учетом фактора времени, реальных внешних нагрузок и действительной работы конструкций.

Отдельные полученные результаты включены в проект разрабатываемых национальных норм по надежности.

Ключеві слова: надійність, сталеві конструкції, стиснуто-зигнуті елементи, крокв'яні ферми, колони.

#### ANNOTATION

Kharchenko Y.A. "Reliability Parameters Estimation of Steel Beam-Column Elements of a constant cross-section".

The thesis for a competition of the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences. Speciality 05.23.01-Building Structures, Buildings & Structures, Poltava Technical University.

Numeric & analytical research of reliability parameters of Steel Beam-Columns elements with knot-free & load steel columns of constant section designed in accordance with the existing Building Codes.

The reliability parameter estimation method with account of time factor, structure behaviour, existing external loads are offered.

Some results are included in the project of developing national reliability Codes.

Key words: reliability, steel structure, beam-columns, building truss, columns.



Підписано до друку 28. 12. 94р. Формат 60x84 1/16. Папір друкарський.  
Друк плоский. Умовн. друк, арк. 1. Замовлення №1487. Тираж 101 прим.  
Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління  
Полтавської області. м. Полтава, вул. Пушкіна, 103.



456503

AB 31.701

**AB 31.701**