

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЗМІНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРУЖНОЇ ОСІ**

Іваник І.Г., Вибранець Ю.Ю., Іваник Ю.І.

Національний університет «Львівська політехніка»  
м. Львів, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Розроблена методика розрахунку зусиль в статично невизначених комбінованих конструкціях при зміні положення математичної осі в балці жорсткості, що дозволяє на початковій стадії проектування моделювати напружено-деформований стан в елементах комбінованих конструкцій.

**АННОТАЦИЯ:** Разработана методика расчета усилий в статически неопределимых комбинированных конструкциях при изменении положения математической оси в балке жесткости, что позволяет на начальной стадии проектирования моделировать напряженно-деформированное состояние в элементах комбинированных конструкций.

**ABSTRACT:** The method of calculation effort in statically indeterminate structures combined with a mathematical change of axis in the beam stiffness, which allows the initial design stage to simulate the stress-strain state in the elements combined is designed.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** напружено-деформований стан, сталезалізобетонні конструкції, рівняння нерозривності деформацій.

### **ВСТУП**

**Мета роботи** - ціллю регулювання напруженого стану будівельних конструкцій є покращення раціональних рішень і технологічних процесів, їх виготовлення, монтажу та роботи при навантаженні. Проблема ж регулювання рівнонапруженого стану в елементах конструкцій на стадії

проектування полягає у використанні методики розрахунку. Одним з напрямків вирішення задачі є використання методу, розробленого й апробованого на плоских перехресно-ребристих системах [1].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Комбіновані континуальні плитно-балочні системи при розрахунках найбільш часто замінюють спрощеними дискретними фізичними моделями у вигляді стержневої статично невизначеної системи, елементи якої представляють геометричні осі балки і елементів підвіски, жорсткість яких у статичній схемі відповідає їхнім фактичним жорсткостям.

Розглянемо сталезалізобетонну конструкцію, що складається з  $n=2$  поздовжніх металевих статично невизначених комбінованих конструкцій, які об'єднані в сумісну просторову роботу за допомогою монолітної залізобетонної плити (рис. 1).



Рис. 1. Просторова комбінована статично невизначена сталезалізобетонна конструкція

Окремо взята комбінована металева статично невизначена конструкція, що складається з балки жорсткості і елементів ферми, завантажена рівномірно розподіленим навантаженням  $q$ . Схема завантаження конструкції показана на рис. 2. У результаті деформацій балки під навантаженням у статично невизначеній конструкції виникають не тільки зусилля, а й змінюються положення пружної осі балки і відповідно всіх вузлів ферми (рис. 3).

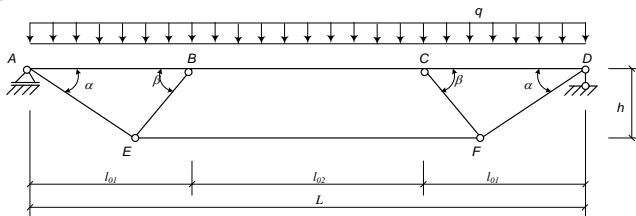


Рис. 2. Вигляд комбінованої статично невизначеної конструкції

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

Для подальшого розв'язку системи використаємо методику введення уявних шарнірів [1] для характерних в системі перерізів: в місцях можливих максимальних моментів в середніх частинах прольотів  $l_{01}$  і  $l_{02}$ . Розрахункову схему такої конструкції зображено на рис. 3.

Розрахункова схема системи при введенні в верхньому поясі уявних шарнірів змодельована як конструкція, в якій у верхньому поясі основними зусиллями є невідомі згинальні моменти, поперечні і поздовжні сили, в нижній частині ферми виникають лише поздовжні зусилля (рис. 3).

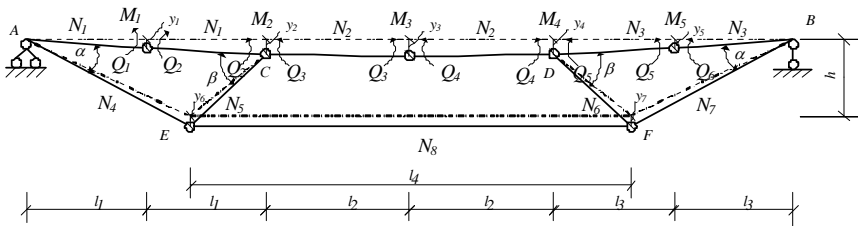


Рис. 3. Розрахункова схема комбінованої конструкції

В результаті деформацій комбінованої статично невизначеної конструкції під навантаженням, відповідно, змінюється положення її пружної осі. Позначимо через  $n=0, \dots, i$  кількість характерних перерізів балки, в яких прикладені зовнішні навантаження або змінюються жорсткісні характеристики.

Запропонована методика базується на заміні фактичної пружної зігнутої осі балки на фіктивну з введенням уявних шарнірів з одночасним прикладанням згинаючих моментів в характерних точках, яким в реальній балці відповідають точки прикладання зовнішніх сил або перерізи зміни жорсткісних характеристик. Передбачається, що одночасне введення уявних шарнірів і відповідних згинаючих моментів не змінює положення фактичної пружної осі. Таким чином, пружну зігнуту вісь зобразимо як вісь з  $n=0, \dots, i$  кількістю проміжних шарнірів, які внаслідок деформації змістились у вертикальному напрямі відповідно на величину  $y_{np}$  ( $n=0, \dots, i$ ). Рівняння нерозривності деформацій (рівняння  $i$ -тих зусиль) [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. На основі розробленої математичної методики розрахунку комбінованої конструкції складено алгоритм і програма розрахунку на ЕОМ.

При влаштуванні сталезалізобетонної статично невизначеної конструкції, зображеної на рис. 1, проходить зміщення нейтральної осі балки жорсткості з причини зміни величини приведенного перерізу – від металеві балки жорсткості до сталезалізобетонної (рис. 4).

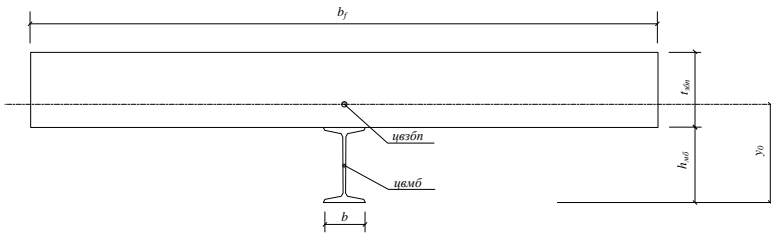


Рис. 4. Поперечний переріз сталезалізобетонної комбінованої конструкції

Зміна жорсткісних параметрів балки  $B(x)$  призводить до зміни топології статично невизначеної комбінованої сталезалізобетонної конструкції, а саме (рис. 5, рис. 6): проходить вертикальне зміщення математичної осі з положення  $A-B$  в положення  $A'-B'$  балки жорсткості; відбувається відповідне зміщення точок перетину осей дії поздовжніх сил елементів підвіски з новою нейтральною віссю - з точок  $A, B, C, D$  в точки  $A', B', C', D'$ ; змінюються величини крайніх – від  $l_1$  до  $l'_1=l_1+\Delta y_0/\operatorname{tg}\alpha + \Delta y_0/\Delta\beta$  - (збільшуються) і проміжних від  $l_2$  до  $l'_2=l_2 - 2\Delta y_0/\operatorname{tg}\beta$  - (зменшуються) прольотів балки жорсткості; збільшується висота самої конструкції: від  $h$  до  $h'=h+\Delta y_0$ . При переміщенні математичної осі на величину  $\Delta y_0$ ; (рис. 5) у верхньому опорному вузлі виникає вже на стадії влаштування монолітної залізобетонної плити від'ємний згинальний момент  $M_A$ , спричинений дією вертикальної складової  $N_{4y}$  поздовжньої сили  $N_4$  в крайньому підкосі на величину горизонтального зміщення з точкою перетину математичної осі в сталезалізобетонній балці жорсткості  $\Delta y_0/\operatorname{tg}\alpha$ .

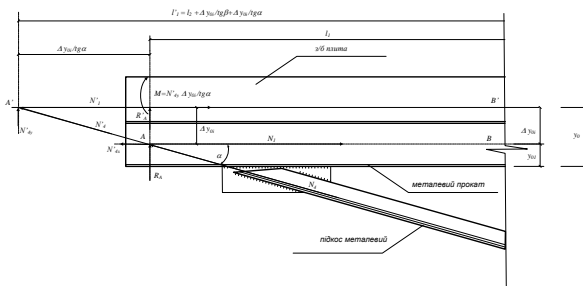


Рис. 5. Крайній опорний вузол сталезалізобетонної комбінованої конструкції



$$\delta_{11} = \frac{2l'_1}{3EI_{red1}} - \mu * \frac{2}{l_1 GA_{red1}} + \frac{2\bar{N}_{11}^2 * l'_1}{6EA_{red1}} + \frac{2\bar{N}_{12}^2 * l'_2}{6EA_{red2}} + \frac{2\bar{N}_{13}^2 * l'_1}{6EA_{red3}} \quad (2)$$

$$+ \frac{\bar{N}_{14}^2 * h'}{6\sin \alpha EA_4} + \frac{\bar{N}_{15}^2 * h'}{6\sin \beta EA_5} + \frac{\bar{N}_{16}^2 * h'}{6\sin \beta EA_6} + \frac{\bar{N}_{17}^2 * h'}{6\sin \alpha EA_7} + \frac{\bar{N}_{18}^2 * (-2h' * ctg \alpha)}{6EA_8},$$

де  $\bar{N}'_{ij}$  – величини поздовжніх сил від дії одиничних моментів у

вузлах балки комбінованої конструкції при зміненому положенні нейтральної осі;

$l'_1, l'_2$  – величини відповідно крайнього і середнього прольотів балки жорсткості;

$h'$  – математична висота сталезалізобетонної конструкції;

$EI_{red1}, GA_{red1}, EA_{red1}, EA_{red2}$  – величини жорсткісних параметрів прольотів балки жорсткості.

## ВИСНОВОК

Запропонований принцип введення уявних шарнірів в прийнятій розрахунковій схемі статично невизначеної комбінованої сталезалізобетонної конструкції можна віднести до універсальної і її застосування дає можливість більш простим способом на початковій стадії проектування за рахунок математичного апарату моделювати напружено-деформований стан в елементах конструкції, що дає можливість економніше запроектувати конструкцію в цілому, в тому числі при зміні положення марематичної осі балки жорсткості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кваша В.Г. Інженерний метод просторового розрахунку плитно-ребристих залізобетонних систем / В.Г. Кваша, І.Г. Іваник // Проблеми теорії і практики залізобетону. Збірник наукових статей. – Полтава: ПНТУ, 1997. – С. 186-189.
2. Іваник І.Г. Розрахунок статично невизначених конструкцій / І.Г. Іваник, М.В. Гоголь, С.І. Віхоть // Дороги і мости: зб. наук. праць. – К.в, 2006. – №6. – С. 33-42.

Стаття надійшла до редакції 25.02.2013 р.