

## ОСНОВНІ ЕТАПИ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ В ОБЛАСТІ ОБМЕЖЕНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

*М.О.Веремієнко, кандидат технічних наук, доцент*

*О.А.Мірошніченко, кандидат технічних наук, доцент,*

*О.В.Цепуріт, здобувач*

*Миколаївський державний аграрний університет*

*У статті розглянуто питання дослідження міцності сталевих стержнів в області обмежених пластичних деформацій при повторно-змінному навантаженні різними комбінаціями поздовжньої сили та згинального моменту.*

*В статье рассмотрен вопрос исследования прочности стальных стержней в области ограниченных пластических деформаций при повторно-переменном нагружении различными комбинациями продольной силы и изгибающего момента.*

Для перевірки та удосконалення методики розрахунку міцності стержневих елементів металевих конструкцій при повторно-змінних навантажуваннях в області обмежених пластичних деформацій з урахуванням деформованої схеми виконано експериментальні дослідження дійсної роботи стержнів за межею пружності з метою з'ясування можливості підвищення навантажень, які сприймаються, і зниження витрати сталі при використанні методики, яка пропонується.

Предметом дослідження є напружено-деформований (з урахуванням залишкових напружень) стан перерізів стержневих елементів в області обмежених пластичних деформацій, а також міцність стержневих елементів при складному опорі та повторно-змінних навантаженнях з урахуванням деформованої схеми.

При вивченні та аналізі предмета дослідження розглядалися можливі види напружено-деформованого стану моно- та бісталевих перерізів при навантаженні різними комбінаціями зовнішніх зусиль, в тому числі комбінаціями згинального моменту та зосередженої сили. В процесі дослідження здійснювався розв'язок прямої та оберненої задач. Обернена задача розв'язується за допомогою вибору відповідного випадку напружено-деформованого стану залежно від текучості або пружної роботи окремих елементів перерізів

**Вісник аграрної науки Причорномор'я, \_\_\_\_\_**  
**Випуск 4, 2006**

та використання метода поновлення обмежених пластичних деформацій. Розв'язок прямої задачі потребує організації ітераційного процесу з використанням метода поновлення обмежених пластичних деформацій на кожному кроці для знаходження напружено-деформованого стану перерізів стержнів з урахуванням залишкових напружень.

З урахуванням теореми про пружний характер розвантаження розглянуто характерні випадки залишкового напружено-деформованого стану перерізу при дії різних комбінацій зовнішніх зусиль та наступному розвантаженні.

Для дослідження міцності стержневих елементів використовувалась методика врахування фізичної та геометричної нелінійності та побудова матриць жорсткості моно- і бісталевих стержнів з використанням метода змінних параметрів, а також методи апроксимації при знаходженні аналітичних залежностей, які характеризують величину прогинів відповідно до точки прикладення зосередженої сили. При знаходженні залишкових прогинів у стержні після розвантаження використовувались значення прогинів, які було обчислено за припущенням досягнення у найбільш навантаженому перерізі стержня граничної пластичної деформації  $\varepsilon_{ip,lim}$ , а також відомі формули знаходження прогинів при пружній роботі, які використано за припущенням необмежено пружної роботи матеріалу.

Практична методика розрахунку міцності моно- та бісталевих стержнів реалізує принцип зберігання традиційного виду розрахункових формул пружної стадії роботи з доповненням системою корегування розрахункових коефіцієнтів при взаємодії різних комбінацій згинального моменту та поздовжнього зусилля. Здійснюється також перевірка умовних напружень у певних точках моно та бісталевих перерізів, що забезпечує побудування точних кривих взаємодії. Розрахунок міцності стержневих елементів конструкцій при роботі в області обмежених пластичних деформацій потребує розв'язку питання про пристосування перерізів до навантаження різними комбінаціями згинального моменту та поздовжньої сили. Границі змінення зовнішніх зусиль, до яких пристосовується най-

більш навантажений переріз, при повторному прикладенні зусиль можуть бути знайденими за умовою, що деформації у перерізі не перевищують граничних. За обмеження величини граничної пластичної деформації на першому етапі навантаження прийнято значення  $\varepsilon_{ip,lim} = 0,002$  за наступними твердженнями: пластичні складові деформації не більше 0,002 не впливають помітно на ударну в'язкість та не погіршують властивості тривкості сталі; незначна величина пластичної складової деформації  $\varepsilon_{ip,lim}$  забезпечує можливість пристосування конструкцій при рухомих та змінних навантаженнях, величина пластичної складової деформації 0,002 дає підвищення тривалої тримкості, яке наближається до підвищення при пластичному шарнірі.

Область взаємодії поздовжньої сили  $N$  та згинального моменту  $M$ , які забезпечують пристосування переріза, відображаються нерівностями  $N_{GP}^S \leq N \leq N_{GP}^R$ ,  $0 \leq M \leq M_{GP}$ , де  $N_{GP}^S$ ,  $N_{GP}^R$  — гранична стискувальна та гранична розтягувальна поздовжні сили,  $M_{GP}$  — граничний згинальний момент.

Як найбільш типовий розглядався випадок, коли на першому етапі навантаження задана величина пластичної деформації досягається у верхніх волокнах найбільш навантаженого перерізу і викликана дією стискуючої поздовжньої сили та зосередженою силою. При розрахунку для першого етапу навантаження значення граничних стискувальної та розтягувальної сил знаходились безпосередньо за заданими площами верхньої полки, стінки та нижньої полки, розрахунковий опором матеріалу полок та стінки перерізу, при цьому розглядались окремо як сталеві, так і бісталеві перерізи. Значення граничного моменту  $M_{GP}$  на першому етапі навантаження знаходиться відповідно до методики, що викладена в роботі [1], тобто визначається за епюрою напружено-деформованого стану перерізу з урахуванням можливих випадків перевищення меж пружності у різних точках перерізу. На відміну від області взаємодії, яка забезпечує пружну роботу і має лінійний вигляд, область взаємодії за припущенням досягнення граничної пластичної деформації має криволінійні межі та поширюється відповідно до збільшення допус-

**Вісник аграрної науки Причорномор'я,** \_\_\_\_\_  
**Випуск 4, 2006**

тимого граничного моменту. Значення  $M_{ГР}$  визначались за епюрами напружено-деформованого стану, які будувались для значень поздовжньої сили  $N$ , де  $N/N_{ГР} = 0; \pm 0,1; \pm 0,2; \dots; \pm 0,9$ . При прикладенні на другому етапі навантаження заданої стискуючої (розтягуючої) поздовжньої сили  $N_2$  та згинального моменту  $M_2$  для пристосування перерізу необхідно, щоб, відповідно до статичної теореми про пристосування, сумарні напруження у волокнах перерізу не перевищували різниці між розрахунковим опором та залишковими напруженнями, тому для визначення значень граничних зовнішніх зусиль попередньо було побудовано епюри залишкових напружень згідно з методикою, що викладена в роботі [2].

Оскільки у залишковій епюрі максимальні значення напружень досягаються у точках перегину, при прикладенні повторних зусиль напруження у цих точках можуть перевищувати границю текучості, отже перевіріці на виконання умов статичної теореми про пристосування підлягають верхні та нижні волокна перерізу, а також точки  $X_1$  і  $X_2$ . Згідно з цим, для визначення граничних значень згинального моменту та поздовжньої сили на другому етапі навантаження використовується ітераційний алгоритм, який послідовно застосовується для значень поздовжньої сили  $N_2/N_{ГР} = 0; \pm 0,1; \pm 0,2; \dots; \pm 0,9$ , де  $N_{ГР2}$  — гранична поздовжня сила, яка може бути прикладеною на другому етапі навантаження без порушення умов пристосування перерізу. Значення  $N_{ГР2}$  знаходилось для величини згинального моменту  $M_2 = 0$  окремо для стискуючої та розтягувальної граничної сили у випадку односторонньої текучості на першому етапі навантаження та у випадку двосторонньої текучості на першому етапі навантаження. Максимальне значення граничного згинального моменту, до якого пристосується переріз при заданому значенні поздовжньої сили, знаходилось за ітераційним алгоритмом.

Результатом використання цієї методики є встановлення області взаємодії згинального моменту та поздовжньої сили, які забезпечують пристосування перерізу на другому етапі навантажен-

ня. Викладена методика побудування епюр напружено-деформованого стану перерізів використовувалась для дослідження пристосування перерізів на наступних циклах навантаження

#### ЛІТЕРАТУРА

1. 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.

2. Шибанін В.С., Богза В.Г., Цепуріт О.В. Теоретико-експериментальне дослідження роботи бісталевих стержнів симетричного перерізу при повторно-змінних навантаженнях за межею пружності // Металеві конструкції. – № 1, Т.2 – 1999.

3. Цепуріт О.В. Пристосування моносталевих стержнів симетричного перерізу при повторно-змінних навантаженнях в області обмежених пластичних деформацій // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 1999. – Вип 1(6).

4. Веремеенко Н.А. Прочность сжато-изогнутых и растянутоизогнутых стальных стержней при ограниченных пластических деформациях: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01. – Одесса, 1987.