

УДК 624.072.014

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

*В.С.Шебанін, доктор технічних наук, професор
Миколаївський державний аграрний університет*

*Л.П.Шебаніна, кандидат технічних наук, доцент
Миколаївський державний університет*

І.І.Хилько, ст.викладач

Миколаївський державний аграрний університет

Розв'язання задач науково-технічного прогресу неможливе без подальшого підвищення якості та забезпечення економічності споруд і конструкцій, які використовуються в капітальному будівництві. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є зниження матеріаломісткості конструкцій за рахунок використання прогресивних методів розрахунку, що підвищують надійність, міцність та економічність. Значну увагу необхідно звернути саме на стадії проектування металевих конструкцій за рахунок удосконалення їх методів розрахунку з використанням теорії граничних станів, що значно підвищує їх надійність, виявляє допоміжні ресурси, забезпечує значний економічний ефект. При цьому важливе значення має саме розробка практичних методик, які можна було б рекомендувати для застосування при проектуванні металевих конструкцій.

Деформаційна природа більшості граничних станів, включаючи граничний стан за міцністю, вперше була встановлена М.М.Стрелецьким [1, 2]. Основні положення проектування будівельних конструкцій також визнали деформаційну сутність граничного стану за міцністю [3]. Перегляду норм проектування сталевих конструкцій у зв'язку з переходом на новий критерій міцності передувала робота по вдосконаленню глави БНіП П-23-81 у частині розрахунків сталевих конструкцій на міцність, що регламентувала використання критерію обмежених пластичних деформацій [4].

Недоліком даних положень [3] є використання для розрахунку міцності стиснуто(розтягнуто)-зігнутих стержневих елементів конструкцій недеформованої схеми, яка не враховує викривлення початкової вісі стержнів, що має місце у реальних умовах.

Подальше удосконалення розрахунку міцності за деформаційним критерієм у вигляді обмеження граничної величини пластичних деформацій у випадку стиску (розтягу) зі згином приводить до необхідності урахування впливу прогину на величину ексцентриситету поздовжнього зусилля, який змінює значення згинального моменту.

Існуючі норми БНІП П-23-81 [5] рекомендують виконувати розрахунок сталевих конструкцій, як правило, з врахуванням непружних деформацій і дозволяють враховувати пластичні деформації тільки при дії статичних навантажень з деякими обмеженнями. А отже, значна частина елементів конструкцій, що працюють під статичними навантаженнями розраховується тільки в межах пружності, а розрахунок бісталевих конструкцій взагалі нормами не передбачений, хоча розрахункові опори залежать від марок сталі та товщини листа.

Таким чином, тема роботи обумовлена необхідністю подальшого розвитку та удосконалення теорії розрахунку міцності та стійкості бісталевих стержнів за деформаційним критерієм у вигляді обмеження пластичних деформацій у випадку стиску (розтягу) зі згином з урахуванням деформованої схеми.

Крім того, у більшості з робіт це досягається за рахунок дослідження роботи конструкцій тільки за першим граничним станом — за несучою здатністю (міцністю, стійкістю) і, таким чином, не враховуються резерви, які можуть бути при дослідженні конструкції з врахуванням одночасно умов як першого, так і другого граничного стану — за розвитком надмірних прогинів. Саме тому тема роботи є актуальною і має важливе значення для теорії розрахунків і практики проектування металевих конструкцій.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та експериментальне дослідження несучої здатності бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій при складному опорі з врахуванням деформованої схеми і впровадження в практику проектування методики розрахунку прогинів стержнів, які знаходяться під впливом різноманітних комбінацій навантажень.

Поставлена мета досягається вирішенням таких завдань:

- проведення теоретичного дослідження напружено-деформованого стану перерізів стиснуто-зігнутих бісталевих стержнів за критерієм обмежених пластичних деформацій;
- удосконалення методики розрахунку несучої здатності бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій при складному опорі з урахуванням умов як першого, так і другого граничних станів;
- проведення необхідних експериментальних досліджень дійсної роботи стержнів за межею пружності з метою з'ясування резервів несучої здатності стержнів при використанні запропонованої методики;
- розробка пропозицій для нормативних документів та програмного продукту, придатного для використання в практиці проектування по розрахунку бісталевих стержнів згідно запропонованої методики.

Предметом дослідження є напружено-деформований стан перерізів бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій, а також несуча здатність бісталевих стержнів за межею пружності при складному опорі з врахуванням умов 1-го та 2-го граничних станів.

В основу розроблених методів розрахунку несучої здатності бісталевих конструкцій з врахуванням фізичної та геометричної нелінійності в області обмежених пластичних деформацій та умов 1-го і 2-го граничних станів покладено ітераційний метод поновлення обмежених пластичних деформацій, методи класичної механіки та експериментальні методи.

При вивченні та аналізі предмета дослідження була проведена класифікація можливих випадків напружено-деформованого стану перерізів бісталевих стержнів при складному опорі, а також розв'язана пряма та обернена задачі.

При дослідженні міцності металевих конструкцій в області обмежених пластичних деформацій використовувався ефективний метод розрахунку — поновлення величини граничної пластичної деформації $\varepsilon_{ip,lim}$. Ідея якого полягає в максимальному наближенні пружно-деформованого стану стержня на кожному кроці

ітераційного процесу до кінцевого граничного стану. Для цього в кожному послідовному наближенні змінюються або величини навантажень, або розміри перерізу стержня таким чином, щоб у найбільш навантаженому місці стержня досягалася гранична величина пластичної деформації $\varepsilon_{ip,lim} = 0,002$ [6].

Дослідження роботи стиснуто-зігнутих бісталевих стержнів за деформованою схемою у випадках дії на стержень поздовжньої та поперечної сил показали, що врахування деформованої схеми впливає на несучу здатність стержня і враховується шляхом введення корегуючого коефіцієнта $\nu = \frac{M_d^{max}}{M^{max}}$ при розрахунку міцності стержня [7].

Використовуючи розроблену методику було розроблено алгоритм розрахунку міцності бісталевих стержнів з врахуванням умов як першого, так і другого граничних станів, який потім був реалізований у вигляді програми на мові TURBO СІ на ПЕОМ [8].

За допомогою одержаної програми були проведені розрахунки несучої здатності бісталевих стержнів за межею пружності симетричного та асиметричного перерізу різної довжини при навантаженні їх зосередженою поперечною силою P в поєднанні з поздовжньою силою N , які викликали досягнення граничної пластичної деформації $\varepsilon_{ip,lim} = 0.002$ у найбільш навантаженому перерізі.

У результаті розрахунку були одержані таблиці корегуючих коефіцієнтів ν для уточнення формули пружно-пластичного розрахунку міцності стержня за критерієм обмежених пластичних деформацій, отриманої раніше без врахування деформованої схеми та ряд апроксимуючих аналітичних залежностей за результатами статистичної обробки одержаних даних.

1. Аналітичні залежності при розрахунку величини прогинів бісталевих стержнів за межею пружності:

- математичну модель зігнутої осі стержня у вигляді кривої $Y = f(X)$, яка включає в своє аналітичне відображення тригонометричні функції і дає можливість знайти значення прогину стержня Y в кожній його точці X .

- аналітичну залежність $X_{max} = f(X)$, яка дає можливість визначити значення відносної точки, в якій досягнуто максимальний прогин стержня в області обмежених пластичних деформацій залежно від відносної точки прикладення зосередженої сили;
 - аналітичну залежність для визначення корегуючого коефіцієнта $k = Y_{пл} / Y_{пр}$ у вигляді $k = f(X)$, де X — відносна точка прикладення зосередженої сили та було з'ясовано, що більш доцільно використовувати залежності гіперболічного виду.
2. Аналітичні залежності 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 залежно від відносної точки прикладання сили, відносної величини поздовжньої сили та відносної довжини стержня;
 - залежність $k = f(X, R, Z)$, яка дає можливість визначити відповідний корегуючий коефіцієнт k залежно від відносної точки прикладання сили, відносної величини поздовжньої сили, відносної довжини стержня і, знаючи максимальний прогин стержня в межах пружності $Y_{пр}$, визначити прогин стержня в межах обмежених пластичних деформацій $Y_{пл}$ із співвідношення $k = Y_{пл} / Y_{пр}$.

Крім цього було виконано розмежування областей по розрахунку міцності та жорсткості стиснуто-зігнутих бісталевих стержнів за межею пружності. Для виконання цього спочатку визначався відносний прогин стержня f/l , який і порівнювався із заданим нормативним значенням залежно від призначення стержня. Розрахунок проводився до отримання таких граничних навантажень, при яких відносний прогин f/l не перевищував заданого значення нормативного прогину стержня, тобто до виконання умови $f/l \leq [f/l]$. Даний розрахунок

виконувався за рахунок пропорційної зміни поздовжньої сили N і поперечної сили P . Для розрахунку розглядалися стержні середньої гнучкості λ в межах від 30 до 75, які найбільш широко використовуються. Розрахунок було проведено для трьох схем навантажень стержнів симетричного перерізу, відносний прогин яких був обмежений нормативними величинами $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{300}$, $\frac{1}{400}$. За результатами розрахунку були побудовані відповідні криві по розмежуванню областей на міцність та жорсткість.

Для порівняння теоретичних результатів та дійсної роботи стержневих елементів конструкцій проводився відповідний розрахунок на ПЕОМ та експериментальні випробування на устатковині, яка призначена для визначення напружено-деформованого стану при дії поздовжньої та зосередженої поперечної сил зразків моно- та бісталевих стержнів.

Експериментальні дослідження несучої здатності бісталевих стержнів за межею пружності з врахуванням умов першого та другого граничних станів підтвердили теоретичні результати і припущення, покладені в основу розробленого методу розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стрелецкий Н.С. Избранные труды: Сб. статей под ред. Е.И. Беленя. -М.: Стройиздат, 1975. – 422 с.
2. Стрелецкий Н.С. К вопросу развития методики расчета по предельным состояниям //Развитие методики расчета по предельным состояниям. Сб. статей под ред. Е.И.Беленя. – М.: Стройиздат, 1971. – 287с.
3. СНиП П-А. 10-71. Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования. – М.: Стройиздат, 1975. -С. 4-9.
4. Рекомендации по расчету стальных конструкций на прочность по критериям ограниченных пластических деформаций. – 2-е изд. – М.: ЦНИИПроект-сталь-конструкция им. Н.П. Мельникова, 1985.- 48 с.
5. СНиП П-23-81*. Строительные конструкции. Нормы проектирования. - М.:Стройиздат, 1982. – 93 с.
6. Чернов Н.Л., Стрелецкий Н.Н., Любаров Б.И. Расчеты стальных конструкций на прочность по критерию ограниченных пластических деформаций. // Известия вузов. Строительство и архитектура. -1984.- №7. - С.1-9.
7. Шебанин В.С. Прочность изгибаемых стальных стержневых конструкций при учете физической и геометрической нелинейности в области ограниченных пластических деформаций. Докторская диссертация. -Одесса, – 1993.
8. Шебанін 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.