5. Тихонов О.М. Інформаційні технології та телекомунікації в освіті і науці (IT & T ES'2007): Матеріали міжнародної наукової конференції, ФДМ ДНДІ ІТТ "Інформіка". - М.: ЕГРІ, 2007. - 222 с.
6. Зайцева С. А., Іванов В. В. «Інформаційні технології в освіті».

УДК 624.072.014

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ СТАЛЕВИХ І БІСТАЛЕВИХ СТЕРЖНІВ В ОБЛАСТІ ОБМЕЖЕНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Цепуріт О.В., *старший викладач*
Миколаївський національний аграрний університет

Розглянуто методику розрахунку прогинів стержневих елементів моно- и бісталевих конструкцій в області пластичних деформацій при дії різних комбінацій зовнішніх зусиль, зокрема, при дії повторно-змінного навантаження.

Рассмотрена методика расчета прогибов стержневых элементов моно- и бисталевих конструкций в области пластических деформаций при воздействии различных комбинаций внешних усилий, в частности, при действии повторно-переменной нагрузки.

Проводився розрахунок міцності бісталевих стержнів різної довжини при навантаженні зосередженою силою при стискувальній або розтягувальній поздовжній силі N для різних величин граничної пластичної деформації $\varepsilon_{ip,\lim}$ та різним степенем асиметрії перерізу A_3 / A_1 - від 0,5 до 1.

Проводився розрахунок бісталевого стержня з прольотом $l =$ 1200 см. Асиметричний переріз прийнято з наступними вихідними даними:

$$A_1 = 100 см^2,\ A_2 = 120 см^2,\ A_3 = 50 см^2,\ h = 100 см,\ E = 2100000 кГ / см^2,$$

$$R_W = 2350 кГ / см^2, R_f = 4350 кГ / см^2.$$

Порівнюючи напружено-деформований стан бісталевого стержня з моносталевим, можна відмітити, що характер епюр згинальних моментів і деформацій є подібним. Відмінність полягає у тому, що для моносталевих перерізів обмежені пластичні деформації виникають у верхній частині стінки та у верхній полці, для бісталевих утворюється ділянка пластичної роботи верхньої частини стінки, причому верхня полка працює пружно.

При розрахунку за деформованою схемою величина прогинів на першому етапі навантаження склала $y_{\max} = 4{,}54 см$, пружна його частина $y = 3{,}22 см$, залишковий прогин набув значення $y_{зал} = 1{,}32 см$.

На другому етапі навантаження аналогічною комбінацією зусиль прогин у найбільш навантаженому перерізі досяг значення $y_{\max} = 4{,}58 см$, залишковий прогин $y_{зал} = 1{,}36 см$. На третьому етапі навантаження максимальне значення прогину досягло $y_{\max} = 4{,}60 см$, залишковий прогин склав $y_{зал} = 1{,}38 см$. На четвертому та наступних етапах навантаження істотного росту прогинів за рахунок викорис.тання деформованої схеми не спостерігається, тобто процес накопичення прогинів має затухаючий характер.

Виходячи з вищенаведеного аналізу, видно, що особливістю розрахунку міцності складених перерізів бісталевих балок, на відміну від моносталевих, є те, що при цьому розвиток пластичних деформацій можна враховувати двома способами:

1) пластичні деформації враховуються тільки в стінках балок за рахунок різниці границь текучості матеріалів стінок і полок при збереженні роботи матеріалу полок в пружній стадії, що відповідає нормам граничних величин інтенсивностей пластичних деформацій;

2) розвиток пластичних деформацій дозволяється не тільки в стінках, але і в полках, які виконані при цьому із сталі більш високої міцності в порівнянні із стінкою, що відповідає, згідно рекомендацій.

Другою особливістю викорис.тання викладеної методики розрахунку складених перерізів бісталевих стержнів, не зважаючи на аналогічність умов і методики компонування із моносталевими, є те, що вона дозволяє розв'язати проблему вибору марок сталей, або співвідношень розрахункових міцностей матеріалу стінки і полок. Виходячи із доцільності врахування розвитку пластичних деформацій, який забезпечує виконання умови максимально повного викорис.тання несучої здатності сталі полок і стінки, та зважаючи на спільність деформацій в місці з'єднання полки із стінкою, гранична величина пружної деформації полки повинна бути меншою або рівною граничного значення повної деформації стінки, тобто до досягнення у верхній і нижній частинах стінки граничних інтенсивностей пластичних деформацій, полки повинні ввійти в пластичну стадію роботи. Вище приведену умову можна записати в такому виді:

$$\frac{R_f}{E} \le \frac{R_W}{E} + \varepsilon_{ip,\lim}.$$

Ця залежність дає можливість визначити максимально допустиме значення розрахункової міцності полки R_f, при якому можливий перехід в пластичну стадію роботи, при відомому значенні R_W і $\varepsilon_{ip,\lim}$. Теоретичні розрахунки показали, що при складному опорі з ростом розрахункового опору R_f сталі полок граничний згинаючий момент $M_{\lim}$, що витримує двотавровий переріз бісталевого стержня, монотонно зростає на всьому проміжку зростання R_f, при цьому значення поздовжньої сили має більший вплив на величину згинаючого моменту в порівнянні із моносталевими.

Для перевірки та удосконалення методики розрахунку міцності стержневих елементів металевих конструкцій при повторно-змінних навантажуваннях у 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.

З урахуванням теореми про пружній 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. Як відомо, для практичного розрахунку стержнів, які працюють з поздовжньою силою та згинальним моментом, потрібно виконання перевірки міцності та стійкості.

Перша умова перевірялась згідно нерівності:

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M\nu}{C_N I} \leq R_y \gamma_c ,$$

де: C_N - коефіцієнт врахування обмеженого розвитку пластичних деформацій, γ_c - коефіцієнт умов роботи стержня.

$$\nu = \frac{M_{d\lim}}{M_{\max}} \;\; ,$$

де: $M_{d\lim}$ - максимальне значення моменту, знайдене за деформованою схемою, $M_{\max}$ - максимальне значення моменту, знайдене без урахуваннядеформованої схеми.

Для виконання ітераційним методом розрахунку значень прогинів у стержні при дії заданої поздовжньої сили N та граничного згинального моменту $M_{\lim}$ за вихідні дані взято:

- довжину стержня l та число $m = 2n$ розбиття вісі стержня на відрізки;
- висоту стінки стержня h;
- площини стінки A_2, більшої (верхньої) полки A_1 і меншої (нижньої) полки A_3;
- розрахунковий опір матеріалу стінки і полок;
- схему навантаження з визначенням величини навантаження N і F;
- величину обмеженої пластичної деформації $\varepsilon_{ip,\lim}$.

Для побудови вихідної епюри згинальних моментів з пружно-пластичного розрахунку перерізу стержня при заданій поздовжній силі N

визначається максимальний згинальний момент $M_{\lim}$ у найбільш навантаженому перерізі стержня, у якому величина пластичних деформацій набуває значення $\varepsilon_{ip,\lim}$. На першому кроці епюра згинальних моментів за деформованою схемою M_d приймається рівною граничній епюрі моментів M, яку одержано за недеформованою схемою за умовою, що $M_{\max} = M_{\lim}$, та виконуються наступні дії. Визначаються перерізи, у яких величина згинального моменту перевищує значення найбільшого моменту M_S, який відповідає пружній роботі матеріалу за умовою $M_S < M_{d\,i} < M_{\lim}$, де: i - номер перерізу стержня.За одержаними епюрами нормальних напружень у кожному з перерізів знаходяться повні кривини $\chi_i = (\varepsilon_{Bi} - \varepsilon_{H\,i})$, де: ε_{Bi} і $\varepsilon_{H\,i}$ - крайові відносні здовження відповідно у верхній та у нижній частинах перерізу, які беруться зі своїми знаками. При роботі матеріалу стержня у межах пружності, тобто при $M_{di} \le M_S$, повна кривизна у перерізі $\chi_i = M_{d\,i} / (EI)$. За формулою Мора обчислюються величини прогинів $y_i = \int_0^1 \overline{M}_i \chi dl, \quad i = 1,2,...,m-1$, де: $\overline{M}_i$ - згинаючий момент від одиничного навантаження, яке прикладене у i-му перерізі стержня у напрямку прогину, причому ці інтеграли можуть бути обчисленими за відомими наближеними методами, наприклад за формулою Симпсона, яка з урахуванням того, що $\overline{M}_{i,o} = \overline{M}_{i,m} = 0$ надає наступні вирази для обчислення повних прогинів:

$$y_i = \frac{2\Delta l}{3}\left(\sum_{k=1}^{n-1} \overline{M}_{i,2k}\,\chi_{2k} + 2\sum_{k=1}^{n} \overline{M}_{i,2k}\,\chi_{2k-1}\right),$$

де: $\Delta l = l / m \quad (m = 2n), \quad i = 1,2,...,m-1 \quad , \; y_0 = y_m = 0$.

За приведеним алгоритмом було виконано розрахунки для випадків прикладення зосередженої сили з переміщенням вздовж стержня та поздовжньої сили:

$$N = 0; \pm 0{,}1; \pm 0{,}2; ...; \pm 0{,}9 N_{\lim},$$

$$N_{\lim} = (A_1 + A_2 + A_3) R_W,$$

та одержано значення прогинів y і y кожній точці розбиття стержня за умовою досягнення у найбільш навантаженому перерізі граничної пластичної деформації $\varepsilon_{ip,\lim}$.

При використанні різних форм кривих, рівняння яких було одержано із застосуванням метода найменших квадратів та інших чисельних методів, було виявлено, що найбільш точну математичну модель стержня надає крива, яка має аналітичне відображення у виді:

$$y = \begin{cases} y_{\max} \sin \dfrac{\pi x}{2x_m}, \ при \ \ x \le x_m \\ y_{\max} \sin \dfrac{\pi(l - x)}{2(l - x_m)}, \ при \ \ x \ge x_m \end{cases},$$

де: $y_{\max}$ - максимальне значення прогину у стержні, x_m - відстань від лівого кінця стержня до точки, у якій досягнуто найбільший прогин. Встановлено, що значення $k_m = \dfrac{x_m}{l}$ не залежить від довжини стержня та набуває значення відповідно точці $k_p = \dfrac{x_p}{l}$ прикладення зосередженої сили. Для визначення відповідної аналітичної залежності $k_m = f(k_p)$ проводилось умовне розбиття стержня з кроком, рівним 0,05 довжини стержня та розрахунок прогинів у перерізах, викликаних прикладенням зосередженої сили у цих точках у сполученні з поздовжньою силою $N = 0; \pm 0{,}1; \pm 0{,}2; ...; \pm 0{,}9 N_{\lim}$. Одержані чисельні значення з'явилися вихідним матеріалом для знаходження рівняння вказаної функціональної залежності.

Для визначення величини максимального прогину, наданої у рівнянні, застосовувались відомі залежності для визначення максимальних прогинів при пружній роботі елементів конструкцій.

При цьому використовувався корегуючий коефіцієнт, для визначення якого було проведено аналіз характеру зміни величини відношення:

$$\mu_i = \frac{y_{pi}}{y_{di}},$$

де: y_{pi} - прогин у i-му перерізі, який обчислено при умові пружно-пластичної роботи матеріалу при прикладенні зовнішніх зусиль за вказаною схемою, y_{di} - прогин у i -му перерізі, який обчислено за умовою необмежено пружної роботи матеріалу.

Основна відмінність розрахунку міцності бісталевих стержнів від моносталевих полягає у визначенні напружено-деформованого стану перерізів:

- для бісталевих стержнів можливі п'ять випадків напружено - деформованого стану перерізів, для моносталевих - три;

- розвиток граничної пластичної деформації для бісталевих стержнів досягається у верхній та нижній частинах стінки, для моно сталевих - у нижній або верхній полці;

- при обчисленні значень прогинів у бісталевому стержні враховуються початкові напруження σ_H^0 і σ_B^0.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурковский И.Д., Веремеенко Н.А., Лутченко С.А., Чернов Н.Л., Шебанин В.С. Методика расчета прочности стальных стержней с учетом деформированной схемы // Информационный листок о научно техническом достижении №87 - 1256. - М.: ВИМИ, 1987.
2. Чернов Н.Л., Шебанин В.С, Бурковский И.Д. Расчет бистальных элементов стержневых конструкций при учете ограниченных пластических деформаций и деформированной схеми // Строительная механика корабля.Сб. научных трудов / Николаевский кораблестроительный институт. - Николаев, 1987. - С. 91-98.
3. Рекомендации по расчету стальных конструкций на прочность по критериям ограниченных пластических деформаций. - 2-е изд. -М.: ЦНИИПроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова, 1985. - 48 с.
4. СниП П-23-81*. Строительные конструкции. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1982. - 93 с.

5. СНиП П-А. 10-71. Строительные конструкции и основания. Основные положення проектирования. -М.: Стройиздат, 1975. - С. 4-9.

УДК 534.121

ДИНАМІКА РАДІАЛЬНИХ ПУЛЬСАЦІЙ СФЕРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ З РІДИНОЮ

***Шептилевський О.В.**, асистент*
Миколаївський національний аграрний університет

Розроблено математичну модель динамічної системи, що складається з сферичної оболонки постійної товщини, що заповнена рідиною з бульбашкою газу в центрі. Математична модель враховує можливість відсутності центральної симетрії.

Разработана математическая модель динамической системы, которая состоит из сферической оболочки постоянной толщины, заполненная жидкостью с газовой полостью в центре. Математическая модель учитывает возможность отсутствия центральной симметрии.

Розглянута система часто зустрічається в різних галузях науки і техніки, зокрема при зберіганні скрапленого газу під тиском і легко займистих речовин, застосовують сферичні резервуари. Сферичні ємності входять до складу устаткування технологічних ліній в хімічній промисловості. В атомній енергетиці широко застосовуються сферичні оболонки атомних реакторів.

Метою даної роботи є побудова математичної моделі для дослідження процесів, що виникають у динамічній системі, що з сферичної оболонки, заповненої рідиною, з бульбашкою газу в центрі за умови відсутності центральної та осьової симетрії.

При побудові математичної моделі використовували гіпотези Кірхгофа-Лява. Ці припущення дозволили розглядати переміщення в кожній точці оболонки, а також визначити напруги (σ_{ij}) через переміщення серединної поверхні. Вважали оболонку тонкої, однак, у зв'язку з тим, що вона закріплена в полюсах, в моделі враховували моментні складові. Матеріал оболонки абсолютно пружний.