

ментів, які зазнають впливу малоциклового знакозмінного навантаження допустима.

1. Григорчук А.Б., Масюк Г.Х. Міцність та деформативність залізобетонних елементів, що піддаються дії знакозмінного навантаження // Збірник матеріалів конференції. Ч.1 "Будівництво". – Львів: Вид-во нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2001. – С. 29-34.

2. Масюк Г.Х., Григорчук А.Б. Напружено-деформований стан нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, що піддаються дії одноциклового знакозмінного навантаження. // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип.6. – Рівне, 2001. – С. 191-197.

3. Масюк Г.Х., Григорчук А.Б. Особливості деформування згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклового знакозмінного навантаження // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип.5. – Рівне, 2000. – С. 206-211.

Отримано 17.05.2002

УДК 624.014 : 69.059.3

М.Г. ЧЕРНЕНКО, канд. техн. наук

Українська державна академія залізничного транспорту, м.Харків

## ПРО ОДИН ПІДХІД ДО ОПТИМАЛЬНОГО ПІДСИЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ

Розглядається підхід до оптимального підсилення статично невизначних стержневих конструкцій шляхом збільшення перерізів елементів, що ґрунтується на використанні поняття функціональних залежностей між геометричними характеристиками перерізів.

Підсилення конструкцій може здійснюватися введенням попереднього напруження за допомогою високоміцних затяжок, попереднім вигином конструкції, регулюванням внутрішніх сил в нерозрізних системах шляхом зміни рівня опор та деякими іншими способами. Нижче розглядається підхід до підсилення статично невизначних стержневих конструкцій шляхом збільшення перерізів стержнів. Вказаний метод підсилення застосовується у випадках, коли несуча здатність конструкції визначається міцністю чи стійкістю декількох стержнів. Найбільш розповсюджені схеми підсилення перерізів елементів наведені в [1].

Задача оптимального підсилення конструкцій ставиться наступним чином. Треба призначити таке підсилення елементів конструкції, для якого приріст функції теоретичної маси

$$\Delta G(A_1, \dots, A_n) = \rho \sum_{i=1}^n l_i (A_i - A_{ic}) \quad (1)$$

є мінімальним при задоволенні обмеженням на напружено-деформований стан

$$f_j(x) = \frac{|M_j|}{W_j} + \frac{|N_j|}{\varphi_j A_j} - R_j \leq 0, \quad (2)$$

$$f_k(x) = |Z_k| - \Delta_k \leq 0 \quad (3)$$

і конструктивним вимогам

$$A_i - A_{ic} \geq 0, \quad (4)$$

де  $A_{ic}$  – площа перерізу  $i$ -го стержня до підсилення.

Оскільки при оптимізації для кожного перерізу треба знати площу, момент інерції і момент опору, для зменшення числа змінних проектування використовується поняття функціональних залежностей між геометричними характеристиками. Наприклад, в просторі моментів опору перерізів стержнів ці залежності мають вигляд

$$I = I_0 w^\psi, \quad A = A_0 w^\eta, \quad (5)$$

де  $w$  – відносний момент опору перерізу стержня:  $w = W/W_0$ ;  $W_0$ ,  $I_0$  і  $A_0$  – одиниці довжини на координатних осях  $OW$ ,  $OI$  та  $OA$ ;  $\psi$  і  $\eta$  – параметри функціонального зв'язку.

Значення  $W_0$  вважається таким, що дорівнює одиниці. Тоді одиниці довжини  $I_0$  і  $A_0$  не залежать від величини параметрів  $\psi$  і  $\eta$ . Функціональний зв'язок між геометричними характеристиками перерізу конкретного елемента системи залежить від способу його підсилення.

На рис. 1 показано деякі можливі схеми підсилення балок з двотавровими перерізами. Способи підсилення перерізів із застосуванням рівнополичних кутиків, наприклад, за схемами рис. 1, а, з, є характерними обмеженням діапазоном зміни площі підсилення і з точки зору практичного використання в задачах оптимального підсилення не є зручними, оскільки можливий діапазон зміни площ елементів при цьому заздалегідь невідомий.

У загальному випадку залежності між геометричними характеристиками перерізів не належать до степеневих. Але в більшості випадків ці залежності можна апроксимувати з достатньою для практичних обчислень точністю степеневими функціями. Тоді для визначення па-

раметрів  $\psi$  і  $\eta$ , а також одиниць довжини  $I_0$  і  $A_0$  можна використати, наприклад, метод середніх. Для цього складається декілька варіантів підсилення заданого перерізу з обчисленням геометричних характеристик  $I$ ,  $W$  і  $A$ . Далі число варіантів розподіляється на підгрупи приблизно з однаковим числом перерізів і обчислюється

$$\psi = \frac{\frac{1}{n-m} \sum_{i=m+1}^n \ln I_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln I_i}{\frac{1}{n-m} \sum_{i=m+1}^n \ln W_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln W_i}, \quad (6)$$

$$\ln I_0 = \frac{\left( \frac{1}{n-m} \sum_{i=m+1}^n \ln W_i - \ln W_0 \right) \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln I_i - \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln W_i - \ln W_0 \right) \frac{1}{n-m} \sum_{i=m+1}^n \ln I_i}{\frac{1}{n-m} \sum_{i=m+1}^n \ln W_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \ln W_i}, \quad (7)$$

де  $n$  – загальне число перерізів;  $m$  – число перерізів у першій підгрупі.

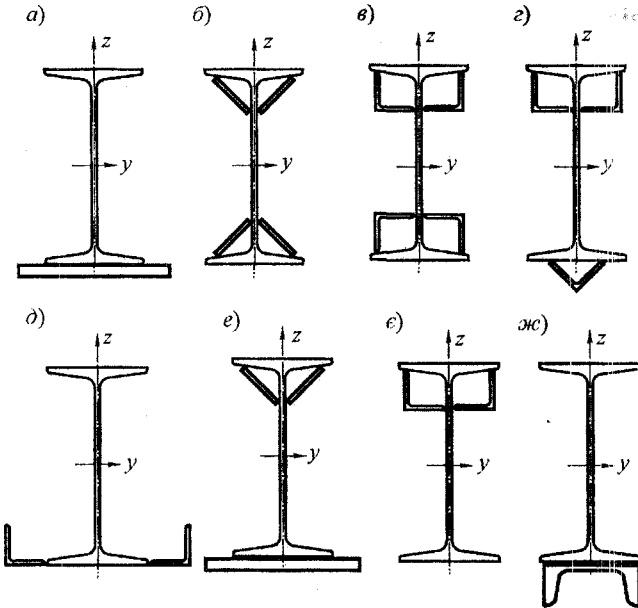


Рис. 1 – Деякі варіанти підсилення балочних елементів конструкцій

Для обчислення величини параметра  $\eta$  і одиниці довжини  $A_0$  треба в формули (6) і (7) замість величини моментів інерції підставити значення площ перерізів стержнів.

З метою ілюстрації зазначеного підходу розглядається задача оптимального підсилення статично невизначної двотаврової балки, зображеної на рис.2, у зв'язку зі збільшенням величини експлуатаційного навантаження. Розрахунковий опір матеріалу  $R_y=210$  МПа. Для визначення геометричних характеристик перерізів в оптимальному розв'язанні використовувався підхід, розглянутий в [2].

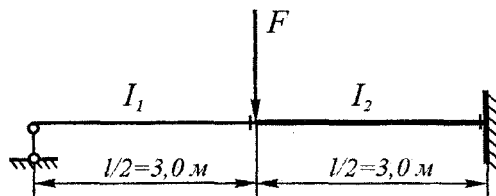


Рис. 2 – Розрахункова схема підсилюваної балки

Спочатку була проведена мінімізація маси балки для початкового навантаження  $F=40$  кН і функціональних залежностях, що відповідають прокатним двотаврам ГОСТ 8239-89:  $\psi =1,429$ ;  $\eta=0,588$ ;  $I_0=1,059$  см<sup>4</sup> і  $A_0=1,286$  см<sup>2</sup>. При цьому геометричні характеристики перерізів балки в оптимальному розв'язанні склали:  $I_1=1496,31$  см<sup>4</sup>,  $I_2=2725,04$  см<sup>4</sup>,  $W_1=161,85$  см<sup>3</sup>,  $W_2=245,99$  см<sup>3</sup>,  $A_1=25,90$  см<sup>2</sup>,  $A_2=33,12$  см<sup>2</sup>, а значення теоретичної маси балки – 0,139 Мг. Одержаним значенням змінних проектування з мінімальним запасом міцності задовольняють двотаври №20 і №24 відповідно з площею перерізу 26,8 см<sup>2</sup> і 34,8 см<sup>2</sup>.

Потім навантаження на балку було збільшено до  $F=60$  кН, а варіант підсилення перерізів обрано за схемою, зображеною на рис.1, а. У таблиці наведено характеристики функціонального зв'язку для цього способу підсилення залежно від номера двотавра, що підсилювався. У результаті оптимального підсилення значення геометричних характеристик склали  $I_1=2419$  см<sup>4</sup>,  $I_2=4474$  см<sup>4</sup>,  $W_1=242$  см<sup>3</sup>,  $W_2=373$  см<sup>3</sup>,  $A_1=34,23$  см<sup>2</sup>,  $A_2=43,54$  см<sup>2</sup>, а теоретична маса конструкції збільшилась до 0,183 Мг. Прирошення площ перерізів склали відповідно

7,43 см<sup>2</sup> і 8,74 см<sup>2</sup>. Цим прирощенням площ відповідають підкріплюючі елементи у вигляді горизонтальних листів 80×10 мм<sup>2</sup> і 90×10 мм<sup>2</sup>.

Параметри функціонального зв'язку підкріплених перерізів

Переріз	$\psi$	$\eta$	$I_0, \text{см}^4$	$A_0, \text{см}^2$
Двотавр №20	1,002	1,010	9,879	0,134
Двотавр №24	0,997	0,940	12,201	0,167

Для порівняння розв'язків було розглянуто також варіант конструкції, коли при збільшеній величині навантаження значення геометричних характеристик визначалось шляхом оптимізації маси балки з використанням функціональних залежностей між геометричними характеристиками для прокатних двотаврів. У результаті оптимізації були одержані такі значення геометричних характеристик перерізів  $I_1=2674 \text{ см}^4$ ,  $I_2=4870 \text{ см}^4$ ,  $W_1=243 \text{ см}^3$ ,  $W_2=369 \text{ см}^3$ ,  $A_1=32,87 \text{ см}^2$ ,  $A_2=42,04 \text{ см}^2$ , а теоретична маса конструкції склала 0,176 Мг.

Порівняння розв'язків показує, що техніко-економічні показники перерізів, що застосовуються при підсиленні конструкцій, є дещо нижчими, оскільки збільшення геометричних характеристик перерізів у більшості випадків відбувається в умовах сталої висоти перерізів. Значення теоретичної маси підсилюючих елементів можна також зменшити, якщо передбачити підсилення перерізів балки лише на частині її довжини.

1. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. В. В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н. П. Мельникова). – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 528 с.

2. Черненко Н. Г. Некоторые особенности применения метода продолжения решения по параметру в задачах оптимизации конструкций // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1998. – №2. – С.7-12.

Отримано 17.05.2002

УДК 624.012

В.С.БАБИЧ

Рівненський державний університет водного господарства і природокористування

### ВПЛИВ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОГИНИ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

Наведено результати експериментальних досліджень нерозрізних двопрольотних залізобетонних балок при дії малоциклових навантажень. Встановлено, що при дії