

УДК 624.072.014

Хилько І.І.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ В
ОБЛАСТІ ОБМЕЖЕНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ З
ВРАХУВАННЯМ УМОВ ПЕРШОГО ТА ДРУГОГО ГРАНИЧНИХ
СТАНІВ**

*Миколаївський національний аграрний університет,
Миколаїв, Паризької Комуни 9, 54020*

Анотація. У роботі розглянуто питання дослідження міцності бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій з урахуванням умов виконання першого та другого граничних станів. Описано методу розрахунку прогинів стержнів до яких прикладено поздовжню та поперечну зосереджену сили. На основі одержаних даних з використанням методу найменших квадратів розроблено математичну модель розрахунку прогинів стержнів в області обмежених пластичних деформацій при складному опорі та одержано ряд апроксимуючих кривих, які з достатнім ступенем точності можна використовувати в практичних розрахунках.

Ключові слова: бісталеві стержні, область обмежених пластичних деформацій, граничний стан, відносний прогин стержня, згинальний момент.

Abstract. The problem of a research of bearing strength bi-steel of rods is considered in the field of restricted plastic deformations with allowance for of runtime environments of the first and second limiting states have been described in the article. The strategy of calculation of the bar deflections to which a longitudinal and transverse concentrated forces are attached has been described. On the foundation of tinned data the mathematical model of calculation of the bar deflections in the field of limited plastic deformation under the complex resistance is designed using a method of the least squares, and the row of the approximated curves

is received, that can be used practical calculations with the sufficient degree of accuracy is possible.

Key words: bi-steel rods, area of restricted plastic deformations, limiting state, relative sag of a rod, flexing a moment.

Одним з важливих резервів зниження затрат металу в будівельних конструкціях і підвищення їх ефективності є удосконалення методів розрахунку металевих конструкцій за граничними станами та розробка практичних методик, які можна було б рекомендувати для застосування при проектуванні металевих конструкцій. При цьому при розрахунку металевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій при складному опорі важливо додержуватися вимог по їх міцності та жорсткості [1].

Перша з умов – розрахунок міцності за деформаційним критерієм в виді обмеження інтенсивності пластичних деформацій у випадку стиску (розтягу) з поперечним згином приводить до необхідності врахування впливу прогину на величину ексцентриситету поздовжнього зусилля, яке збільшує значення згинальних моментів. В якості граничного стану стержня по непридатності до експлуатації приймається досягання в найбільш напруженому перерізі граничної пластичної деформації при визначенні зусиль за деформованою схемою. Друга з умов говорить про те, що відносний прогин стержня f/l під навантаженням не повинен перевищувати нормативного $f/l \leq [f/l]$.

При розрахунку міцності бісталевих конструкцій використовується критерій міцності – обмеження пластичної складової інтенсивності деформації величиною $e_{ip,lim} = 0,2\%$ [2]. Даний критерій значно розширює область конструкцій, які розраховуються при роботі матеріалу за межами пружності.

В роботі пропонується наступний підхід до вирішення задачі розрахунку міцності стиснуто(розтягнуто)-зігнутих бісталевих стержнів. Виходячи із геометричних розмірів стержня та діючих сил будується математична модель стержня. Потім на ПЕОМ з заданою наперед точністю проводиться розрахунок

цієї моделі з послідуною зміною стріли прогину стержня, доки він не займе рівноважного положення в залежності від розмірів та діючих навантажень.

В результаті розрахунків з врахуванням деформованої схеми одержується еюра згинальних моментів, коректуючи коефіцієнти n і величини прогинів по всій довжині стержня [3]. Коефіцієнти n використовуються для уточнення формули перевірки міцності з врахуванням деформованої схеми.

Для побудови напружено-пластичної еюри нормальних напружень і знаходження величини згинального моменту в кожному перерізі по краям вказаних відрізків, приймаються основні припущення розрахунку бісталемих конструкцій в області обмежених пластичних деформацій.

З врахуванням указаних припущень, а також при заданих розмірах стержня, величині поздовжньої сили та схеми навантаження розроблено алгоритм розрахунку міцності стиснуто(розтягнуто)-зігнутих моно- та бісталемих стержнів симетричного та асиметричного перерізу з врахуванням деформованої схеми за критерієм обмежених пластичних деформацій [4], який дав можливість отримати ряд апроксимуючих аналітичних залежностей.

Однією з задач по дослідженню несучої здатності бісталемих стержнів за межею пружності було дослідження конструкцій за другим граничним станом - за розвитком надмірних прогинів. Згідно з запропонованою методикою та розробленим алгоритмом було розроблено відповідну програму для ПЕОМ на мові TURBO CI з врахуванням геометричних розмірів стержня, розрахункових опорів матеріалу стінки R_w та полиць R_f , величини поздовжньої сили N та схеми навантаження. Використовуючи розроблену програму, були проведені розрахунки прогинів бісталемих стержнів за межею пружності симетричного та асиметричного перерізу довжиною $l = 6 \text{ м}, 9 \text{ м}, 12 \text{ м}, 15 \text{ м}, 18 \text{ м}, 21 \text{ м}$ при навантаженні їх зосередженою поперечною силою P в поєднанні з поздовжньою силою N , де $N = n \cdot N_{lim}$, n приймає значення $-0,7; -0,6; \dots; 0; \dots; 0,6; 0,7$ і $N_{lim} = (A_1 + A_3) \cdot R_f + A_2 \cdot R_w$, які викликали досягнення граничної пластичної деформації $e_{ip,lim} = 0,2\%$ у найбільш навантаженому перерізі стержня.

В результаті проведених розрахунків, було одержано достатню кількість необхідних даних для стержнів різної довжини при різних значеннях поздовжньої сили N при переміщенні зосередженої сили P вздовж стержня з кроком рівним 0,05 довжини стержня l , що дало можливість для подальшої їх систематизації, і як результат отримання ряду апроксимуючих аналітичних залежностей з достатнім рівнем достовірності, які можна використовувати для наближеного знаходження прогинів стержня.

Залежність розміщення відносної точки в якій досягнуто максимальний прогин стержня в області обмежених пластичних деформацій – $X_{max} = X_m/l$ (X_m – відстань від лівого кінця стержня до точки з максимальним прогином стержня, l – довжина стержня) від відносної точки прикладення зосередженої сили – $X = X_p/l$ (X_p – відстань від лівого кінця стержня до точки прикладення поперечної сили), відносної величини поздовжньої сили – $R = N/N_{lim}$ та відносної довжини стержня – $Z = l/l_0$ ($l_0 = 6m$).

В результаті статистичної обробки даних для бісталевих стержнів з розрахунковими опорами матеріалу стінки $R_w = 2400 \text{кГс}/\text{см}^2$, полиць $R_f = 3400 \text{кГс}/\text{см}^2$ і прикладеною стискуючою поздовжньою силою N було отримано математичну модель стержня:

$\hat{X}_{max} = 0,4213 - 0,0501X + 0,0435XR - 0,0073XZ - 0,0062RZ + 0,4223X^2 + 0,0119R^2$,
а прикладеною розтягуючою поздовжньою силою N :

$$\hat{X}_{max} = 0,4332 - 0,1047X - 0,0228R + 0,0332XR - 0,0087XZ - 0,0044RZ + 0,4593X^2 + 0,0118R^2.$$

Аналіз коефіцієнтів одержаних аналітичних залежностей як для стискуючих, так і розтягуючих поздовжніх сил свідчить про те, що найвагоміший вплив на значення X_{max} мають відносна точка прикладення зосередженої сили (X) та відносне значення поздовжньої сили (R), а найменший вплив має відносна довжина стержня (Z). Аналіз одержаних результатів також показав, що максимальний прогин стержня знаходиться в межах від $0,44l$ до $0,5l$ від лівого кінця стержня. Відносна похибка між

значеннями, які були обчислені за ітераційним алгоритмом, та одержані за апроксимуючою кривою не перевищує 2,7% для стискуючих поздовжніх сил та 2,02% для розтягуючи поздовжніх сил.

Таким чином, аналітична залежність $X_{max} = f(X, R, Z)$ з достатнім рівнем достовірності дає можливість визначити в якій точці стержня буде досягатися максимальний прогин в залежності від відносної точки прикладення сили, відносної величини поздовжньої сили і відносної довжини стержня.

Залежність корегуючого коефіцієнта $k = Y_{nl} / Y_{np}$, де Y_{nl} – прогин в точці за умови досягнення пластичної деформації $e_{ip,lim} = 0,002$, Y_{np} – прогин в точці, розвинений за умови необмежено пружної роботи від параметрів X, R та Z , тобто залежність виду $k = f(X, R, Z)$. Для отримання необхідної аналітичної залежності розглядалися різні види поліномів 1-го та 2-го степеня.

В результаті статистичної обробки даних для бісталевих стержнів з розрахунковими опорами матеріалу стінки $R_w = 2400 \text{кГс} / \text{см}^2$, полок $R_f = 3400 \text{кГс} / \text{см}^2$ і прикладеною стискуючою поздовжньою силою N було отримано таку математичну модель:

$$k = 1,0943 + 0,0242 \frac{1}{X} + 0,3018R - 0,1066Z - 0,0055R \frac{1}{X} + \\ + 0,0017Z \frac{1}{X} - 0,2010RZ + 0,0005X^2 + 0,1918R^2 + 0,0198Z, ,$$

а прикладеною розтягуючою поздовжньою силою N :

$$k = 0,8897 + 0,0399 \frac{1}{X} + 0,1451R + 0,0485Z - 0,0053R \frac{1}{X} - \\ - 0,0014Z \frac{1}{X} - 0,1259RZ + 0,0002X^2 + 0,1205R^2 - 0,0089Z^2, ,$$

які з достатнім ступенем точності апроксимації описують досліджувані процеси. Аналіз коефіцієнтів даної аналітичної залежності говорить про те, що найбільш суттєво на значення корегуючого коефіцієнта k впливають значення відносної точки прикладення сили (X) та відносної величини поздовжньої сили (R). Відносна похибка між значеннями, які були обчислені за ітераційним

алгоритмом, та одержані за апроксимуючою кривою не перевищує 7,6% для стискуючих поздовжніх сил та 3,58% для розтягуючи поздовжніх сил.

Таким чином, одержані аналітичні залежності $k = f(X, R, Z)$ дають можливість визначити відповідний корегуючий коефіцієнт k в залежності від відносної точки прикладання сили, відносної величини поздовжньої сили, відносної довжини стержня і знаючи максимальний прогин стержня в межах пружності Y_{np} визначити прогин стержня в межах обмежених пластичних деформацій Y_{nl} з співвідношення $k = Y_{nl} / Y_{np}$.

Для кожної з побудованих моделей було визначено коефіцієнт детермінації R^2 , множинний коефіцієнт кореляції r , які мали достатньо високі значення та перевірялася адекватність моделей за допомогою критерію Фішера.

Висновки

Розроблена методика та алгоритм розрахунку міцності бісталевих стержнів з врахуванням умов виконання першого та другого граничних станів дали можливість одержати ряд апроксимуючих аналітичних залежностей при розрахунку величини прогинів бісталевих стержнів при складному опорі за межею пружності:

– залежність виду $X_{max} = f(X, R, Z)$, яка з достатнім рівнем достовірності дає можливість визначити в якій точці стержня буде досягатися максимальний прогин в залежності від відносної точки прикладення сили, відносної величини поздовжньої сили та відносної довжини стержня;

– залежність $k = f(X, R, Z)$, яка дає можливість визначити відповідний корегуючий коефіцієнт k в залежності від відносної точки прикладання сили, відносної величини поздовжньої сили, відносної довжини стержня і знаючи максимальний прогин стержня в межах пружності Y_{np} визначити прогин стержня в межах обмежених пластичних деформацій Y_{nl} з співвідношення $k = Y_{nl} / Y_{np}$.

Література:

1. Рекомендации по расчету стальных конструкций по критерию ограниченных пластических деформаций. –М., 1985, с. 3-4.
2. Чернов Н.Л., Стрелецкий Н.Н., Любаров Б.И. Расчет стальных конструкций на прочность по критерию ограниченных пластических деформаций. //Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1984.– №7.– С.1–9.
3. Шибанин В.С. Прочность изгибаемых стальных стержневых конструкций при учете физической и геометрической нелинейности в области ограниченных пластических деформаций.– Дис... докт. техн.. наук: 05.23.01. – Одесса, 1993.
4. Шибанин В.С., Хилько І.І. Міцність бісталевих стержнів при згині з поздовжньою силою з врахуванням деформованої схеми в області обмежених пластичних деформацій. //Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 1998.– Вип.2.– С.123–128.

Стаття відправлена: 14.03.2014р.

© Хилько І.І.