

бути застосовані до анкерування неметалевої стрічкової арматури, а стрижневу металеву арматуру можна використовувати як пристрій тільки для створення зусилля попереднього напруження.

1. Курьло А.С., Гнидець Б.Г. Сборные железобетонные конструкции производственных зданий с натяжением арматуры в монтажных стыках // Бетон и железобетон. – 1966. – № 5. 2. Гнидець Б.Г., Завадяк П.П. Опыт применения сборно-монолитных конструкций с напрягаемой арматурой в стыках // Бетон и железобетон. – 1982. – № 1. 3. Гнидець Б.Г. Дослідження і регулювання напруженого стану залізобетонних конструкцій мостів в стадії будівництва і довготривалої експлуатації. НАН України. 1-й семінар. – Львів, 1999. 4. Гнидець Б.Г. О расчете сборных неразрезных железобетонных балок с напрягаемой арматурой стыков при длительных воздействиях // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1985. – № 9. 5. Прокопович И.Е. Основы прикладной линейной теории ползучести. – К.: Вища шк., 1978. 6. Гнидець Б.Г. Реконструкція і підсилення мостів зі зміною статичної схеми і регулюванням зусиль // Автомобільні дороги і транспортне будівництво: Наук.-техн. зб. – К., 2002. – С. 54–58.

УДК 624.014.2

М.В. Гоголь

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

ПРОБЛЕМА ЕКОНОМІЧНОСТІ НЕСУЧИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕКРИТЬ ТА ПОКРИТЬ

© Гоголь М.В., 2004

Розглянуто проблему економічності несучих металоконструкцій перекрить та покрить. Показано, що цьому критерію відповідає балко-ферма.

In the paper the problem of economic efficiency of metal structures is solved. Some methods of stress regulation are described. It is shown, that a Beam-farm answers this criterion.

Проблема економічності металоконструкцій виникла з моменту появи цих конструкцій у будівельній практиці. Саме вона і стала рушійною силою, яка спонукала фахівців до розробки все нових несучих конструкцій, досконаліших, ніж попередні. На сьогодні маємо до застосування чотири несучих металоконструкції перекрить та покрить: суцільні балки, переважно прокатні, балки із гартчастою стінкою [7] – ферми, шпренгельні балки з вертикальними стояками, всебічно досліджені в [6], та балки з трикутним шпренгелем і похилими стояками, всебічно досліджені у [3]. Кожна із вказаних конструкцій має свою сферу її раціонального застосування, що нерідко ставить проєктантів у скрутне становище, яку саме конструкцію вибрати для конкретного випадку – адже сьогодні немає простого критерію оцінки якості кожної із вказаних конструкцій.

Інтуїтивно фахівці розуміють, що економічною буде конструкція із мінімальною матеріалоемністю та мінімальними технологічними затратами на її виготовлення. Рекомендацій як цього досягти сьогодні немає. Спробуємо їх у загальних рисах сформулювати.

Проста логіка підказує, що мінімальну матеріалоемність матиме конструкція, в якій увесь матеріал при робочому навантаженні має напруження $\sigma \cong R_y$, тобто у такій конструкції зовсім немає зайвого матеріалу. За цією ж логікою мінімальні технологічні витрати матиме конструкція, яка має мінімум конструктивних елементів.

Розглянемо найуживаніше рівнорозподілене робоче навантаження. Тоді на основі поданих логічних міркувань доходимо висновку, що найбільш матеріалозатратною є суцільна балка – адже в ній

лише крайні волокна в одному перерізі, де M_{\max} , мають $\sigma \cong R_y$, і, навіть, $\sigma = 0$. Тобто така балка має дуже багато недонапруженого матеріалу, який не тільки не бере належної участі в її роботі, але й створює непотрібне додаткове навантаження. Але балка складається лише з одного елемента, тобто її виготовлення є найменш затратними. Через те такі балки донедавна застосовували аж до $l < 18$ м.

Протилежною до суцільної балки є балка із гратчастою стінкою-ферма. Якщо взяти її топологію рибоподібною [2], то вона матиме мінімальну матеріалозатратність, але максимальні технологічні витрати, адже в ній буде максимальна кількість різнотипних елементів. Тому ферми проектують переважно із паралельними поясами з таким розрахунком, щоби було не більше п'яти типів елементів [2]. Але кількість вузлів залишається великою. Тому ферми проектують лише при $l \geq 18$ м.

Проміжними між балкою та фермою є шпренгельні конструкції. Але недосконала теорія їх розрахунку – за методом сил – не дозволила належно виявити їх позитивні та негативні якості. Практика показала, що шпренгельні балки з вертикальними стояками, розраховані за традиційною методикою, не мають у балці жорсткості рівно екстремальної епюри “M”, тому мало відрізняються за матеріалозатратністю від звичайної балки, будучи більш технологічно затратними від неї. Деяке зменшення матеріалозатратності дає попереднє напруження таких балок, але воно збільшує їх технологічні затрати. Тому ці балки не набули значного застосування.

Балки з трикутним шпренгелем і двома похилими стояками мають значно менші матеріалозатрати від попередніх. Це дозволило виявити експериментальні дослідження [3] балок при $l = 12$ м. Але в них при малих кутах нахилу шпренгеля виникають значні сили “N” у балці жорсткості, яка повинна бути добре розкріплена від втрати стійкості. Тому їх рекомендують застосовувати лише як покрівельні прогони при $l = 12$ м.

Нами розроблено принципово інший метод розрахунку регулювання зусиль у всіх комбінованих системах як шпренгельних, так і вантових, в якому ці системи моделюються балкою на проміжних пружних опорах у точках підкріплення балки жорсткості цих систем. Для розрахунку такої балки застосовано не традиційний метод сил, а енерго-варіаційний принцип Лагранжа [1], за яким на початку розрахунку визначають не сили, а деформації, які потім враховуються при визначенні невідомих сил. При цьому у нас регулювання зусиль, на відміну від традиційного, відбувається у два етапи.

На першому етапі регулюють деформований стан та моменти у балці жорсткості – елементі, в якому зосереджено 50–70 % матеріалу системи. На другому етапі знаходять зусилля “N” у елементах системи підкріплення, яка при цьому стає статично визначеною, і визначають їх перерізи, які відповідають відрегульованому станові балки жорсткості, що забезпечує сумісність деформацій балки і балко-ферми [7].

Такий метод регулювання зусиль використовує ідею [6], що у точках кріплення елементів до балки жорсткості в ній виникають пружні опори та положення [7], що задану систему можна для зручності розрахунку перетворювати шляхом відкидання чи накладання зв'язків як завгодно, аби тільки під дією всіх факторів задана і перетворена системи мали однакові деформації, і перетворена система була кінематично незмінною.

Новий метод регулювання зусиль у комбінованих системах дозволив, на основі числових досліджень, виявити негативні і позитивні якості цих систем та розробити, дослідити і запатентувати [4] нову шпренгельну систему, яку ми назвали балко-фермою, тому що в ній використано все краще балки і ферми. Розрахунок регулювання зусиль у такій конструкції показано схематично на рисунку.

Розв'язуюче рівняння для балко-ферми у матричній формі є таким:

$$R\vec{A} + \vec{R}_q = 0, \quad (1)$$

де R – кодіагональна матриця елементів r_{ij} ($i, j = \overline{1,10}$) від одиничних переміщень a_i ($i = \overline{1,10}$); \vec{A} – вектор невідомих переміщень a_i ($i = \overline{1,10}$); \vec{R}_q – вектор компонент R_{iq} ($i = \overline{1,10}$) від навантаження “q”.

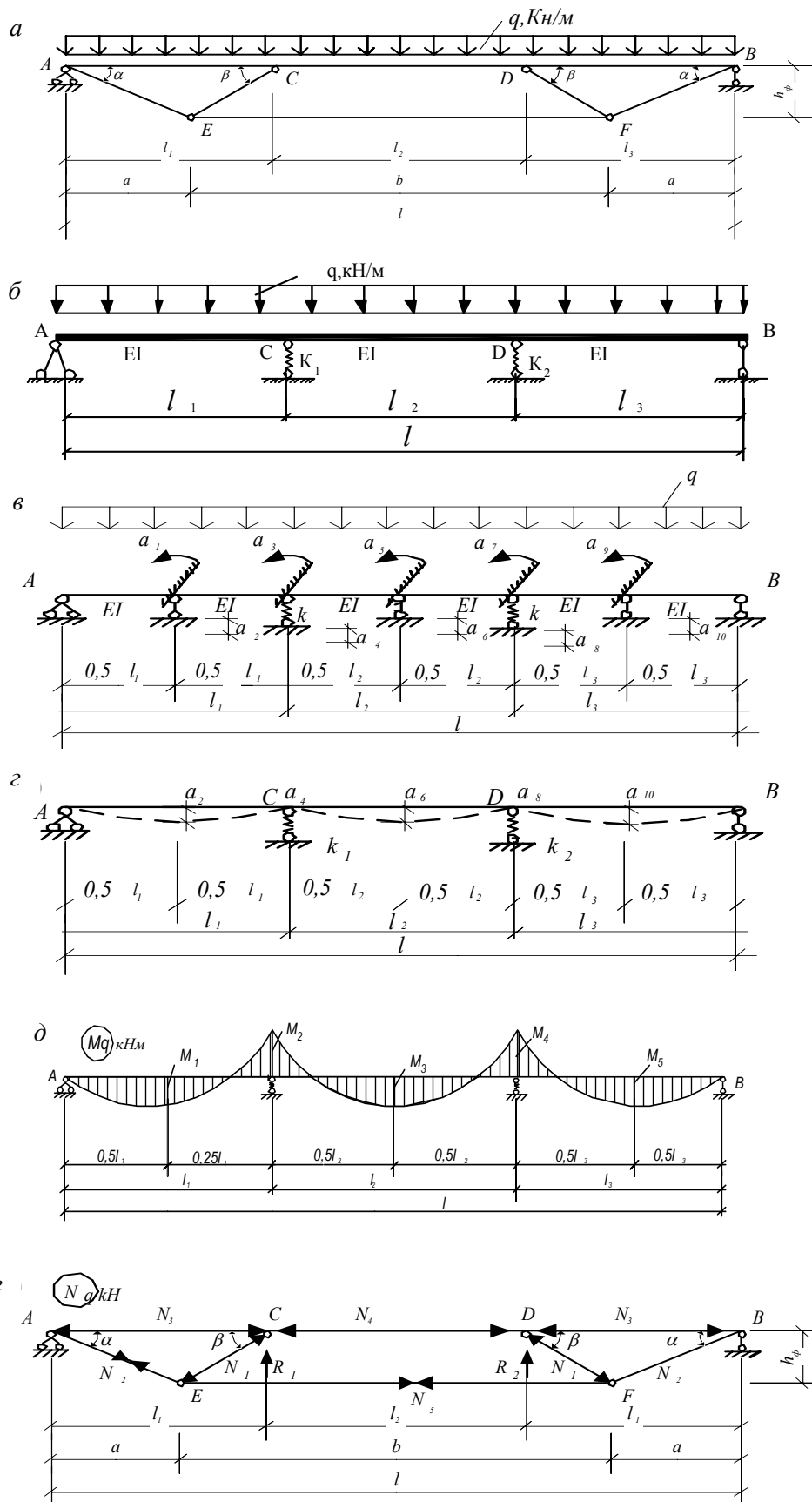


Схема етапів розрахунку регулювання зусиль у балко-фермі:

a – задана схема балко-ферми; *б* – розрахункова модель балко-ферми, *в* – перетворена розрахункова модель балко-ферми; *г* – деформований стан балки жорсткості балко-ферми; *д* – схема епюри M_q балки жорсткості балко-ферми; *е* – схема нормальних сил N_q у елементах балко-ферми

Всі значення $r_{ij} (i, j = \overline{1,10})$ та $R_{iq} (i = \overline{1,10})$ визначаються як у класичному методі переміщень, за винятком r_{44} та r_{88} , у яких до класичних значень додаються величини “К” – коефіцієнти жорсткості пружних опор. Розв’язок рівняння (5) є таким:

$$\vec{A} = -R^{-1} \vec{R}_q, \quad (2)$$

де вектор \vec{A} дає деформативний стан балки жорсткості. За значеннями a_4 та a_8 знаходимо реакції \vec{R}_j пружних опор за формулою Вінклера

$$R_j = \kappa_i a_j (i = 1,2; j = 4,8), \quad (3)$$

А за значеннями \vec{R}_j знаходимо нормальні сили у елементах системи. Моменти у балці жорсткості знаходимо за формулою [1] для п’яти перерізів

$$M_j = M_j^0 + \sum_{i=1}^n a_{ij} \bar{M}_{ij} (j = \overline{1,5}), \quad (4)$$

де \bar{M}_{ij} – значення одиничного моменту від переміщення \bar{a}_i у перерізі “j”.

Методика розрахунку перевірена експериментально на моделі $l = 3,2$ м та числовими дослідженнями балко-ферми $l = 18$ м та шпренгельного прогону $l = 12$ м [3] на ПК “Міраж”.

Внаслідок числових експериментальних досліджень нашим методом доведено, що балко-ферма є економічно вигіднішою від суцільної балки вже при $l \geq 6$ м і для всіх ферм $18 \text{ м} \leq l \leq 45$ м. Так, стосовно ферми $l = 18$ м, запроєктованої [5], балко-ферма дає економію ~ 24 % матеріалу, маючи у > 3 разів менше елементів та вузлів. Отже, балко-ферма повинна замінити несучі металеві конструкції, починаючи від $l \geq 6$ м, що зменшить обсяг пошуків проєктантів під час проєктування несучих металевих конструкцій перекриття та покрить.

1. Баженов В.А., Гранат С.Я., Шишов О.В. *Будівельна механіка*. – К., 1999. – 584 с. 2. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л. І. *Металеві конструкції*. – 2-ге вид. – Львів: Світ, 2002. – 312 с. 3. Муханов К.К. *Металлические конструкции*. – М.: Стройиздат, 1978. – 572 с. 4. Пат. 48841 А Україна, МКИ 7 Е04С3/08. *Шпренгельна балка* / М.В. Гоголь, Б.С. Чайка, О.М. Гайда, І.В. Надала (Україна). – № 2001128874; Заявл. 21.12.01; Опубл. 15.08.02. – 2 с. 5. *Серия 1.460.2-10/88. Стальные конструкции покрытий одноэтажных производственных зданий с фермами из парных уголков. Вып. 2: Покрытия пролетом 18 и 24 м с фермами высотой 2.25 м. Чертежи КМ*. – ЦИТП Госстроя СССР. – 1989. 6. Трофимович В.В., Пермяков В.А. *Оптимальное проектирование металлических конструкций*. – К.: Будівельник, 1981. – 136 с. 7. Чайка Б.С. *Розрахунки будівель та їх конструкцій*. Ч. 1. – Львів: Край, 1995. – 453 с.