

РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЬ У БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Гоголь М., Більський М., 2010

Підвищення конкурентоспроможності сталевих конструкцій вимагає удосконалення конструктивних форм, зменшення маси матеріалу підвищення технологічності їх виготовлення та монтажу є сьогодні актуальною проблемою. Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є розроблення нових, раціональних методів регулювання напружено-деформованого стану сталевих конструкцій з метою зниження матеріаломісткості, витрат праці та енергії під час їх виготовлення і монтажу.

Традиційний метод регулювання напружено-деформованого стану металоконструкцій за допомогою попереднього напруження застосовується давно. Для балок і ферм цей метод описали повно автори роботи [2]. До того ж, незважаючи на порівняно меншу матеріаломісткість попередньо напружених металевих конструкцій, їх застосування нині є обмеженим, що зумовлено додатковими витратами праці та енерговитратами на створення попереднього напруження, що збільшує їх собівартість. Такі недоліки відсутні для конструкцій, запроєктованих з регулювання зусиль без попереднього напруження [1, 3–6]. Регулювання напружено-деформованого стану конструкцій у такому разі відбувається вже на стадії їх проектування методом розрахунку таких співвідношень жорсткісних параметрів елементів конструкцій, які дозволяють досягти рівнонапруженості в їх розрахункових перерізах.

Регулювання зусиль у сталевих конструкціях методом попереднього напруження найдоцільніше застосовувати під час посилення поздовжньо стиснутих елементів під експлуатаційним навантаженням [7]. Необхідно відзначити, що особливості регулювання зусиль у таких сталевих конструкціях як балки, ферми під час їх виготовлення, монтажу, реконструкції та підсилення висвітлені не повністю.

Метою роботи є узагальнення практичного досвіду, впровадження основ теорії і практики регулювання зусиль у сталевих конструкціях, як для новоспоруджуваних об'єктів, так і для їх підсилення під час реконструкції існуючих конструктивних елементів будівель та споруд у разі їх реконструкції.

Створення раціональнішого конструктивного рішення в проектуванні конструкції будь-якої споруди полягає у визначенні її геометричної схеми (топології), типів закріплення на опорах, а також її елементів між собою, забезпеченні передавання зовнішніх навантажень відповідно до прийнятої розрахункової схеми, виконанні вимог технологічності та економічності, врешті-решт, за обов'язкового дотримання нормативних умов. Досягнення такої мети, насамперед, забезпечується під час проектування конструкцій, використовуючи можливість регулювання їх напружено-деформованого стану (НДС) за рахунок концентрації матеріалу в основних їх елементах та раціональних співвідношень їх жорсткостей [1, 3–6].

Найперспективнішими в цьому напрямку є комбіновані системи (рис. 1), в яких головним несівним елементом є балка жорсткості. Маса останньої в окремих конструкціях перевищує 60 % загальних витрат матеріалу, тому підвищення ефективності її роботи забезпечується рівнонапруженістю її розрахункових перерізів, кількість яких пов'язана з кількістю проміжних опор, що визначається кількістю елементів підтримуючої пружної системи (стояків чи розкосів шпренгельної системи, або вантів у вантовій системі). У цих випадках доцільно регулювати пружність таких опор і відстань між ними.

Розрахункова модель комбінованої системи будується за принципом двох етапів – декомпозиції і синтезу, тобто, виокремлення з комбінованої конструкції (рис. 1) балки жорсткості, як основного за масою її елемента шляхом заміни шпренгельних елементів пружними опорами так, щоб перетворена система під дією всіх факторів деформувалась так, як задана [1, 6].

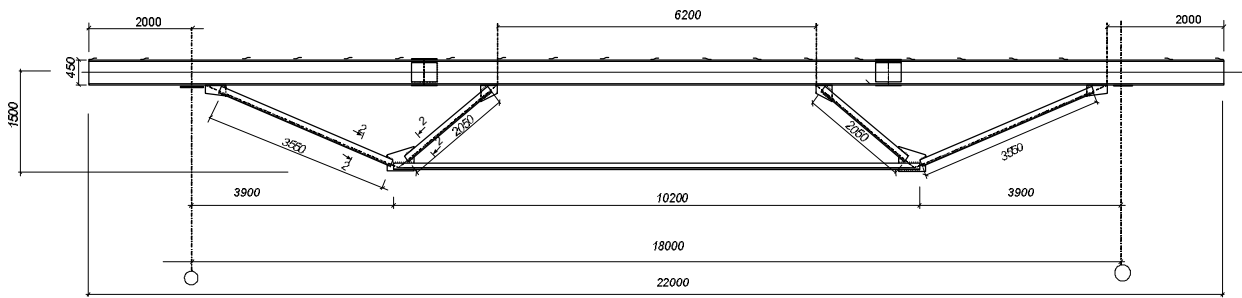


Рис. 1. Статично невизначена комбінована конструкція перекриття

Отже, розрахункова модель комбінованої системи – шпренгельної чи вантової, узагальнено може бути змодельована балкою з пружними проміжними опорами, в місцях кріплення до балки жорсткості елементів підкріплюючої системи (рис. 2).

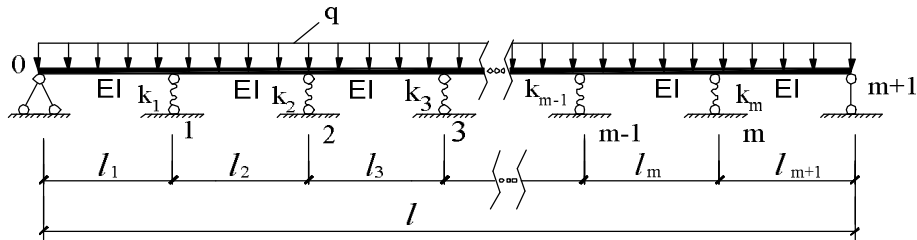


Рис. 2. Схема узагальненої розрахункової моделі

Для уточнення розрахункової моделі, поданої на рис. 2, потрібно з'ясувати, яка мінімальна кількість елементів підкріплення, тобто пружних опор, здатна створити у балці жорсткості необхідну кількість розрахункових перерізів у разі одночасного забезпечення потрібної за нормами жорсткості системи. Для цього скористаємося законами потенційної енергії деформації систем, а також залежністю їх маси від кількості опор. Враховуючи їх, встановлено, що із зростанням кількості «n» прогонів балки жорсткості (що відповідає n-1 кількості її підкріплень вантами чи стояками шпренгельної системи), до нескінченності, енергія її деформації, а також її маса прямує до нуля (рис. 3).

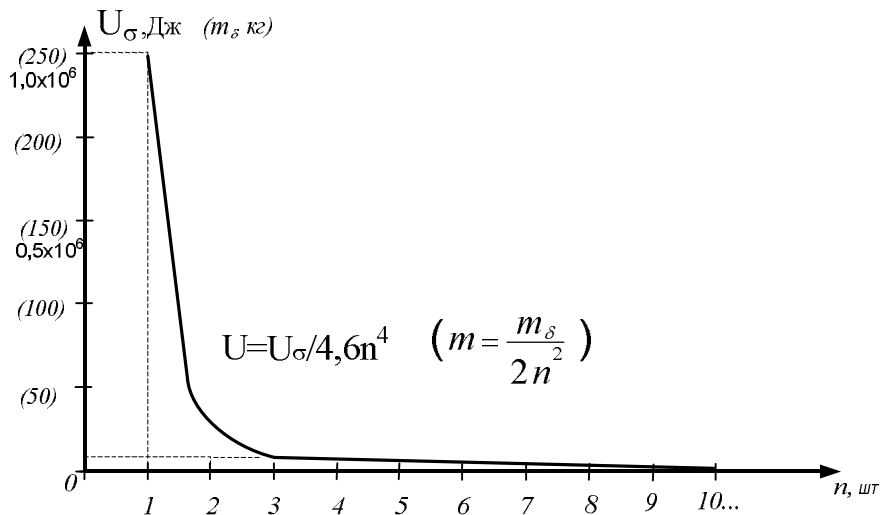


Рис. 3. Залежність енергії деформації балки від кількості прогонів

Відповідно до цього розроблена узагальнена розрахункова модель основного елемента і балки жорсткості комбінованої системи, що являє собою багатопрольотну балку з наявністю або відсутністю в ній розпору (поздовжньої сили). Запропонована модель (рис.2) дозволяє використовувати єдиний метод розрахунку таких комбінованих систем, згідно з яким невідомими є осідання та повороти пружних опор та реакції в них. Для зв'язку між невідомими осіданнями та реакціями опор використано залежність Вінклера

$$R_i = k_i \Delta_i \quad (i = 1, m - 1) \quad (1)$$

де R_i – реакція пружної опори “ i ” у кН; k_i – коефіцієнт жорсткості пружної опори “ i ” у кН/м; Δi – осідання пружної опори “ i ” у м. Для обчислення деформацій балки як на пружних опорах, так і у проміжках між ними, накладені додаткові зв’язки. Перетворена система подана на рис. 4. На ній нумерацію невідомих переміщень a_i ($i = \overline{1, n}$) виконано так, щоби прогини балки мали парні індекси. Як доведено в [1], невідомі переміщення a_i ($i = \overline{1, n}$) перетвореної системи, що на рис. 4, можуть бути знайдені в результаті розв’язування матричного рівняння методу деформацій (переміщень).

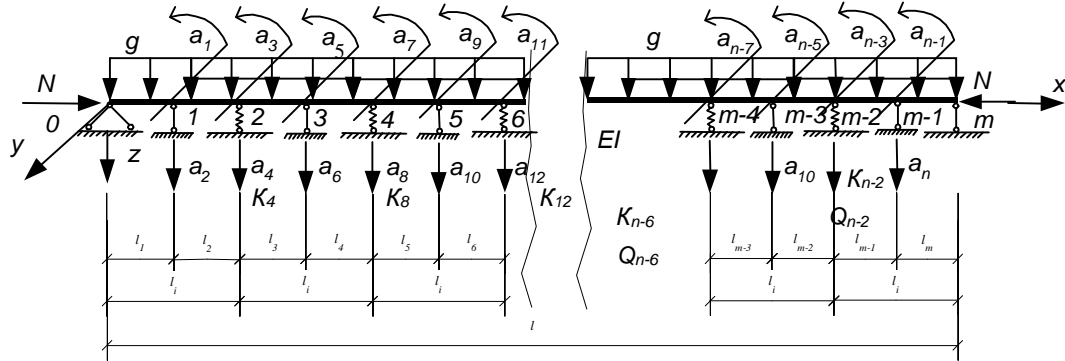
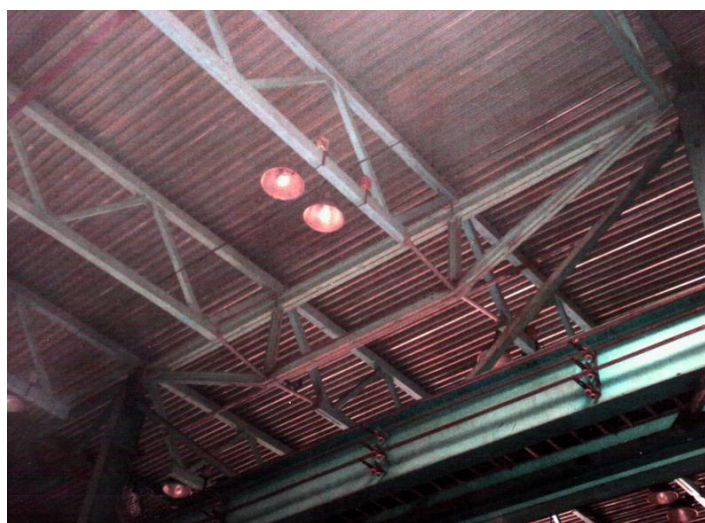


Рис. 4. Перетворена система



а



б

Рис. 5. Підкрів'яна балко-ферма $L=12$ м. Завод експериментальних механічних випробувань, м. Львів, а – загальний вигляд, б – фрагмент

$$R\vec{A} + \vec{R}_q = 0, \quad (2)$$

де

$$\vec{A} = [a_1 a_2 a_3 \dots a_{n-3} a_{n-2} a_{n-1} a_n]^T, \quad (3)$$

$$\vec{R}_q = [R_{1q} R_{2q} R_{3q} \dots R_{n-3,q} R_{n-2,q} R_{n-1,q} R_{nq}]^T. \quad (4)$$

Елементи матриці R та компоненти вектора \vec{R}_q знаходять из графіків одиничних функцій $\vec{j}_i (i = \overline{1, n})$ та функції M_q^0 у перетвореній системі. Детальніше методика розрахунку комбінованих систем викладена в роботах [1, 6]. Запропонований і розроблений принципово новий метод регулювання НДС комбінованих систем дав можливість їх широкого впровадження в практику (рис. 5–8). Цей метод дає можливість шляхом регулювання зусиль у балці жорсткості залежно від заданого за розрахунком осідання її пружинних опор отримати рівнонапружений стан балки як на опорах, так і в прольотах.



Рис. 6. Балко-ферма перекриття



Рис. 7. Загальний вигляд балко-ферми перекриття під час будівництва



Рис. 7. Балко-ферми перекриття в складі монолітного залізобетонного перекриття

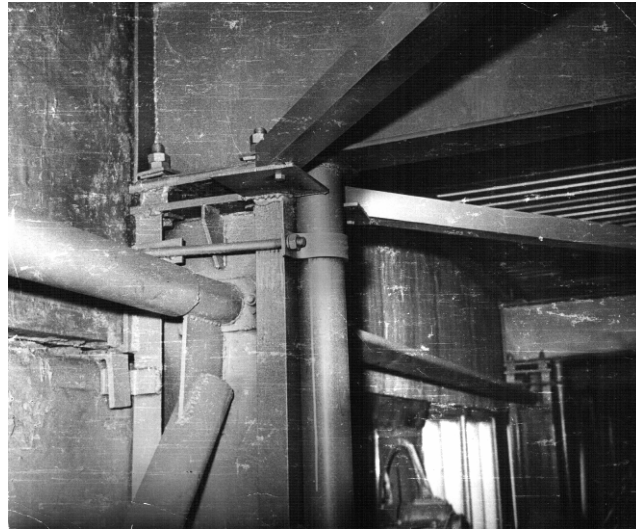


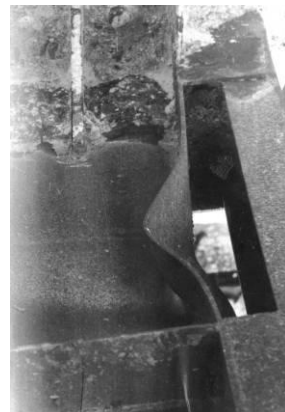
Рис. 9. Посилення колон цеху Калуського ВО "Нафтобурмаширемонт" регулюючими елементами з труб (м. Калуш, Івано-Франківської обл.)



а



б



в

Рис. 10. Посилення сильно деформованих колон естакади Рівненського ВО "Азот" а, б, в – фрагменти



Рис. 11. Посилення стиснутих розкосів ферм покриття прольотом 36 м котельні Бурштинської ТЕС

Регулювання НДС сталевих конструкцій, які перебувають в умовах експлуатації доцільно виконувати під час їх посилення під експлуатаційним навантаженням [7]. Величина регулюючого (розвантажуючого) зусилля може визначитися з умов, як рівнонапруженості на контакт основного і посилюючого перерізів, так і додаткового зменшення деформацій (прогинів) посилених конструкцій. Остання умова враховувалась у разі посилення поздовжньо стиснутих конструкцій (стійок, колон, великопрогінних ферм покриття) промислових будівель: Калуського підприємства “Нафтобурмашремонт” (рис. 9), Рівненського ВО “Азот” (рис. 10), Бурштинської ТЕС тощо (рис. 11).

Висновки. 1. Розроблено новий метод розрахунку комбінованих систем за їх деформованими схемами, який дозволяє виконувати потрібне регулювання зусиль у балці жорсткості без її попереднього напруження.

2. Запропонована методика регулювання зусиль у комбінованих системах дає системи, вигідніші, ніж відомі, що підтвердила практика.

3. Елементи підкріплення балки жорсткості запропонованої методики регулювання потрібно проектувати не із високоміцної, а звичайної сталі, що вигідніше.

4. Практичний досвід посилення металевих конструкцій під навантаженням підтвердив ефективність регулювання їх напружено-деформованого стану методом попереднього напруження, яке дозволяє зняти навантаження з посилюваних елементів, зменшивши, отже, їхні прогини. За рахунок останнього додатково збільшується несівна спроможність повздовжньо-стиснутих конструкцій.

1. Гоголь М.В. Узагальнений метод розрахунку металевих конструкцій з регулюванням зусиль // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. 2002. – №462. – С. 25–34.

2. Металлические конструкции / Беленя Е.И., Стрелецкий Н.Н., Веденников Г.С., Клепиков Л.В., Морачевский Т.Н. – М.: Стройиздат, 1991. – 687 с.

3. Пат.50014 А Україна, МКИ 7 E04C3/10 B66C17/00. Балкова конструкція: Пат.50014 А Україна, МКИ 7 E04C3/10 B66C17/00 Гоголь М.В., Гайда О.М. М.(Україна) - № 99127148; Заявл.28.12.99; Опуб. 15.10.02 – 2 с.

4. Пат. 46983 А Україна, МКИ 7 E04C3/10. Прогінна конструкція: Пат.46983 А Україна, МКИ 7 E04C3/10 Гоголь М.В., Гайда О.М., Чайка Б.С. (Україна) - № 2001031714; Заявл. 14.03.01; Опубл. 17.06.02. – 2 с.

5. Пат. 48841 А Україна, МКИ 7 E04C3/08. Шпренгельна балка: Пат. 48841 А Україна, МКИ 7 E04C3/08 Гоголь М.В., Чайка Б.С., Гайда О.М., Надала І.В.(Україна) - № 2001128874; Заявл. 21.12.01; Опубл. 15.08. 02. – 2 с.

6. Пермяков В.О., Гоголь М.В. Проблема напружено-деформованого стану плоских стержневих металевих конструкцій // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. 2004. – 4 с.

7. Бельский М.Р. Усиление сжатых стержней стальных конструкций под эксплуатационной нагрузкой. – М.: Стройиздат, 1984. – 153 с.