

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

© Гоголь М.В., 2011

Показані результати аналітичних досліджень розрахункового регулювання НДС в комбінованих конструкціях і переваги і сфера використання розрахункового методу. Наведено фізичну і математичну моделі для розрахунку балки жорсткості з врахуванням її деформованого стану, а також приклади впровадження під час проектування металевих конструкцій.

Ключові слова: комбіновані конструкції, фізична і математична моделі, металеві конструкції.

The results of analytical researches of adjusting of stress deformation state (SDS) are expounded in the combined constructions. Advantages and area of the use of calculation method are shown. It is shown physical and mathematical models for the calculation of beam of inflexibility including its deformed state, and also examples of introduction at planning of metallic constructions.

Key words: combined constructions, physical and mathematical models, metallic constructions.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції розвитку будівництва в Україні відбуваються в напрямку використання нових ефективних легких вітчизняних та зарубіжних індустріальних конструкцій, зокрема металевих. Як відомо, одним із способів підвищення ефективності і економічності металевих будівельних конструкцій є розроблення нових, раціональніших конструктивних форм, вдосконалення методів їх розрахунку і проектування рівнонапружених конструкцій, як найраціональніших систем, використання попереднього напруження. Однак технологія попереднього напруження є енергозатратною, що привело до істотного обмеження її використання в практиці будівництва.

Тому останнім часом проектувальники все частіше відмовляються від попереднього напруження, замінюючи його розрахунковим перерозподілом зусиль і регулюванням напружено-деформованого стану конструкцій, що не вимагає ніяких додаткових матеріальних витрат[6]. Такі прийоми дозволяють зменшувати розрахункові зусилля в одних елементах, або перерізах конструкції за рахунок збільшення зусиль в інших елементах чи перерізах і в результаті досягати такого самого ефекту, як і від попереднього напруження. Ідея регулювання – адаптація параметрів конструкції до поставленого остаточного результату, що забезпечує заздалегідь вибраний раціональний розподіл зусиль.

Поставленій проблемі найбільшою мірою відповідають комбіновані (шпренгельні, вантові, висячі) конструкції, основним несучим елементом яких є балка жорсткості, від металоємкості якої значною мірою залежать техніко-економічні показники усєї системи. Саме умови проектування балки жорсткості надають можливість регулювання зусиль у всій системі [1, 4].

Отже, розроблення розрахункового методу регулювання зусиль у комбінованих конструкціях і створення узагальненого інженерного методу їх розрахунку з врахуванням деформованого стану балки жорсткості, спрямовані на одержання раціонального остаточного результату є актуальною науковою проблемою.

Аналіз останніх досліджень. Тому проблема розрахунку будівельних конструкцій, зокрема комбінованих, насамперед ставиться як проблема їх раціонального проектування, з метою одержання рівномірної конструкції, тобто найраціональнішої системи [1, 2]. Це, своєю чергою, вимагає розроблення нових методів розрахунку і конструктивних форм, які б відповідали цим вимогам [3, 4]. Таким чином розрахунковий метод регулювання НДС є найраціональнішим [2]. Отже, раціональне проектування є актуальною проблемою, вирішення якої приведе до значного економічного ефекту. В якості критерію раціональності виступає енергетичний критерій раціонального проектування, а також вимоги до НДС: рівнонапруженість, рівномоментність, максимальна жорсткість, або мінімальна маса конструкції.

Основною перевагою комбінованих конструкцій є концентрація матеріалів та можливість проектування їх малоелементними [3]. У більшості металевих комбінованих конструкцій основна (65–85 %) маса матеріалу зосереджена в балці жорсткості, від умов проектування і металоємності якої значною мірою залежать техніко-економічні показники усєї системи. Розрахунок кожного виду таких конструкцій наявним методом [5] має свої особливості. Результати таких розрахунків дають нерівномірний напружений стан по довжині основного елемента – балки жорсткості, який полягає у істотній різниці опорних і пролітних моментів. Це робить наявні комбіновані конструкції на завжди раціональними [1–5]. Тому удосконалення методу розрахунку комбінованих металевих конструкцій, який відобразив би їх дійсну роботу є нині важливою проблемою.

Мета статті (постановка завдання) – узагальнення практичного досвіду, впровадження основ теорії і практики розрахункового методу регулювання зусиль в комбінованих конструкціях.

Виклад основного матеріалу. Суть розрахунку: [2, 3] спочатку на основі методу декомпозиції системи, розділяємо систему на дві підсистеми – головну і допоміжну. Запропоновано єдину розрахункову модель комбінованих систем у вигляді балки на пружних опорах [3], в якій балка моделює балку жорсткості, а пружні опори – систему підкріплення. Далі, використавши синтез системи, розраховується її напружено-деформований стан. На рис. 1–4 наведені схеми фізичної і математичної моделей балки жорсткості в ітераційному процесі проектування раціональних комбінованих металевих конструкцій.

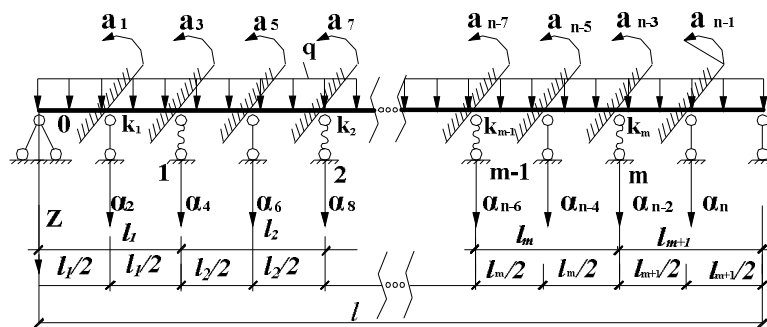


Рис. 1. Схема для фізичної моделі балки жорсткості

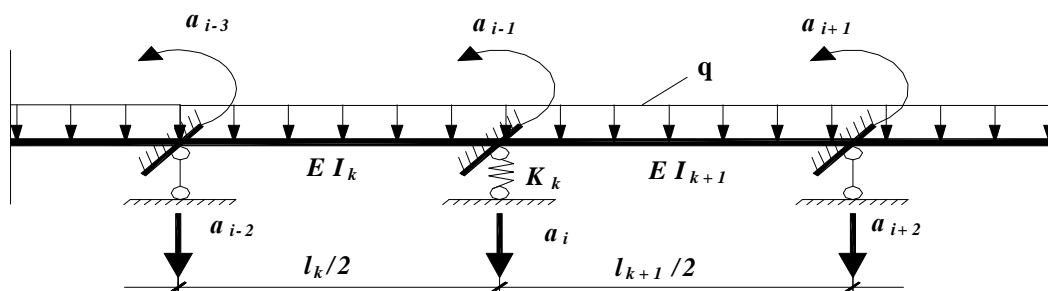


Рис. 2. Фрагмент пружної опори "к" із прилеглими до неї відтинками балки

де матриці відповідно деформацій і реакцій:

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}_q = \begin{bmatrix} R_{1q} \\ R_{2q} \\ R_{3q} \\ \vdots \\ \vdots \\ R_{nq} \end{bmatrix}$$

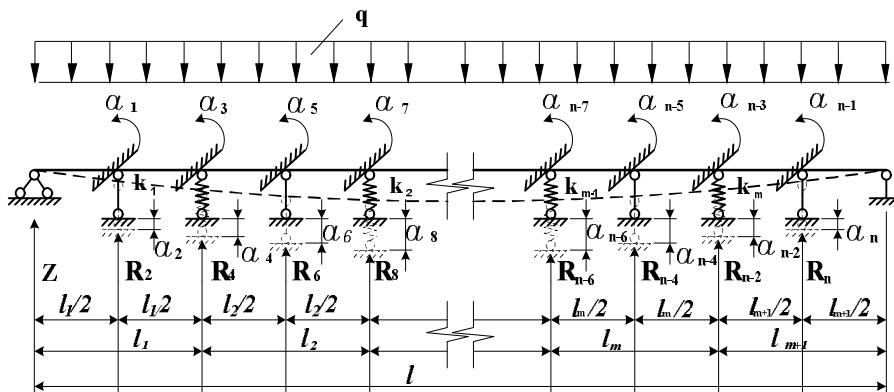


Рис. 4. Схема для математичної моделі розрахунку балки жорсткості комбінованих систем з врахуванням її деформованого стану

Повна потенційна енергія “ε” системи

$$e = U + \Pi = \int_0^l \left(\frac{1}{2} E J_x \left(\frac{d^2 v_x}{dx^2} \right)^2 - v_x q \right) dx + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m K_i V_i^2,$$

де V_x – функція прогинів балки у всіх точках по її довжині; E – модуль деформації матеріалу балки; K_i – коефіцієнт жорсткості пружної опори “і”; I_x – момент інерції перерізу балки; V_i – величина осідання пружної опори “і”.

За енерговаріаційним принципом Лагранжа

$$\delta \varepsilon (v_x) = 0.$$

Розглянемо тільки стан стійкої рівноваги, тобто

$$de = 0; \quad d^2 e > 0 \Rightarrow e = e_{\min} \quad i \text{ рівновага стійка,}$$

$$de = 0; \quad d^2 e < 0 \Rightarrow e = e_{\max} \quad i \text{ рівновага нестійка,}$$

$$de = 0; \quad d^2 e = 0 \Rightarrow e = \text{const} \quad i \text{ рівновага байдужа.}$$

Для дискретної лінійної системи із “n” незалежними узагальненими переміщеннями Δ_i ($i = \overline{1, n}$) повна енергія системи

$$e = U + \Pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} \Delta_j \right) \Delta_i - \sum_{i=1}^n P_i \Delta_i.$$

Трактуючи невідомі a_i ($i = \overline{1, n}$) як переміщення Δ_i ($i = \overline{1, n}$), для наших умов повна енергія системи

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} a_j + R_{iq} \right) = 0,$$

де активні сили P_i ($i = \overline{1, n}$) заміщені відповідними реактивними R_i ($i = \overline{1, n}$) з відповідною зміною знаку “мінус” на “плюс”.

Виділено широкий клас комбінованих металевих конструкцій масового практичного застосування, в яких доцільно регулювати НДС розрахунковим методом і для яких можна прийняти розрахункову схему у вигляді балки на пружних проміжних опорах: в великопролітних фермових комбінованих системах, легких метало-дерев'яних конструкціях, вантових, висячих і арково-вантових системах, сталобетонних конструкціях, мостових системах, конструкціях підсилення.

На основі аналізу результатів виконаних досліджень розроблені пропозиції з удосконалення їх конструктивних рішень і запропоновані нові конструктивні форми комбінованих систем меншою масою до 20 %, які захищені патентами України на винаходи (Патенти України: № 50014, № 46383,



Рис. 5. Монтаж малоелементної шпренгельної ферми прольотом $L=18$ м. Санаторій «Женева», м. Трускавець, 2007 р

№ 48841). Ці результати були використані і впроваджені під час проектування таких об'єктів і споруд: завод експериментальних механічних випробовувань, м. Львів, 2004; санаторій «Женева», м. Трускавець, 2004; бізнес-центр «Підзамче», Львів, 2007; Цементний завод, м. Миколаїв, 2007; фірма «Альба», с.м.т. Щирець, 2006; фірма «ВЕЕМ», м. Львів, 2007, в результаті чого був отриманий економічний ефект 520 тис. грн. (рис. 5).

Висновки. 1. Подана методика розрахунку дозволяє виконувати потрібне регулювання зусиль у балці жорсткості без її попереднього напруження. 2. Удосконалено на основі енерговаріаційного принципу (принципу Лагранжа) узагальнений метод

розрахунку комбінованих металевих конструкцій з врахуванням деформованого стану балки жорсткості. 3. Такий метод дає можливість встановити деформований стан балки жорсткості, який враховується при визначенні зусиль в елементах комбінованої системи, що забезпечує рівномірність всіх елементів. 4. Розроблено фізичну і математичну моделі розрахунку балки жорсткості комбінованих систем з врахуванням її деформованого стану.

1. Гоголь М.В. Особливості регулювання напружено-деформованого стану комбінованих сталевих конструкцій / М.В. Гоголь, М.Р. Більський // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2009. – № 1. 2. Гоголь М.В. Проектування і розрахунок раціональних комбінованих металевих конструкцій / М.В. Гоголь // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14, № 4. 3. Гоголь М.В. Узагальнений метод розрахунку металевих конструкцій з регулюванням зусиль // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2002. – № 462: Теорія і практика будівництва. 4. Пермяков В.А., Гоголь М.В., Пелешко И.Д. Комбинированные металлические конструкции с регулированием и их оптимизация // Наука и инновации в современном строительстве: Междунар. научн.-практ. конф. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, СПб., 17–19 окт. 2007. – СПб., 2007. 5. Пермяков В.О., Нілов О.Р., Шимановський О.В., Белов І.Д., Лавриненко Л.І., Володимирський В.О. Металеві конструкції. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. 6. Проектування раціональних комбінованих металевих конструкцій / Укл.: В.О. Пермяков, М.В. Гоголь, І.Д. Пелешко, М.Р. Більський, Б.С. Чайка; за ред. проф. В.О. Пермякова. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2005.