

УДК 624.072.014

**РОЗМЕЖУВАННЯ ОБЛАСТЕЙ ПО РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ТА
ЖОРСТКОСТІ СТИСНУТО-ЗІГНУТИХ СТЕРЖНІВ З
ВРАХУВАННЯМ ДЕФОРМОВАНОЇ СХЕМИ В ОБЛАСТІ ОБМЕЖЕНИХ
ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ.**

В.С.ШЕБАНІН, І.І.ХИЛЬКО

Під граничним станом конструкції розуміють такий її стан, при якому вона втрачає здатність чинити опір зовнішньому навантаженню або перестає задовольняти експлуатаційні вимоги.

Розрізняють три вида граничних станів:

а) перший граничний стан - за несучою здатністю (міцністю, стійкістю);

б) другий граничний стан - за розвитком надмірних деформацій (прогинів, перекосів);

в) третій граничний стан - за утворенням або розкриттям тріщин.

Розрахунки за граничними станами широко використовуються при проектуванні металевих конструкцій, так як вони дають змогу використати резерви міцності і зменшити вагу конструкції.

В даній роботі розглядаються деякі питання зв'язані з першим та другим граничними станами. Як відомо, в більшості практичних розрахунків стержнів, які працюють на згин з поздовжньою стискуючою силою, потрібно виконувати розрахунок як на перевірку міцності так і жорсткості. Метою даного дослідження є розробка методики розмежування областей по розрахунку міцності та жорсткості стиснуто-зігнутих стержнів з врахуванням деформованої схеми в області обмежених пластичних деформацій.

При розрахунку міцності стержнів з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності будемо використовувати формулу [1]

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

де C_N - коефіцієнт який враховує обмежений розвиток пластичних деформацій; γ_c - коефіцієнт умов роботи стержня;

$\nu = \frac{M_d^{\max}}{M^{\max}}$ - коректуючий множник, який враховує вплив деформованої схеми.

А при перевірці жорсткості стержня будемо виходити з умови, що відносний прогин стержня $\frac{f}{l}$ під навантаженням не повинен перевищувати нормативного, який залежить від призначення балки, тобто $\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right]$.

Розраховуючи міцність стержнів, будемо використовувати наступний критерій міцності - обмеження пластичної складової інтенсивності деформації [2] величиною $\varepsilon_{ip,lim} = 0.2\%$.

При розрахунку будемо виходити з наступних припущень: деформаційної теорії пластичності, ідеалізованої діаграми Прандтля, гіпотези плоских перерізів. Для знаходження напружено-деформованого стану стержня за межами пружності з врахуванням деформованої схеми обмеження пластичних деформацій дає можливість застосувати ефективний метод поновлення їх граничної величини $\varepsilon_{ip,lim}$ на кожному кроці ітераційного процесу [3], гарантуючи збіг і ефективно зменшуючий кількість послідовних наближень, за рахунок того, що на кожному кроці послідовних наближень створюється стан стержня близький до остаточного.

Виходячи з геометричних розмірів стержня і діючих сил, будується математична модель стержня для подальшого її розрахунку за допомогою ПЕОМ, внаслідок великої кількості математичних обчислень. Як відомо, без врахування деформованої схеми в стержні розвиваються згинаючі моменти M , а з її урахуванням

$$M_d = M - N \cdot Y.$$

Розглянемо це більш детально.

Алгоритм знаходження напружено-деформованого стану методом поновлення починається з розрахунку стержня по недеформованій схемі в межах пружності. На першому кроці ітераційного процесу шукана еюра згинальних моментів за деформованою схемою M_{di} покладається рівною епюрі моментів M , визначеній за недеформованою схемою, при умові, що

$$M^{\max} = M_{lim},$$

де M_{lim} - максимальний згинальний момент в найбільш навантаженому перерізі стержня, в якому величина пластичних деформацій приймає своє граничне значення $\epsilon_{ip,lim}$.

Потім визначаються перерізи, в яких виконується нерівність

$$M_{SN} < M_{di} < M_{lim},$$

де i - номер перерізу стержня в області обмежених пластичних деформацій; M_{SN} - найбільший момент, обчислений в межах пружності при дії сили N .

Для кожного i -го перерізу ітераційними методами, розглянутими в [4], будується еюра нормальних напруг σ_i , з врахуванням усіх характерних випадків, які можливі при рішенні прямої задачі.

Використовуючи одержані значення нормальних напруг σ_i в кожному перерізі, визначаються спочатку повні кривизни χ_i , а потім за методом Мора величини повних прогинів Y_i [5]

$$Y_i = \int_0^l \bar{M}_i \chi dl,$$

де \bar{M}_i - еюра згинальних моментів від одиничного навантаження, прикладеного в i -му перерізі. Застосовуючи для чисельного інтегрування формулу Сімпсона можна записати, що

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

де $\Delta l = \frac{l}{m}$ ($m = 2n$); $i = 1, 2, \dots, m-1$ ($Y_0 = Y_m = 0$).

Використовуючи одержані результати, вносяться зміни в вид попередньої еюри згинальних моментів $M_{d(k-1)}$ (k - номер ітерації) з використанням методу послідовних наближень - поновлення граничної величини пластичної деформації на кожному кроці ітераційного процесу, який зводиться до вимоги, щоб в найбільш навантаженому перерізі стержня згинальний момент $M_{d(k)}^{max}$, визначений з врахуванням деформованої схеми дорівнював би граничному моменту M_{lim} , і будується еюра згинальних моментів наступної деформації за деформованою схемою

$$M_{di} = M_{pi} - N \cdot Y_i,$$

де M_{pi} - еюра згинальних моментів від поперечної сили, Y_i - прогин в найбільш навантаженому перерізі, N - значення поздовжньої сили. Даний процес продовжується до досягання необхідної точності, і вже на 3-4 ітерації точність досягає 0.1% . Результатом першого етапу є величина прогину f в найбільш навантаженому перерізі заданого стержня.

На другому етапі визначається відносний прогин стержня $\frac{f}{l}$, який і порівнюється з заданим нормативним значенням в залежності від призначення стержня. Розрахунок проводиться до одержання таких граничних навантажень, при яких відносний прогин $\frac{f}{l}$ не перевищував би заданого значення $\left[\frac{f}{l} \right]$. Це досягається за рахунок пропорційної зміни поздовжньої сили N і поперечної сили P .

Дана методика була реалізована на ПЕОМ в алгоритмічній мові ТУРБО СІ. Вона дає можливість виконати розмежування областей по розрахунку стиснуто-зігнутих стержнів на дві області: перша - область в якій розрахунок виконується на міцність, друга - на жорсткість. Для цього при фіксованих значеннях геометрії перерізу, розрахункових опорах матеріалу і величині пластичної деформації $\epsilon_{ip,lim} = 0,002$ було виконано розрахунок стержнів середньої гнучкості λ в межах від 30 до 75, які найбільш часто використовуються.

Даний розрахунок було виконано для трьох схем навантаження стержнів симетричного перерізу, відносний прогин яких був обмежений нормативною величиною $\frac{1}{200}$ і результати розрахунку приведені на рис.1. Крива 1 побудована для прикладеної однієї сили, крива 2 - для прикладених двох сил, крива 3 - для рівномірного навантаження стержня. Области розміщені вище вказаних кривих визначають розрахунок стержня на міцність, так як прогин уже забезпечений, а області розміщені нижче - на жорсткість. В залежності від схеми навантаження відповідні області змінюють свої розміри.

Схеми навантаження

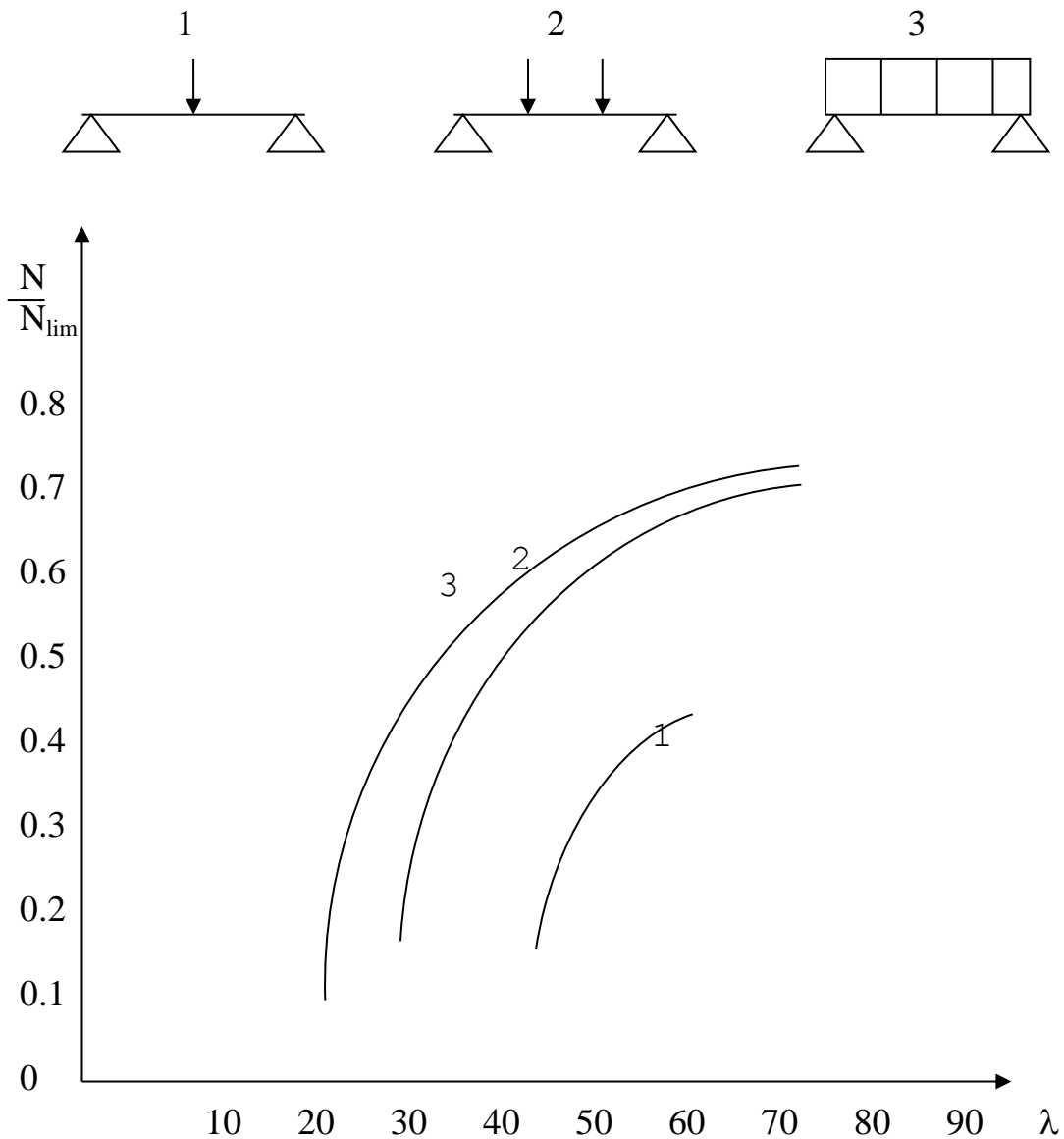


Рис. 1. Области розмежування розрахунку міцності та жорсткості стиснуто-зігнутих стержнів.

ВИСНОВКИ:

- врахування деформованої схеми суттєво впливає на дійсні згинальні моменти у порівнянні з розрахунком по недеформованій схемі, тому вплив деформованої схеми повинен бути врахований при розрахунках;
- запропонована методика дозволяє одержати розмежування областей по розрахунку міцності та жорсткості стержнів середньої гнучкості λ з урахуванням деформованої схеми в області обмежених пластичних деформацій.

Література

- [1]. Рекомендации по расчету стальных конструкций по критерию ограниченных пластических деформаций. ЦНИИПСК. М., 1985, с.3-4.
- [2]. 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, N 7, с.1-9.
- [3]. Чернов Н.Л., Шебанин В.С. Расчет прочности статически неопределимых систем при ограниченных пластических деформациях. Известия вузов. Машиностроение. 1986, N 4, с.3-6.
- [4]. Шебанин В.С. Прочность изгибаемых стальных стержневых конструкций при учете физической и геометрической нелинейности в области ограниченных пластических деформаций. Докторская диссертация. Одесса, 1993.
- [5]. Щербина Н.И. Определение прогибов в стальных балках при подвижных нагрузках в области малых пластических деформаций. - Известия вузов. Строительство и архитектура, 1978, N 4, с.14-19.