

УДК 624.21.004.69

**ПРОСТОРОВИЙ РОЗРАХУНОК КОМБІНОВАНИХ
ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ШПРЕНГЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**A SPATIAL CALCULATION OF COMBINEED PREVIOUSLY
SPRENDED STEEL-BASED CONCRETE SPROGENER
CONSTRUCTIONS**

Іваник І.Г., к.т.н., доцент (Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів), Іваник Ю.І., к.т.н., асистент (Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів)

Ivanyk I.G., Ph.D., Associate Professor (National University "Lviv Polytechnic", Lviv), Ivanyk Yu.I., Ph.D., assistant (National University "Lviv Polytechnic", Lviv)

Розроблений просторовий розрахунок сталезалізобетонних комбінованих попередньо напружених шпренгельних конструкцій дав можливість запроєктувати систему, несуча здатність якої є більшою за аналогічні конструкції на стадії виготовлення та дії експлуатаційних навантажень.

The proposed method of calculation takes into account the phased construction work at manufacturing stages and loads. The first stage involves the calculation of optimal parameters of a metal statically indeterminate combination spregnel design at the design stage as a metal structure, taking into account the adjustment of forces in its elements by tightening the lower suspension. The second stage includes the calculation of a steel-concrete structure, taking into account the previous tension in its elements. The next stage is the calculation of a combined pre-stressed steel-reinforced concrete rod construction when loaded with a constant and useful load. On the basis of mathematical model, the strength and deformation of structural elements under loads are theoretically investigated, optimal parameters of metallic statically indeterminate pre-stressed combined spregnel constructions are calculated in complex stress-strain state.

Ключові слова: комбіновані системи, рівняння зусиль і переміщень, лінійні алгебраїчні рівняння, шпренгельні конструкції, попереднє напруження.

Keywords: combined system equation efforts and displacements, linear algebraic equations, trussing the design, pre-tension.

Вступ. Застосування комбінованих сталезалізобетонних конструкцій в будівництві дає можливість зменшити витрати бетону й сталі порівняно з аналогічними запроєктованими залізобетонними чи металевими конструкціями [1-3]. Особливістю запропонованих конструкцій, як показують проведені теоретичні та еспериментальні дослідження, є те, що по довжинах ділянок верхні сталезалізобетонні елементи сприймають зусилля стиску і згину, а елементи підвіски сприймають зусилля розтягу або стиску (рис.1).

Впровадження комбінованих сталезалізобетонних шпренгельних систем при будівництві будівель та споруд невід'ємно пов'язані з проблемами їх розрахунку. Методи розрахунку комбінованих попередньо напружених сталезалізобетонних шпренгельних конструкцій значно відстають від методів розрахунку залізобетонних, металевих чи сталезалізобетонних елементів. З метою підвищення ефективності та більш широкого розповсюдження попередньо напружених шпренгельних конструкцій ПНШК необхідне подальше вдосконалення теорії й методів їх розрахунку.

Для ефективної роботи таких конструкцій необхідно визначити їх раціональні геометричні характеристики, міцність та деформативність елементів.

Запропонований метод розрахунку враховує поетапну роботу конструкції на стадіях виготовлення і дії експлуатаційних навантажень.

Перший етап передбачає розрахунок оптимальних параметрів металевої статично невизначеної комбінованої шпренгельної конструкції на стадії проектування як металевої конструкції з врахуванням регулювання зусиль в її елементах (балці жорсткості) за допомогою затяжки нижньої підвіски.

Другий етап включає в себе розрахунок як сталезалізобетонної конструкції з врахуванням попереднього напруження в її елементах.

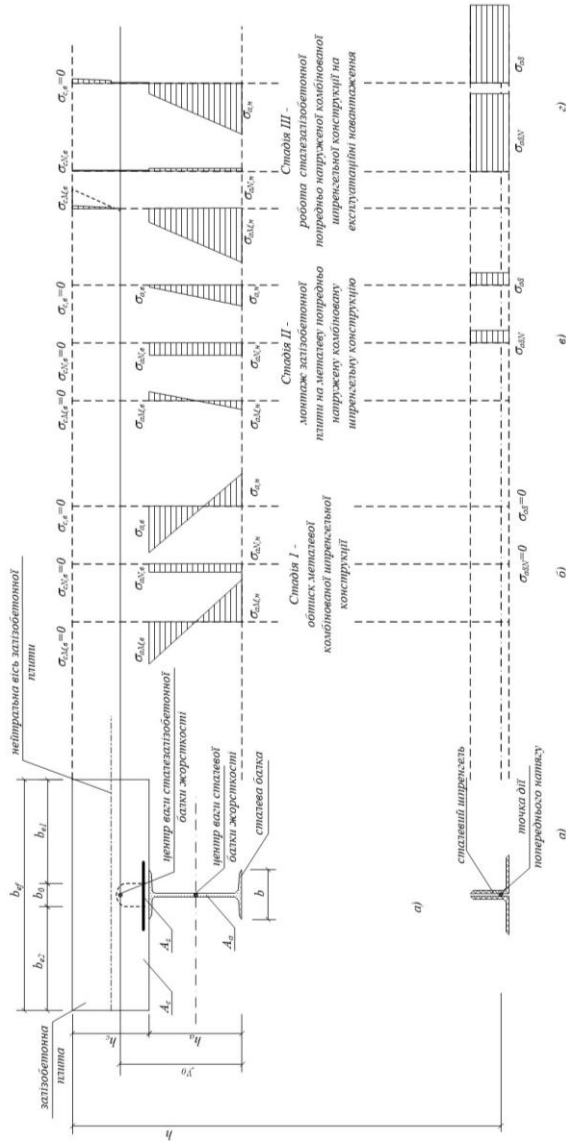


Рис. 1. Епюри напружень при різних стадія навантаження балки жорсткості: а) розрахункова схема сталезалізобетонного перерізу; б) епюра напружень у першій стадії; в) епюра напружень у другій стадії; г) епюра напружень у третій стадії.

Наступний етап – розрахунок комбінованої попередньо напруженої сталезалізобетонної шпренгельної конструкції при завантаженні постійним і корисним навантаженням.

Постановка задачі. Сталезалізобетонну комбіновану попередньо напружену шпренгельну конструкцію, зображену на рис.2, при розрахунку замінимо спрощеною дискретною фізичною моделлю у вигляді стержневої статично невизначеної системи, елементи якої представляють геометричні осі сталезалізобетонної балки, уявно розчленованої залізобетонної плити і підвіски, жорсткість яких у статичній схемі відповідає їхнім фактичним жорсткостям (рис.3).



Рис. 2. Просторова сталезалізобетонна комбінована попередньо напружена шпренгельна конструкція

Розглянемо сталезалізобетонну конструкцію, що складається з $n_l=2$ поздовжніх металевих статично невизначених комбінованих попередньо напружених шпренгельних конструкцій, які об'єднані в сумісну просторову роботу за допомогою монолітної залізобетонної плити розмірами $B \times A = 3 \times 6$ м (рис.3). Також уявно розділимо плиту в поперечному напрямку на окремі $m_j=j$ ($j=1, \dots, k$) частини відповідних розмірів. Таким чином отримуємо просторову перехресно ребристу комбіновану попередньо напружену сталезалізобетонну шпренгельну конструкцію, яка складається: а) в поздовжньому напрямі OX з двох попередньо напружених сталезалізобетонних балок і попередньо напруженої залізобетонної балки; б) в поперечному напрямку OY з $m = 7$ залізобетонних балок.

Математична модель металеві статично невизначеної комбінованої шпренгельної конструкції (МШК). Окремо взята комбінована металева шпренгельна конструкція, що складається з балки жорсткості і елементів ферми, завантажена зосередженим вузловим навантаженням $P=q_l * d_l * l_i$ (рис.4).

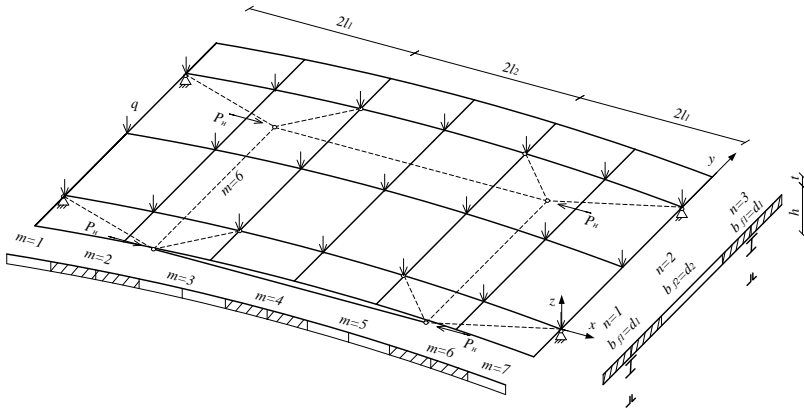


Рис. 3. Дискретна фізична модель просторової комбінованої попередньо напруженої сталезалізобетонної шпренгельної конструкції

У розрахунковій схемі від дії одиночного моменту, прикладеного в вузлі n балки, виникають пружні реакції I/l_{n-1} і I/l_n , які передаються на суміжні вузли $n-1, \dots, n+1$ балки, від дії яких виникають поздовжні сили N_u в усіх елементах комбінованої конструкції (рис.4).

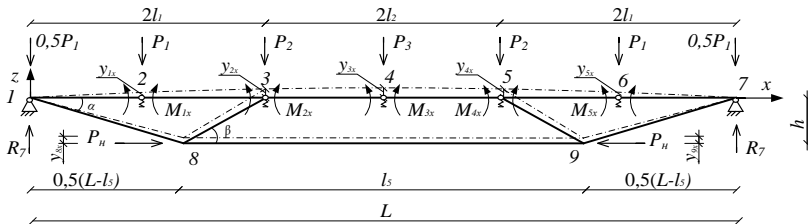


Рис. 4. Розрахункова схема комбінованої сталезалізобетонної попередньо напруженої шпренгельної балки (ПНШК)

Для пружно-просідаючого вузла $w_{i,j}$ в напрямку осі OX з врахуванням сумісної дії згинальних моментів, поздовжніх, поперечних і обтискаючих сил рівняння має наступний вигляд:

$$\Delta_{xi-2,j} X_{xi-2,j} + \Delta_{xi-1,j} X_{xi-1,j} + \Delta_{xi,j} X_{xi,j} + \Delta_{xi+1,j} X_{xi+1,j} + \dots + \Delta_{i,j} P = 0, \quad (1)$$

а в напрямку осі OY з врахуванням лише дії згинальних моментів і поперечних сил:

$$\Delta_{yj-2,i} X_{yj-2,i} + \Delta_{yj-1,i} X_{yj-1,i} + \Delta_{yj,i} X_{yj,i} + \Delta_{yj+1,i} X_{yj+1,i} + \dots + \Delta_{j,i} P = 0. \quad (2)$$

В поперечному напрямі розрахункова схема балки матиме вигляд (рис.5):

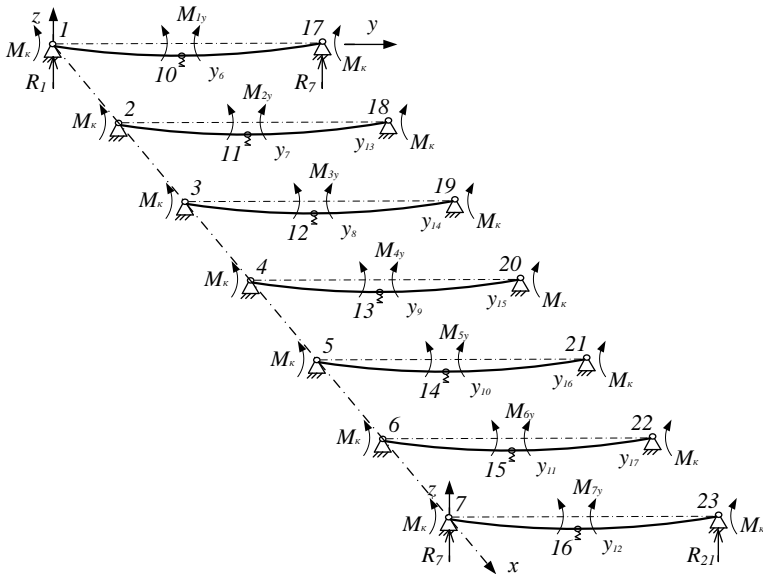


Рис.5. Розрахункова схема залізобетонних поперечних балок

Рівняння нерозривності деформацій (1), (2) відображають взаємозалежність невідомих згинальних моментів по довжині балки жорсткості, відкинутих невідомих поздовжніх сил у відкосах шпренгельної системи та вертикальних переміщень всіх вузлів комбінованої конструкції. До рівнянь нерозривності деформацій (1), (2), яких недостатньо для знаходження невідомих X і U , додаємо рівняння статки, які знаходимо з рівноваги панелей і вузлів ферми.

Отримані рівняння нерозривності деформацій (1), (2) і статки формують систему лінійних алгебраїчних рівнянь, достатньої для знаходження невідомих згинальних моментів M_i ($i=1, \dots, 5$), прогинів y_j ($j=1, \dots, 7$) і поздовжніх сил N_u ($u=1, \dots, 8$).

Коефіцієнти при невідомих рівнянь i -тих зусиль (1), (2), наприклад, запишуться у вигляді:

$$\delta_{11} = \frac{2l_1}{3EI_1} - \mu \frac{2}{l_1 6A_1} + \frac{2\bar{N}_{11}^2 l_1}{6EA_1} + \frac{2\bar{N}_{12}^2 l_2}{6EA_2} + \frac{2\bar{N}_{13}^2 l_1}{6EA_3} + \frac{\bar{N}_{14}^2 h}{6 \sin \alpha EA_4} + \frac{\bar{N}_{15}^2 h}{6 \sin \beta EA_5} + \frac{\bar{N}_{16}^2 h}{6 \sin \beta EA_6} + \frac{\bar{N}_{17}^2 h}{6 \sin \alpha EA_7} + \frac{\bar{N}_{18}^2 (l - 2h \times ctg \alpha)}{6EA_4} \quad (3)$$

де \bar{N}_{ij} – величини поздовжніх сил від дії одиничних моментів у вузлах балки металевої комбінованої шпренгельної конструкції.

На основі розробленої математичної методики розрахунку комбінованої конструкції складений алгоритм і програма розрахунку на ЕОМ.

Розв'язок скінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь передбачає одержання розподілу параметрів напружено-деформованого стану елементів просторової конструкції під дією зовнішнього навантаження.

Умовою розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь є: - рівнонапружений стан елементів балки жорсткості статично невизначеної конструкції: а) $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5$; б) величини отриманих напружень не перевищують розрахункового опору сталі $\sigma_i \leq R_y$; в) максимальний прогин конструкції не перевищує допустимих нормами прогинів $f_i \leq [f]$.

Розроблена математична модель комбінованої конструкції задовільняє трьом групам умов:

- умовам рівноваги ($\sum X_{i,j} = 0$; $\sum Z_{i,j} = 0$; $\sum M_{i,j} = 0$). В матричній формі рівняння статички представлені у вигляді:

$$/A / \{N, M\} = \{F, q\}, \quad (4)$$

- умовам сумісності деформацій, що аналітично пов'язують деформації стержнів і переміщення вузлів системи. Матричний вигляд рівнянь запишеться як:

$$\{\Delta\} = /A /^T \{u\}, \quad (5)$$

- фізичним умовам, які пов'язують зусилля і деформації. В матричній формі фізичні рівняння представлені у вигляді:

$$\{N, M\} = /K / \{\Delta\}. \quad (6)$$

Враховуючи результати проведених теоретичних досліджень, розроблено статично невизначену комбіновану конструкцію, показану на рис.6. Процентне відношення ваги балки жорсткості МШК до ваги конструкції в цілому становить 66, 3%.

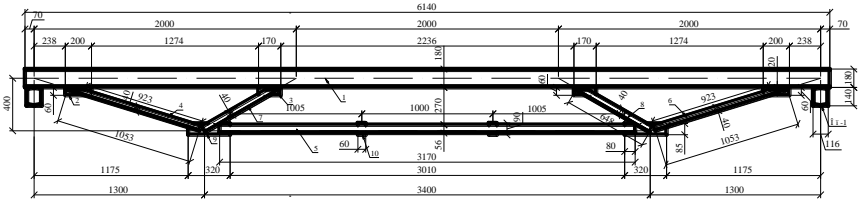


Рис.7. Металева комбінована статично невизначена шпренгельна конструкція, отримана згідно теоретичних досліджень на основі рівнонапруженого стану

За результатами проведених теоретичних досліджень встановлено:

- розрахунок комбінованої конструкції як сталезалізобетонної з врахуванням просторової роботи показує, що резерв несучої здатності в порівнянні з розрахунком в двохосному напруженому стані становить 16%;

- недонапруження перетинів сталезалізобетонної конструкції в порівнянні з металевими дає можливість зменшити величину прокату балки жорсткості на 25%.

[1]. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. Національний стандарт України. – Мінрегіонбуд України. – К., 2009. – (Нормативний документ Мінрегіонбуду України). – 71 с.

[2]. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. Друга редакція (остаточна): ДБН В.2.6-163:2010. – Мінрегіонбуд України. – К., 2010. – (Нормативний документ Мінрегіонбуду України). – 127 с.

[3]. ДБН В.2.6-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення (Текст) : чинний з 2011-09-01. - К.: Мінрегіонбуд України, 2011. - 55 с.

[4]. Кваша В.Г., Іваник І.Г. Інженерний метод просторового розрахунку плитно-ребристих залізобетонних систем. Проблеми теорії і практики залізобетону / В.Г.Кваша, І.Г.Іваник// Ювілейна науково-технічна конференція, присвячена 100-річчю від дня народження д.т.н., проф. М.С.Торяника: зб. наук. статей. - Полтавський ДТУ ім. Кондратюка.-Полтава, 29-31 жовтня 1997 р. – с.186-189.