

## ЕФЕКТИВНІ КОМБІНОВАНІ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА МОСТІВ

© Гоголь М.В., 2010

**Викладено результати аналітичних досліджень регулювання НДС у комбінованих конструкціях. Показано переваги і сфери використання розрахункового методу. Наведено удосконалену методику проектування комбінованих металевих конструкцій та визначено принципи їх використання замість типових конструкцій.**

**Ключові слова:** метал, комбіновані конструкції, напружений стан

**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. The improved method of planning of the combined steel constructions is resulted and principles of their use are certain in place of typical constructions.**

**Keywords:** steel, combined constructions, stress deformation state.

**Вступ.** Одним із методів підвищення конкурентоспроможності будівельних конструкцій є використання регулювання зусиль у комбінованих конструкціях – у процесі проектування, що не вимагає ніяких додаткових матеріальних витрат [2].

Це досягається раціональним вибором топології конструкцій, характеру закріплень на опорах, розрахунку її геометричних параметрів і жорсткісних характеристик стержневих елементів. У процесі збільшення зовнішнього навантаження в ній відбувається попередньо розрахований раціональний перерозподіл внутрішніх зусиль між елементами з одержанням напружено-деформованого стану аналогічно, як від дії попереднього напруження. Розкриття потенціалу регулювання, що криється в таких комбінованих системах, за допомогою раціонального формування напружено-деформованого стану в перетинах конструкції вже на стадії проектування створює раціональні підстави для розроблення наукових основ одержання конструкцій нової генерації [1].

**Постановка проблеми.** Як відомо, одним із напрямів підвищення ефективності та економічності металевих будівельних конструкцій є розроблення нових, раціональніших (з низькою металоємністю і трудомісткістю виготовлення) конструктивних форм за рахунок концентрації матеріалу, малоелементності, вдосконалення методів їх розрахунку і проектування рівнонапружених конструкцій, як найраціональніших систем, вибору розрахункових моделей з урахуванням геометричної і конструктивної нелінійності системи, використання попереднього напруження. Однак технологія попереднього напруження є енергозатратною, крім того, вона спричиняє підвищення трудомісткості та вартості виготовлення конструкцій і їх експлуатації, що призвело до істотного обмеження її використання у практиці будівництва.

Останнім часом проектувальники все частіше відмовляються від попереднього напруження шляхом заміни його розрахунковим перерозподілом зусиль і регулюванням напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій, ідея якого полягає у забезпеченні заздалегідь вибраного раціонального розподілу зусиль в елементах за допомогою адаптації параметрів конструкції до визначеного кінцевого результату. Поставленій проблемі найбільшою мірою відповідають комбіновані (шпренгельні, вантові, висячі) конструкції, основним несучим елементом яких є балка жорсткості, від металоємності якої значною мірою залежить техніко-економічні показники усєї системи [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розрахунок комбінованих конструкцій наявним методом [1] має певні особливості. Результати таких розрахунків дають нерівномірний напружений стан по довжині основного елемента – балки жорсткості, який полягає в істотній різниці опорних і пролітних моментів. Це робить такі комбіновані конструкції не завжди раціональними [2]. Разом з тим, деякі істотні особливості цих систем, а саме їх нелінійність не дають можливості реальної оцінки їх НДС з використанням звичних методів розрахунку [1–2]. Тому удосконалення методу розрахунку комбінованих металевих конструкцій, який відображав би їх дійсну роботу, є нині актуальною проблемою.

**Мета роботи.** Метою роботи є удосконалення поширених методів розрахунку комбінованих конструкцій з урахуванням їх дійсного напружено-деформованого стану та його регулювання.

**Виклад основного матеріалу.** Основним завданням при проектуванні будівельних конструкцій, з яким стикається інженер, є одержання рівномірної конструкції, тобто найраціональнішої системи. Основним методом для одержання такої конструкції нині є метод наближень. Кількість наближень може бути великою і залежить передусім від досвіду та інтуїції конструктора, однак рідко досягають мети. Тому проблема розрахунку будівельних конструкцій, зокрема комбінованих, насамперед повинна ставитись як проблема їх раціонального проектування.

У цій роботі розвивається метод, який дає змогу одночасно з розв'язанням оберненої задачі – раціонального проектування, одержати і розв'язок прямої задачі розрахунку (НДС) конструкції. Критерієм раціональності виступає енергетичний критерій раціонального проектування, а також вимоги до НДС: рівнонапруженість, рівномоментність, максимальна жорсткість або мінімальна маса конструкції. Такі комбіновані системи вимагають, своєю чергою, розроблення як розрахункового методу регулювання зусиль, так і методу розрахунку таких комбінованих конструкцій з урахуванням деформованого стану балки жорсткості [2].

Для розрахунку статично невизначених систем нерозрізних балок на пружних проміжних опорах існують класичні методи [4]. Останній не дає можливості виконувати розрахункове регулювання НДС конструкції, оскільки коефіцієнти пружності проміжних опор мають бути заздалегідь відомі. Отже, для розрахунку ширшого класу комбінованих конструкцій необхідно було розробити ітераційний алгоритм, а для можливості розрахункового регулювання НДС в балці жорсткості використати енерговаріаційні принципи і методи декомпозиції та синтезу [1]. Суть розрахунку: спочатку на основі методу декомпозиції системи розділимо систему на дві підсистеми – головну і допоміжну. Головною підсистемою вважатимемо балку жорсткості на пружних опорах, які моделюють систему підкріплення. Пружними опорами вважаються елементи (вертикальні і похилі) комбінованої конструкції (системи). Допоміжною підсистемою вважаємо конструкцію шпренгеля або ванта. При цьому для розрахунку використано не статичні принципи, а енерговаріаційні, зокрема принцип Лагранжа. Далі, використавши синтез системи, розраховуємо її напружено-деформований стан. Для запропонованої розрахункової моделі математична модель описується на основі повної потенційної енергії системи.

Запропонований метод проектування і розрахунок раціональних комбінованих конструкцій зводиться до врахування впливу деформативності проміжних опор балки жорсткості на співвідношення опорних і пролітних моментів [1]. Вперше запропоновано єдину розрахункову модель комбінованих систем у вигляді балки на пружних опорах, в якій балка моделює балку жорсткості, а пружні опори – систему підкріплення.

Виділено широкий клас комбінованих металевих конструкцій масового практичного застосування, в яких доцільно регулювати НДС розрахунковим методом (табл. 1) і для яких можна прийняти розрахункову схему у вигляді балки на пружних проміжних опорах.

Щоб розрахункова модель, яка відрізняється від реальної конструкції, була коректною, необхідно витримати принцип сумісності, тобто, щоб точки контакту балки жорсткості з пружними опорами переміщались у процесі роботи під навантаженням у заданій системі на таку саму величину, як точки вузлів кріплення системи підвіски конструкції. Для такого класу конструкцій розроблені фізична модель балки жорсткості і математична модель процесу регулювання зусиль у системі.

Спираючись на класичні теоретичні передумови для запису фізичної моделі балки жорсткості комбінованих конструкцій, використаємо енергетичні принципи будівельної механіки.

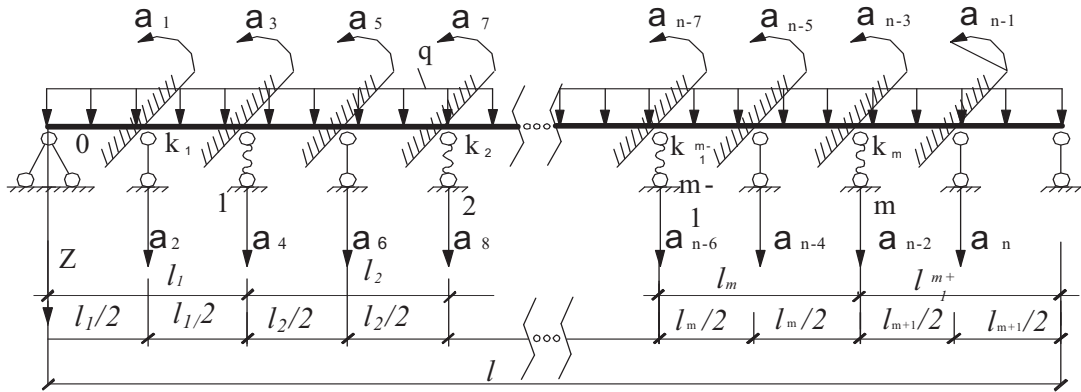


Рис. 1. Схема для фізичної моделі

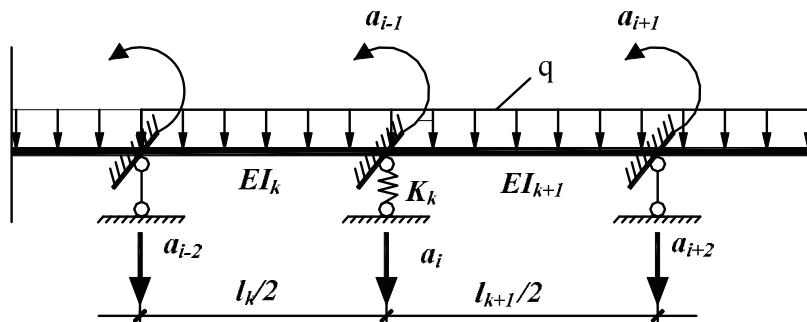


Рис. 2. Фрагмент пружної опори "к" із прилеглими до неї відтинками балки

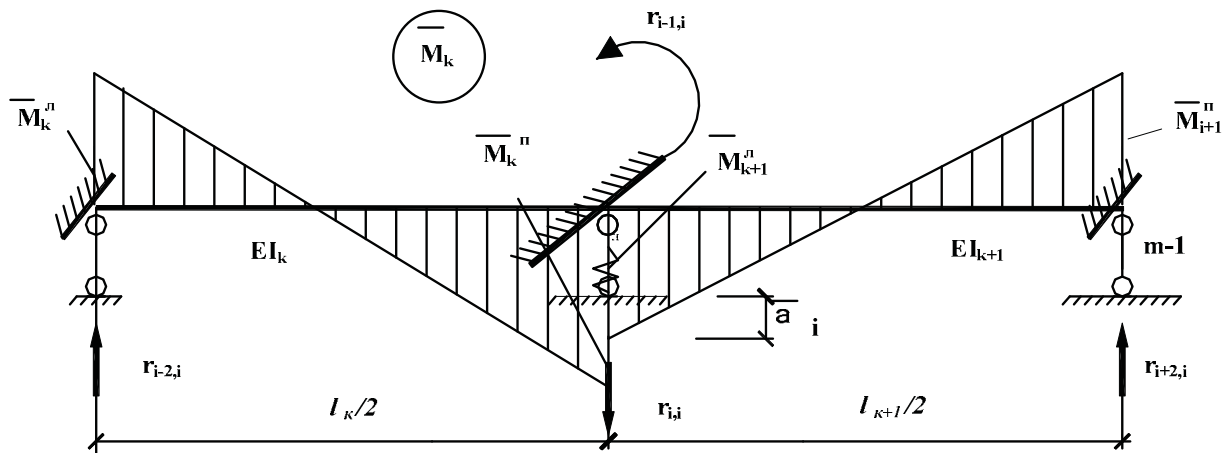
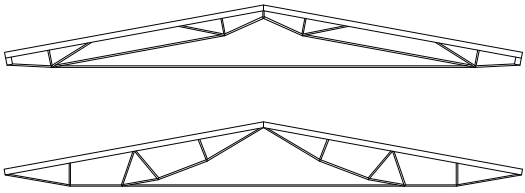
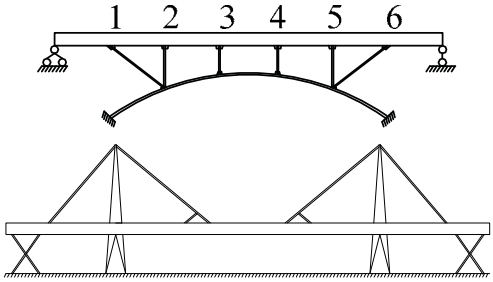
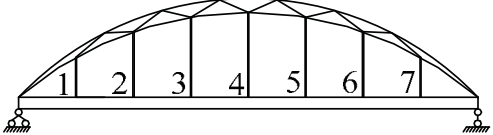
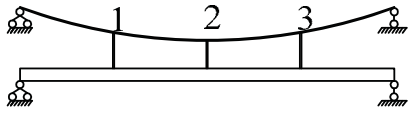
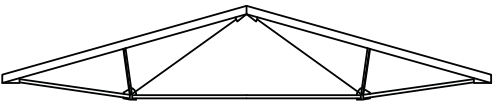
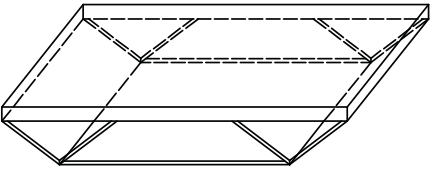
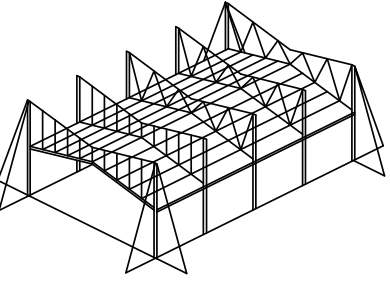
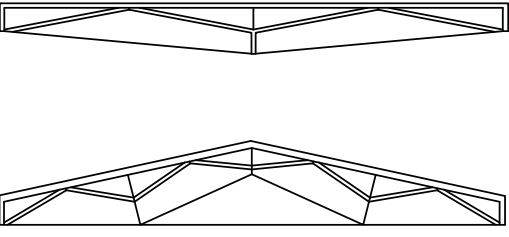
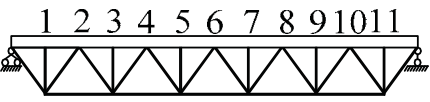
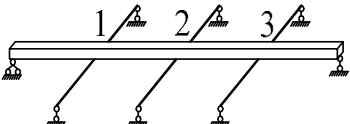
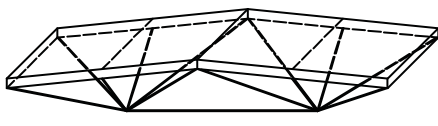
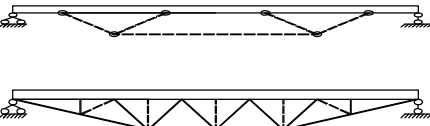
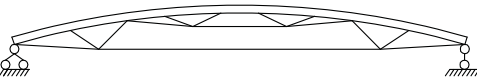


Рис. 3. Епюра  $\bar{M}$  від одиничного осідання опори "К" ( $K = 1, m$ )

де

$$\bar{M}_K^l = \frac{6EI_K}{\left(\frac{l_K}{2}\right)^2} = \frac{24EI_K}{l_K^2} = \bar{M}_K^n; \quad \bar{M}_{K+1}^l = \frac{6EI_{K+1}}{\left(\frac{l_{K+1}}{2}\right)^2} = \frac{24EI_{K+1}}{l_{K+1}^2} = \bar{M}_{K+1}^n,$$



1	2
<p>3. Великопролітні шпренгельні Системи</p> 	<p>4. Мостові конструкції</p> 
<p>5. Підвісні покриття</p> 	<p>6. Комбіновані системи із жорсткими нитками</p> 
<p>7. Сталебетонні конструкції</p> 	<p>8. Блок ферми</p> 
<p>9. Підвісні вантові покриття</p> 	<p>10. Дерев'яно-металеві системи</p> 
<p>11. Фермові конструкції</p> 	<p>12. Перехресні системи</p> 
<p>13. Панельно-шпренгельні системи</p> 	<p>14. Посилення конструкцій</p> 
<p>15. Аочно-вантові системи</p> 	

**Синтез системи і визначення її напружено-деформованого стану.** За реактивними зусиллями у зв'язках системи знаходили невідомі параметри  $a_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Отже, у матричній формі рівняння має вигляд

$$\vec{R}\vec{A} + \vec{R}_q = 0,$$

де  $R$  – кодіагональна матриця жорсткості системи;  $A$  – вектор переміщень точок системи “ $i$ ” ( $i = \overline{1, n}$ );  $\overrightarrow{R_q}$  – вектор реакцій у штучних опорах від зовнішнього навантаження. Отже, вектор  $\overrightarrow{A}$  дав деформований стан балки і величини осідань пружних опор  $a_K (K = \overline{1, m})$ . У векторі  $\overrightarrow{A}$  осідання “ $a_i$ ” матимуть парні індекси, які для пружних опор будуть такими:  $a_i (i=4, 8, 12, \dots, n-2)$ . Тоді, підставивши у неї значення “ $a$ ” замість “ $\Delta$ ”, визначили вертикальні реакції  $R_{iq} (i=4, 8, 12, \dots, n-2)$  всіх пружних опор. Відтак, за методом перерізів та принципом рівноваги знаходили нормальні зусилля у елементах підкріплення балки жорсткості – вантах чи стояках шпренгеля, які, як було сказано, є при тому системами статично визначеними. Зусилля в них визначали із рівнянь рівноваги проєкцій зусиль на координатні осі. В удосконаленому методу розрахунку комбінованих систем з урахуванням деформованого стану балки жорсткості, на відміну від традиційної методики, спочатку визначаємо прогини, а на їх основі – зусилля. На основі цього нами запропонований і запатентований номенклатурний ряд ефективних нових легких малоелементних шпренгельних конструкцій прольотами 9–63 м і раціональні сфери їх використання. На рис. 4–9 наведено комбіновані конструктивні системи, які розраховані традиційними, поширеними методами і мають значний запас несучої здатності [2]. Для кількісного визначення такого запасу потрібний їх перерахунок запропонованим методом. На рис. 10–12 показано комбіновані конструкції, які запроєктовані з використанням цього методу.



Рис. 4. Комбінована шпренгельна конструкція (залізобетонні балки і металевий шпренгель), Австрія



Рис. 5. Вантова металева конструкція моста, Німеччина

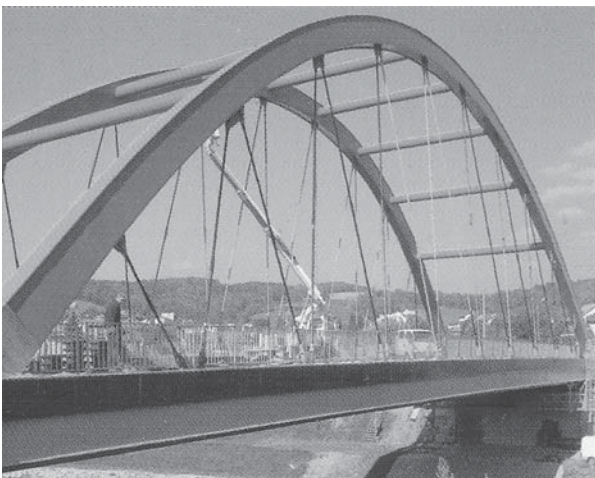


Рис. 6, 7. Комбіновані металеві і залізобетонні конструкції з різним розміщенням балки жорсткості, Німеччина



*Рис. 8. Шпрингельні металеві балки, Україна*



*Рис. 9. Монтаж комбінованої ферми, Росія*



*Рис. 10. Монтаж малоелементної шпрингельної ферми прольотом  $L=12$  м.  
Санаторій "Женева", м. Трускавець, 2004 р.*



*Рис. 11. Малоелементні комбіновані ферми перекриття з регулюванням зусиль  $L=12$  м.  
Бізнес-центр "Підзамче", м. Львів, 2007 р.*



*Рис. 12. Підкрюквяна балкоферма  $L=12$  м. Завод експериментальних механічних випробувань, м. Львів, 2004 р.*

**Висновки.** 1. Подана методика розрахунку дає змогу виконувати потрібне регулювання зусиль у балці жорсткості без її попереднього напруження. 2. Удосконалена методика проектування комбінованих металевих конструкцій і розширена сфера їх застосування. 3. Запропоновано нові конструктивні рішення комбінованих металевих конструкцій. 4. Розроблено фізичну і математичну моделі для розрахунку таких систем.

*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. – С. 6–9. 2. Гоголь М.В. Комбіновані металеві конструкції будівель і споруд (дослідження, розрахунок, виготовлення і монтаж) / М.В. Гоголь // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. – 2008. – №. 627. – С. 58–63. 3. Гоголь М.В. Проектування і розрахунок раціональних комбінованих металевих конструкцій / М.В. Гоголь // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14. – № 4. – С. 253–262. 4. Рабинович И.М. Курс строительной механики стержневых систем. Ч. II. Статически неопределимые системы. – М.: Госстройиздат, 1954.*