

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ БІСТАЛЕВИХ СТЕРЖНІВ В ОБЛАСТІ  
ОБМЕЖЕНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ З ВРАХУВАННЯМ  
УМОВ ПЕРШОГО ТА ДРУГОГО ГРАНИЧНИХ СТАНІВ**

к.т.н. Веремієнко М.О., ст. викладач Хилько І.І.

Миколаївський державний аграрний університет

Як відомо основним принципом проектування металоконструкцій є досягання трьох головних показників: економії сталі, підвищення продуктивності праці при виготовленні, зниження трудомісткості та термінів монтажу, які і визначають вартість конструкції. Незважаючи на те, що дані показники досить при їх реалізації вступають у протиріччя (так, наприклад найбільш економна по розходу сталі конструкція часто буває найбільш трудомісткою в виготовлення та монтажу), досвід розвитку металевих конструкцій підтверджує можливість реалізації цього принципу.

Економія металу в металевих конструкціях досягається на основі реалізації основних напрямів: використання в будівельних конструкціях низьколегірованих і високоміцних сталей, використання найбільш економічних прокатних та гнутих профілів, дослідження і впровадження в будівництво сучасних ефективних конструктивних форм і систем(просторових, попередньо напружених, висячих, трубчатих і т.д.), удосконалення методів розрахунку і знаходження оптимальних конструктивних рішень з використанням передових комп'ютерних технологій.

Метою розрахунку будівельних конструкцій є забезпечення заданим умовам експлуатації і заданої міцності при мінімальній витраті матеріалу і мінімальній витраті часу на виготовлення і монтаж.

Будівельні конструкції розраховують на силові і інші дії, що визначають їх напружений стан і деформації, за граничними станами. Методи розрахунку за граничними станами вперше були розроблені в 50-і роки. Їх метою було не

допустити з заданою забезпеченістю досягання граничних станів при експлуатації в період всього заданого терміну використання конструкції будівництва чи споруди, а також в період виконання робіт.

Під граничними станами будемо вважати такі стани, при яких конструкції перестають задовольняти заданим експлуатаційним вимогам чи вимогам при виконанні робіт.

В розрахунках конструкцій на дію статичних і динамічних навантажень і дій, які вони можуть отримувати в період будівництва і заданого терміну експлуатації, враховуються наступні граничні навантаження:

перша група – втрата несущої здатності і (або) повної неприродності до експлуатації конструкцій;

друга група – втрата нормальної експлуатації споруд.

До граничних станів другої групи відносяться стани, що затрудняють нормальну експлуатацію чи знижують довговічність внаслідок появи недопустимих переміщень (прогинів, осадків, кутів повороту, коливань, тріщин і т.д.).

Граничні стани першої групи перевіряються розрахунком на максимальні (розрахункові) навантаження і дії, що можливі при порушенні нормальної експлуатації, граничні стани другої групи – на експлуатаційні (нормативні) навантаження і дії, що відповідають нормальній експлуатації конструкцій.

Для другої групи граничних станів, що зв'язані, як правило, з переміщеннями, можна записати у вигляді граничної нерівності  $f \leq [f]$ , де  $f$  – переміщення конструкції (функція навантажень),  $[f]$  – граничне переміщення, що допустиме умовами експлуатації (функція конструкції і її призначення).

Зниження металомісткості може бути досягнене за рахунок використання в одній конструкції двох різних марок сталі. Балки, що виконані із двох марок сталі, називаються біс талевим. У них доцільно найбільш напруженні участки поясів виконувати із сталі підвищеної міцності (низьколегіровані сталі), а стінку і мало напруженні участки поясів – із мало вуглеводної сталі. При цьому

центральна частина і пояса знаходяться в пружній стадії, перефірійні зони стінки – в пластичній (умови обмеженої пластичності).

Як відомо існуючі норми БНП П-23-81 рекомендують виконувати розрахунок сталевих конструкцій, в основному, з урахуванням тільки непружних деформацій і дозволяють враховувати пластичні деформації лише при дії статичних навантажень з деякими обмеженнями. В результаті цього значна частина елементів конструкцій, що працюють під статичними навантаженнями розраховується тільки в межах пружності, а бісталеві конструкції взагалі нормами не передбачені.

Також, більшість досліджень присвячена роботі конструкцій тільки за 1 граничним станом – за несучою здатністю (міцністю, стійкістю) і внаслідок цього не враховуються резерви, які можуть бути отримані при дослідженні конструкції за 2 граничним станом – за розвитком надмірних прогинів.

Метою нашого дослідження було теоретичне обґрунтування та експериментальне дослідження несучої здатності бісталевих стержнів за межею пружності при складному опорі з урахуванням умов 1 та 2 граничних станів, деформованої схеми і впровадження в практику проектування методики розрахунку прогинів стержнів, які знаходяться під впливом різноманітних комбінацій навантажень.

Дослідження несучої здатності бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій виконувалося з урахуванням загальновідомих передумов пружно-пластичного розрахунку сталевих конструкцій з використанням ефективного методу поновлення величини граничної пластичної деформації  $\varepsilon_{ip,lim}$  [1].

Згідно уточненої методики, що враховувала виконання умов 1 та 2 граничних станів, було розроблено алгоритм розрахунку міцності бісталевих стержнів, який і був реалізований у вигляді програми на мові TURBO СІ на ПЕОМ. Використовуючи одержану програму, були проведені відповідні розрахунки по дослідженню несучої здатності бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій 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.

Опрацювання одержаних результатів дало можливість отримати епюру згинальних моментів, таблиці корегуючих коефіцієнтів  $\nu$  для уточнення формули пружно-пластичного розрахунку міцності стержня за критерієм обмежених пластичних деформацій, отриманої раніше без врахування деформованої схеми, величини прогинів по всій довжині стержня, математичну модель стержня [2] та ряд апроксимуючих аналітичних залежностей за результатами статистичної обробки одержаних даних [3].

Також було виконано розмежування областей по розрахунку міцності та жорсткості стиснуто-зігнутих бісталевих стержнів за межею пружності. Для цього визначався відносний прогин стержня  $f/l$ , який і порівнювався з заданим нормативним значенням  $[f/l]$  залежно від призначення стержня. Розрахунок проводився для стержнів середньої гнучкості  $\lambda$  в межах від 30 до 75 для трьох схем навантажень стержнів симетричного перерізу, за рахунок пропорційної зміни поздовжньої сили  $N$  і поперечної сили  $P$ . до одержання таких граничних навантажень, при яких відносний граничний прогин стержня не перевищував нормативного ( $1/200$ ,  $1/300$ ,  $1/400$ ), тобто до виконання умови  $f/l \leq [f/l]$ . Результати розрахунку дали можливість побудувати криві по розмежуванню областей на міцність та жорсткість.

Теоретичні результати по дослідженню несучої здатності бісталевих стержнів були перевірені на установці "ИССС-1", за допомогою експериментальних досліджень дійсної роботи стиснуто-зігнутих бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій.

Досліджувалося 12 моделей бісталевих стержнів по 3 моделі в кожній серії. Моделі були виготовлені у вигляді двотаврів довжиною 1 м з симетричними перерізами (верхня і нижня полка – 50x4 мм, стінка – 50x2 мм) та асиметричними перерізами (верхня полка – 50x4 мм, нижня полка – 25x4 мм,

стінка – 50x2 мм). Розрахункові опори сталі  $R_w = 2400$  кгс/см<sup>2</sup>,  $R_F = 3400$  кгс/см<sup>2</sup> - визначалися випробуванням стандартних зразків і приймалися рівними границі текучості. Стійкість моделей та елементів була забезпечена у відповідності з вимогами БНП II -23-81.

Після опрацювання результатів проведених експериментальних досліджень, одержаних на кожному етапі навантаження будувалися відповідні графічні залежності: залежність деформації в найбільш напруженому перерізі стержня від величини згинаючих моментів, епюри деформацій в найбільш напруженому перерізі стержня, епюри згинаючих моментів в стержні, залежність прогинів стержня від величини згинаючих моментів.

Порівняння теоретичних граничних моментів  $M_{lim}$  та експериментальних граничних згинаючих моментів  $M_{lim}^d$ , коли в найбільш напруженому перерізі стержня досягалася задана величина пластичної деформації  $\varepsilon_{ip,lim}$ , показало наявність в перерізі стержня запас міцності до 11%.

Проведений аналіз залежності прогинів стержня від величини згинаючих моментів показав, що експериментальна крива прогинів розміщена вище теоретичної кривої прогинів, тобто експериментальні значення прогинів менші теоретичних, що свідчить про те, що експериментальна модель крім запаса міцності, має й запас жорсткості.

### **Висновки.**

1. Проведені дослідження роботи бісталевих стержнів за межею пружності з урахуванням як першого граничного стану так і другого граничного стану виявили додаткові резерви несучої здатності бісталевих стержнів.

2. Експериментальна перевірка дійсної роботи стиснуто(розтянуто)-зігнутих бісталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій підтвердили теоретичні результати та передумови, що були покладені в основу

розробленого уточненого методу розрахунку несучої здатності бісталевих стержнів.

### **Література**

1. Шебанін В.С. Прочность изгибаемых стальных стержневых конструкций при учете физической и геометрической нелинейности в области ограниченных пластических деформаций. Докторская диссертация. –Одесса, - 1993.

2. Шебанін В.С., Богза В.Г., Хилько І.І. Математична модель розрахунку прогинів стержнів в області обмежених пластичних деформацій при складному опорі. Українська асоціація по металевим конструкціям. //Металеві конструкції. Том 1, №1 2000. – С.45-48.

3. Шебанін В.С., Хилько І.І. Аналітичні залежності розрахунку прогинів стержнів при складному опорі за межею пружності. Українська асоціація по металевим конструкціям. //Металеві конструкції. Том 6, №1 2003. – С.31-33.