

Я.Ф. Исследование работы железобетонных балок с неподвижными опорами // Научные записки Львовского политехнического института, №5, –1957. – С. 15–23. 5. Кінаш Р.І., Гладішев Д.Г. Натурні дослідження ригелів багатопверхових багатопролітних залізобетонних рам для виявлення розпирних зусиль на опорах ригелів // Збірн. наук. пр. “Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону”. Вип. 59. Кн. 2 – К.: НДІБК, 2003 – С. 124–130. 6. Кінаш Р.І., Гладішев Д.Г. Рекомендації до розрахунку залізобетонних згинаних елементів з урахуванням утворення розпирних зусиль в межах рамної системи. – Львів, 2004. – 49 с.

УДК 624.014.2

М.В. Гоголь

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

РОЗРАХУНОК БАЛКО-ФЕРМИ ПРИ РОБОТІ В ОБЛАСТІ ОБМЕЖЕНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

© Гоголь М.В., 2005

Описана розробка інженерного методу розрахунку прокатної нерозрізної балко-ферми при роботі в області обмежених пластичних деформацій. Показано, що використання критерію малих пластичних деформацій (менших або таких, що дорівнює 0,002) в статично невизначеній конструкції – балко-фермі для розрахунку нерозрізної прокатної балки жорсткості дасть можливість одержати рівномірність всіх елементів і забезпечить максимальну економію сталі.

In the article development of engineering method of calculation of rental uncut beam of inflexibility of beam farm is presented during work in the region of the limited plastic deformations. It is shown that the use of criterion of small plastic deformations (more small or even 0,002) in a statically indefinite construction – for the calculation of uncut rental beam of inflexibility will enable a beam farm to get the levels of durability of all elements and will provide the maximal economy of steel.

Постановка проблеми. Одним із можливих шляхів зменшення матеріалоємності несучих конструкцій є раціональне використання нових конструктивних геометричних форм, прокатних профілів, регулювання напружено-деформованого стану розрахунковим методом на стадії проектування [4, 6], а також сучасних методів розрахунку з врахуванням деформації систем і пластичних деформацій [5,8]. Наприклад, економія сталі під час використання сталевих стрижнів в області обмежених пластичних деформацій, згідно з даними [5], може становити від 5 % до 135 % залежно від конструктивних вимог та умов навантаження. Це використано в новій конструктивній формі комбінованих систем – балко-фермі [6].

Однак ще немає розробленої методики розрахунку такої ефективної конструкції [4] при роботі в області пластичних деформацій.

Відповідно до вимог БНіП П-23-81* [8,11] (п. 5.18) розрахунок на міцність розрізних балок суцільного перерізу із сталі з межею текучості до 580 МПа, на які діє статичне навантаження, потрібно виконувати (при дотриманні деяких конструктивних вимог) з врахуванням розвитку пластичних деформацій. Потрібне дають ЄКМК – європейські рекомендації і норми Канади [13, 14].

Метою роботи є розробка інженерного методу розрахунку прокатної нерозрізної балки жорсткості балко-ферми під час роботи в області обмежених пластичних деформацій.

Як підкреслюється в роботах [2,9] допуск обмежених пластичних деформацій економічно вигідний тільки для прокатних двотаврів за ГОСТ 26020-83 і ГОСТ 8239-72, які мають гнучкість стінки λ_w від 22 до 59, і швелерів за ГОСТ 8240-72, в яких гнучкість стінки змінюється від 19 до 45.

Розглянемо роботу запропонованої нами балко-ферми [6] в межах пружної роботи (рис.1,а) [4] під дією рівнорозподіленого навантаження. З метою виконання регулювання зусиль на стадії, проектування в балко-фермі система підвіски недовантажена приблизно на 20–30 % від нормативного, величина прогину системи становить до 50 % допустимого прогину $[f]$, а в прокатній балці жорсткості напруження в розрахункових перерізах рівні між собою і практично не перевищують межу пружної роботи сталі. Отже, на всі елементи балко-ферми є можливість збільшення навантаження (доводячи прогин системи до нормативного $[f]$, а відповідно напруження в балці жорсткості перейдуть в пружно-пластичну область і завантажиться система підвіски). Застосувавши метод рекомендації і змодельовавши балку жорсткості балкою на пружних опорах, а систему підкріплення – пружними опорами (рис. 1, б), одержимо розрахункову схему балко-ферми. Епюри M та N у балці жорсткості показані на рис. 1, в, г. Регулювання системи балко-ферми виконано так, щоб в розрахункових перерізах 1-1–3-3 (рис. 1, б) нормальні напруження від M і N були однакові, тобто з умови рівномірності перерізів балки жорсткості. У цьому і полягає майстерність регулювання зусиль у балці жорсткості, яка дозволяє одержати економічно вигідну у натурі конструкцію.

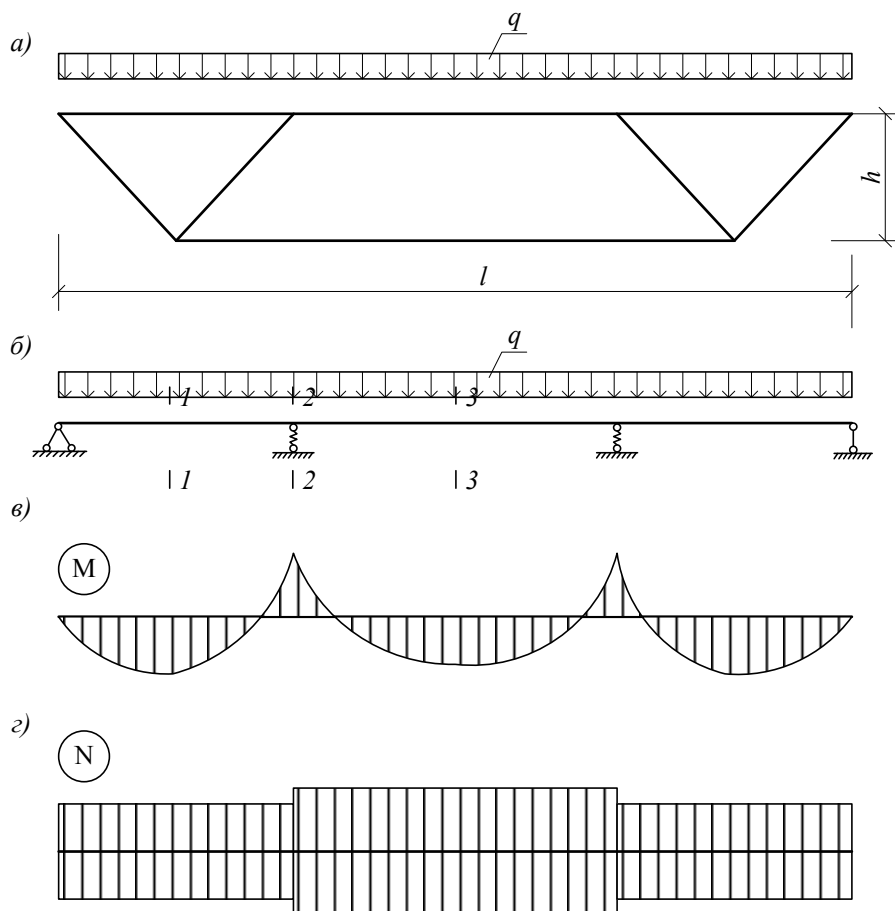


Рис. 1. а – схема балко-ферми; б – розрахункова схема комбінованих конструкцій;
в,г – епюри M і N

Викладення основної мети. Навантажимо балко-ферму до такої величини, щоб система одержала прогин $[f]$. Використовуючи ітераційний процес визначення цього прогину системи за формулою Мора [4], одержимо зусилля M і N в системі, які своєю чергою спричиняють пластичні деформації в балці жорсткості. Покажемо ці деформації і напруження в перерізах 1-1, 2-2, 3-3 на рис. 2.

У запропонованій методиці розрахунку балко-ферми під час роботи балки жорсткості в області обмежених пластичних деформацій використані такі передумови:

1) поздовжні відносні деформації ϵ розподіляються по висоті поперечного перерізу практичного двотавра (балки жорсткості) за лінійним законом;

- 2) нормальні напруження σ є функцією відносного видовження ε ;
- 3) вплив дотичних напружень на умову текучості не враховується;
- 4) залежності між навантаженнями і деформаціями є лінійними, тобто правомірно застосовувати принцип суперпозиції (незалежності дії сил);

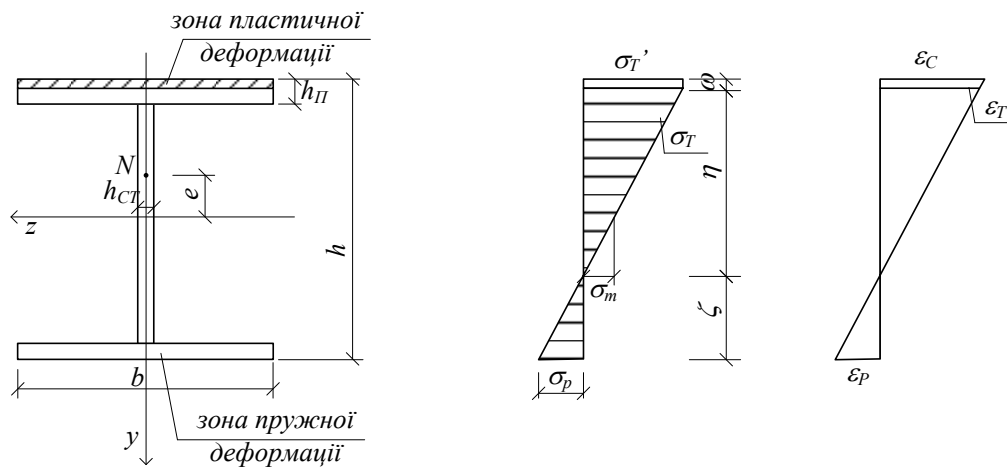


Рис. 2. Поперечний переріз і епюри σ і ε в балці жорсткості

5) допустима величина обмежених пластичних деформацій–критерій малих пластичних деформацій $\varepsilon_{ip, \text{lim}} \leq 0,002$ [9];

6) з метою виключення утворення шарніра пластичності в найбільше напруженому перерізі балки-жорсткості висота зони пластичності ξ , не перевищує висоту полочки двотавра;

7) моменти у балці жорсткості від дії нормальних сил в ній становлять не більше 1 % від моментів, зумовлених поперечними силами, що дозволяє моментами від нормальних сил нехтувати.

У всіх розрахункових перерізах балки жорсткості при симетричному навантаженні одночасно наступить однакова величина пластичних деформацій. Тому згідно з [7] при роботі матеріалу за межею пружності в нерозрізній балці жорсткості перерозподілу згинаючих моментів не проходить.

При використанні критерію малих пластичних деформацій для визначення зусиль у розрахунку міцності статично невизначених конструкцій (балко-ферми) фізичною нелінійністю можна нехтувати [7].

За даними [12] при граничній величині пластичної складової інтенсивності деформацій 0,02 (1-ша категорія конструкції) у всіх її точках необхідно враховувати зростання цієї складової інтенсивності деформацій за рахунок повторності навантажень, які дорівнюють 0,5. Проте за даними останніх досліджень [3] в області напружено-деформованого стану перерізів при повторному навантаженні в області обмежених пластичних деформацій з урахуванням залишкових напружень дозволяє зробити висновки про можливість пристосування стрижневих елементів сталевих конструкцій до дії певних комбінацій зовнішніх зусиль вже на 3–5 етапі навантаження.

Напруження σ_p , σ_T знаходимо за відомими M і N із виразу

$$\sigma = \left| \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \right|,$$

де σ_T – межа пропорціональності для заданої марки сталі.

Згідно з реальною діаграмою роботи сталі (σ - ε), наприклад з межею текучості $\sigma_{\text{тек}} = 240$ МПа, яка має лінійну ділянку при $\varepsilon < 0,8\sigma_{\text{тек}} / E$, криволінійну – на відрізку $0,8\sigma_{\text{тек}} / E \leq \varepsilon \leq 1,7\sigma_{\text{тек}} / E$ і площадку текучості при $\varepsilon > 1,2\sigma_T / E$ прийняту відповідно до рекомендацій [1] за відомими величинами σ_p , σ_T' і σ_T визначаємо ε_p , ε_c і ε_T .

Із рис.2. видно (відповідно до гіпотези плоских перерізів), що

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_T} = \frac{h - \eta - \xi}{\eta}, \quad (1)$$

а

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = \frac{h - \eta - \xi}{\eta + \xi}. \quad (2)$$

З виразів (1) і (2) отримуємо

$$\eta = \frac{\varepsilon_T (h - \xi)}{\varepsilon_p + \varepsilon_T} \quad (3),$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_p h - \varepsilon_p \xi - \varepsilon_c \xi}{\varepsilon_c + \varepsilon_p} \quad (4).$$

Прирівнюючи значення η із (3) і (4), одержимо

$$\xi = \frac{h(\varepsilon_p^2 - \varepsilon_T \varepsilon_c)}{\varepsilon_p (\varepsilon_c + \varepsilon_p)}. \quad (5)$$

Надалі перевіримо, чи величина ξ не більша h_p , а $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{ip, \text{lim}} = 0,002$ згідно з [9].

Якщо хоч одна з цих умов не виконується, тоді, використовуючи ітераційний процес, визначаємо нові значення N і M , за яких ця умова виконується і перевіримо виконання двох наступних умов.

Висновок. На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що використання критерію малих пластичних деформацій (менших або таких, що дорівнюють 0,002) в статично невизначеній конструкції – балко-фермі для розрахунку нерозрізної прокатної балки жорсткості дасть можливість одержати рівномірність всіх елементів і забезпечить максимальну економію сталі.

1. Бельский Г.Е., Одеський П.Д. О Едином подходе к использованию диаграмм работы строительных сталей // Промышленное строительство, 1980, № 7. 2. Беляев Б.И. Оптимизация сечений стальных балок, работающих в упругопластической стадии. // Сб. научн.тр. / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. "Новые формы и прочность металлических конструкций". – М., 1989. – с. 130–142. 3. Богза В.Г., Шебеліна О.В., Цепурін О.В. Напружено-деформований стан перерізів сталевих стержнів при повторно-змінному навантаженні в області обмежених пластичних деформацій // Сб. научн.тр. „Современные строительные конструкции из металла и древесины”. – Одеса. – ОТАСА, 2001. – С. 32–38. 4. Гоголь М.В. Особливості розрахунку будівельних конструкцій із регулюванням зусиль //Будівельні конструкції. – К.: НДІБК. 2003. – Вип. 59. – Кн. 1. – с. 271–278. 5. Кузенко Л.М. Раціональне використання сталевих стержнів при роботі в області обмежених пластичних деформацій // Сб.научн.тр. "Современные строительные конструкции из металла и древесины". – Одесса. – ОГАСА, 2001. – с. 144. 6. Пат.48841А України, МКИ 7Е04С3/08. Шпренгельна балка: Пат.48841А Україна, МКИ 7 Е04С3/08 Гоголь М.В., Заявл.21.12.01; опубл. 15.08.02 – 2 с. 7. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП 11-23-81* "Стальные конструкции") / ЦНИИСК им.Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с. 8. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. – М.: Стройиздат, 1985. – 200 с. 9. Развитие металлических конструкций: Работі школі Н.С. Стрелецького /В.В. Кузнецов, Е.И. Легеня, И.И. Стрелецкий и др.; ЦНИИПроектстальконструкция и др. – М. Стройиздат, 1987. – 576 с. 10. Рекомендации по расчету стальных конструкций на прочность по строителям ограниченных пластических деформаций. – М.,: ЦНИИПроектстальконструкция, 1985. – 48 с. 11. СНиП 11-23-81*. Стальные конструкции/Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 96 с. 12. Тарасенко В.Л. Особенности расчета изгибаемых металлических элементов на прочность в деловых ограниченных пластических деформаций// МШ украинская научно-техн. конф. "Металлические конструкции". – Николаев. – 1996. – с.61. 13. European Recommendation for Steel Construction. 1978 (ЕКМК – європейські рекомендації). 14. National Standard of Canada. Steel Structures for Building-Limit Ststes Desing. CAN3-s16.1-M78.