

УДК 624.21.004.69

РОЗРАХУНОК ПІДСИЛЕННЯ ПЕРЕКРИТТЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЮ КОНСТРУКЦІЮ

CALCULATION OF SLABS STRENGTHENING BY COMPOSITE STEEL CONCRETE CONSTRUCTION

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

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

Розроблений розрахунок залізобетонного деформованого перекриття з використанням математичної моделі на основі рівнянь статички та нерозривності деформацій з врахуванням фізичної нелінійності дав можливість запроєктувати і виконати підсилення перекриття як комбінованих сталезалізобетонних конструкцій.

Developed calculation of deformed concrete slabs with the mathematical models based on equations of statics and the continuity of the deformation with account of physical nonlinearity gave the possibility to design and perform the strengthening of the slab as composite steel concrete structures.

Results of the conducted theoretical researches established that the calculation of the composite structures such as steel and concrete, with the three-dimensional work shows that the reserve of the bearing capacity in comparison with the calculation in the three-dimensional work is 17%.

Ключові слова: комбіновані системи, рівняння зусиль і переміщень, лінійні алгебраїчні рівняння.

Keywords: combined system, equation efforts and displacements, linear algebraic equations.

Комбіновані сталезалізобетонні конструкції представляють собою просторові системи, точний розрахунок яких є складним. Зазвичай, їх розраховують, розділяючи просторові конструкції на ряд плоских систем.

В залежності від величини напружень стиску, які виникають в залізобетонній плиті, розрізняють декілька розрахункових випадків роботи об'єданого перерізу. Основною розрахунковою схемою об'єданого перерізу є пружна його робота, яка основана на гіпотезі плоских перерізів і пропорційності напружень і деформацій [2]. Дану розрахункову схему приймають в усіх випадках, коли найбільші напруження в плиті не перевищують розрахункового опору бетону на стиск. Її використовують також для визначення деформацій об'єднаних конструкцій.

Аналіз роботи комбінованих металевих конструкцій ще на стадії їх проектування дає можливість досягнути шляхом оптимізаційних розрахунків значної економії в витратах матеріалів [1], [3]. Ефект зменшення витрат матеріалів стає більшим при поєднанні в сумісній роботі металевих комбінованих конструкцій і залізобетонної плити в умовах регулювання зусиль.

Пропонується комплекс розрахунково-конструктивних і технологічних рішень на прикладі підсилення залізобетонного перекриття (рис.1, а), яке за період експлуатації отримало понаднормові прогини (більше 6 см). Прийняті рішення дозволили раціонально сформувати напружено-деформований стан в перерізах сталезалізобетонних систем, з яких утворюється конструкція перекриття (рис.1, б, в).

При розробці робочого проекту підсилення спеціалістами кафедри «Будівельне виробництво» Національного університету «Львівська політехніка» було запропоновано для влаштування комплексу підсилення деформованого залізобетонного перекриття з використанням комбінованих сталезалізобетонних конструкцій. Перед виконанням робочого проекту на підсилення було виконано детальне технічне обстеження. Будівля напівкаркасна і представляє собою трьохповерховий прямокутний в плані будинок, розмірами 50x20 м.

Остов будівлі складають цегляні поздовжні та поперечні стіни товщиною 51 см та проміжні цегляні колони перерізом 64x64 см. Висота поверху становить 3,3 м. Крок колон по буквених осях становить 5.5 м. Колони, які мали недостатню несучу здатність, були підсилені металевими обоймами з кутиків, зв'язаних між собою пластинами (рис.3). Товщина залізобетонного перекриття складає 10 см. Залізобетонне перекриття по контуру опирається на сталі двотаврові балки №45 і на крайні цегляні стіни.

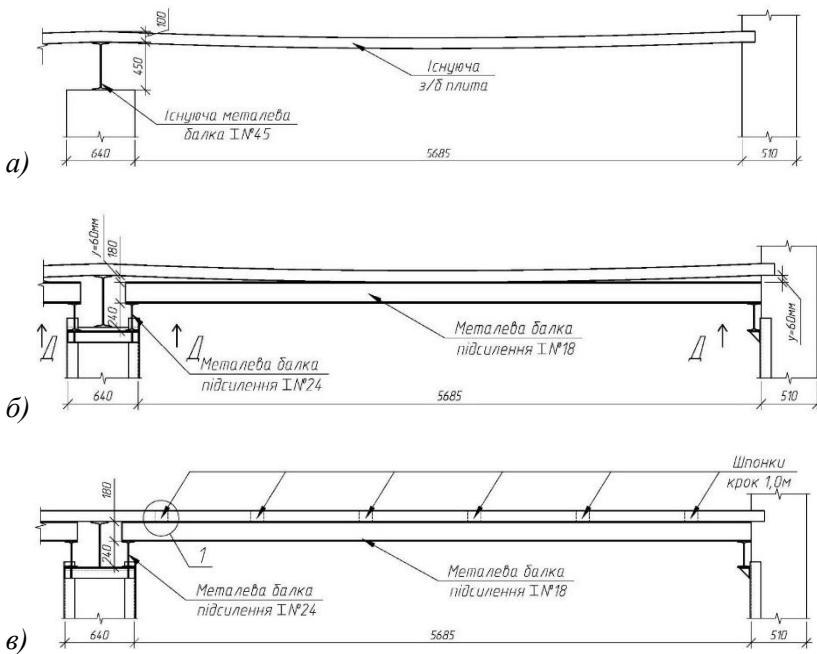


Рис.1. Схеми підсилення залізобетонного перекриття: а) – вигляд залізобетонного перекриття до підсилення; б) – влаштування підсилення сталевими балками; в) – забезпечення сумісної роботи залізобетонної плити і сталеві балки

В ході проведеного технічного обстеження встановлено, що залізобетонне перекриття по всій площі будівлі знаходиться в деформованому стані. Прогини в середній частині становлять до 6 см. Клас бетону – С12/15. Армування сіток – діаметром 12 мм класу А400С з кроком 150x150 мм. Бетон недостатньо провібрований, а захисний шар армування не відповідає конструктивним вимогам.

Практично по всій нижній поверхні залізобетонного перекриття виникли тріщини шириною розкриття понад 0.3 мм – в конструкції залізобетонної плити виникли нелінійні деформації.

Регулювання зусиль в комбінованій сталезалізобетонній конструкції забезпечується сумісною взаємодією залізобетонної та сталеві частин. Разом з тим, регулювання напружено-деформованого стану доцільно здійснити одночасно технологічним методом, тобто постадійним включенням в роботу різних частин конструкцій [5].

Розроблена методика розрахунку комбінованих сталезалізобетонних конструкцій передбачає в рівняннях нерозривності деформацій зв'язок між згинальними моментами, поздовжніми силами й вертикальними переміщеннями з врахуванням фізичної нелінійності в конструкції залізобетонної плити перекриття (рис.2).

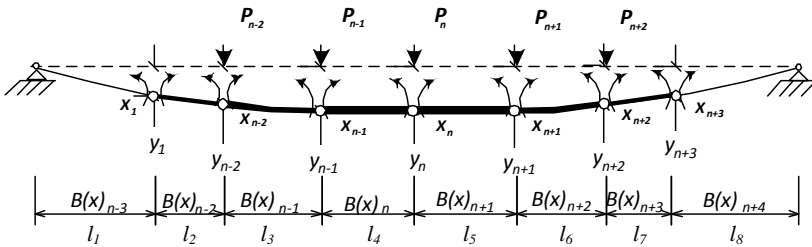


Рис.2. Вісь залізобетонної плити перекриття в деформованому стані.

У випадку зміни положення нейтральної осі рівняння нерозривності деформацій матимуть вигляд:

$$\delta_{n-2} X_{n-2} + \delta_{n-1} X_{n-1} + \delta_n X_n + \delta_{n+1} X_{n+1} + \delta_{n+2} X_{n+2} +$$

$$+ \frac{y_{n-1} + y_{n-1}'}{l_{n-1}} - \frac{(y_n + y_n')(l_{n-1} + l_n)}{l_{n-1} * l_n} + \frac{(y_{n+1} + y_{n+1}')}{l_n} = 0 \quad , \quad (1)$$

де y_{n-2}' , y_{n-1}' , y_n' , y_{n+1}' , y_{n+2}' – відомі величини вертикальних переміщень характерних вузлів конструкції.

Після математичних операцій рівняння нерозривності деформацій матимуть вигляд:

$$\delta_{n-2} X_{n-2} + \delta_{n-1} X_{n-1} + \delta_n X_n + \delta_{n+1} X_{n+1} + \delta_{n+2} X_{n+2} + \quad (2).$$

$$+ \frac{y_{n-1}}{l_{n-1}} - \frac{y_n(l_{n-1} + l_n)}{l_{n-1} * l_n} + \frac{y_{n+1}}{l_n} = - \frac{y_{n-1}'}{l_{n-1}} + \frac{y_n'(l_{n-1} + l_n)}{l_{n-1} * l_n} - \frac{y_{n+1}'}{l_n}$$

Тривалі деформації бетону викликали перерозподіл внутрішніх зусиль в перерізах між існуючими металевими балками і залізобетонною плитою і, як наслідок, зміну напружень в них. У статично невизначній системі тривалі деформації бетону, крім того, викликали зміну зайвих невідомих і, отже, розрахункових зусиль в перерізах.

Окрім напруження від тривалих деформацій бетону, в об'єднаному перерізі виникли також додаткові напруження від різниці температур залізобетонної плити і металевої конструкції, що викликані різкими коливаннями температури зовнішнього повітря. У статично невизначних конструкціях температурні дії можуть викликали і зміну зусиль в системі. Зміна зусиль в перерізах статично невизначних систем від тривалих деформацій бетону і температурних впливів враховується в розрахункових величинах згинальних моментів.

Враховуючи вище вказані фактори, коефіцієнти при невідомих рівнянь (1), (2), наприклад, запишуться у вигляді:

$$\delta_{n,n-1} = \frac{l_{n-1}}{6 * B(x_{n-1})} + \frac{l_n}{6 * B(x_n)} \quad (3)$$

Вираз кривизни і жорсткості з врахуванням пружно-пластичних моментів опору має вигляд:

$$B(x_i) = h_0 z_1 / \left[\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_b}{(\varphi_f + \zeta) \nu E_b b h_0} \right]. \quad (4)$$

Отриманий в ході лінійного розрахунку вектор перерозподілу зусиль і переміщень в вузлах комбінованої системи формує матрицю податливості для наступного розрахунку.

Розв'язок системи рівнянь дозволяє знайти необхідні оптимальні геометричні параметри балки жорсткості комбінованої конструкції, в тому числі з врахуванням зміни положення центру ваги, через який проходить нейтральна вісь перерізу при роботі

комбінованої балки жорсткості на згин від першої частини постійного навантаження [4].

Напруження, які виникають в перерізі внаслідок перерозподілу внутрішніх зусиль між бетоном і металом, визначають, підсумовуючи напруження від першої і другої стадій роботи конструкції. Напруження на краях перерізів металеві балки виражаються у вигляді:

$$\sigma_B = \frac{M^I}{W_{BS}} + \frac{M^{III}}{W_B} - \left(\frac{S_b}{W_B} + \frac{A_b}{A} \right) R_b \leq R, \quad (5)$$

$$\sigma_B = \frac{M^I}{W_{HS}} + \frac{M^{III}}{W_B} - \left(\frac{S_b}{W_H} + \frac{A_b}{A} \right) R_b \leq R, \quad (6)$$

де A , W_H і W_b — площа і моменти опору в металевій частині перерізу, включаючи і поздовжню арматуру плити.

Між залізобетонною плитою і металевією конструкцією при їх спільній роботі виникають зсувні зусилля. Зусилля зсуву від постійного навантаження повинне бути підраховане з врахуванням впливу повзучості бетону.

У статично невизначних системах необхідно також враховувати зміни поперечної сили в перерізі, що виникають від впливу змін температури, повзучості і усадки бетону.

Погонне зусилля зсуву між плитою і металевією частиною перерізу знайдено за формулою:

$$T_0 = \frac{Q^{III} S_{sb}^{II}}{I_{sb}^{II}} + \frac{Q^{IB} S_{sb}}{I_{sb}}, \quad (7)$$

де Q^{II} — поперечна сила в даному перерізі від другої частини постійного навантаження, що діє на об'єднаний переріз; Q^{IB} — поперечна сила від тимчасового навантаження; I_{sb} , S_{sb} — момент інерцій і статичний момент поперечного перерізу плити відносно осі об'єднаного перерізу, з врахуванням впливу повзучості бетону; I_{cm6} , S_{cm6} — момент інерції і статичний момент поперечного перерізу плити відносно осі об'єднаного перерізу при звичайному співвідношенні модулів пружності металу і бетону.

В ході проектування розрахована на міцність конструкція анкерного упору і прикріплення його до верхнього поясу металевієї конструкції (рис.3). По довжині балок упори розміщені на рівних відстанях.

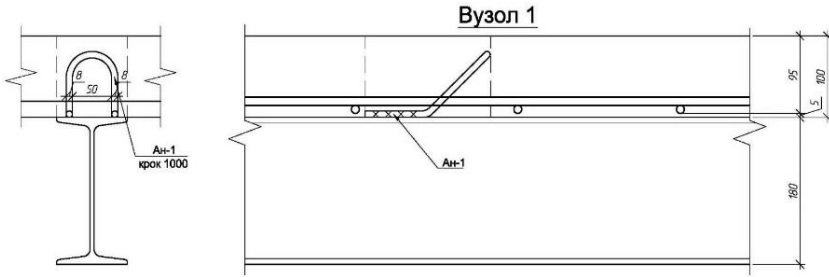


Рис.3. Вузол стику залізобетонної плити і сталеві балки з використанням анкерів

Згідно проведених теоретичних досліджень, розробленої методики та програмного комплексу з розрахунку конструкцій такого типу для підсилення деформованого перекриття використані сталі двотаврові балки №18 (рис.4). По поздовжніх внутрішніх осях влаштовані головні несучі балки з двотаврів №24, які обперті на сталі кутикові обійми та пристінні сталі колони.



Рис.4. Влаштування комбінованого сталезалізобетонного перекриття

Двотаврові сталі балки №18 при монтажі заведені на одну з головних балок, а вільний кінець балки піддомкравувався з влаштуванням його в проектне положення. По довжині балки в залізобетонній плиті влаштовувались отвори, через які до верхньої полиці балки приварювались анкерні стержні (рис. 3). Отвори заповнювались бетоном класу С20/25 (рис. 1, б).

За результатами проведених теоретичних досліджень встановлено, що розрахунок комбінованої конструкції як сталезалізобетонної з врахуванням просторової роботи показує, що резерв несучої здатності в порівнянні з розрахунком в двохосьному напруженому стані становить 17%.

1. Віхоть С.І. Міцність і деформативність комбінованих металевих конструкцій з урахуванням раціонального проектування: автореф. дис. канд. техн. наук /С.І. Віхоть – Львів, 2015. – 20 с.

2. 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.

3. 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.

4. Іваник І.Г. Дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонних конструкцій при зміні положення пружної осі [Текст] /І.Г.Іваник, Ю.Ю. Вибранець, Ю.І. Іваник // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону, Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць. – Київ ДП НДІБК, 2013. – Вип. 78, книга 1. – с. 165-169.

5. Іваник І.Г. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану комбінованих статично-невизначених металевих конструкцій [Текст] /І.Г.Іваник, С.І.Віхоть, Ю.Ю.Вибранець// Вісник національного університету Львівська політехніка «Теорія і практика будівництва». – Львів, 2008. № 627. – с. 106-111.