

## РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОКРИТТЯ ЗІ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОНУ

На основі аналізу основних існуючих залізобетонних конструкцій запропоновано розрахунок нових конструктивних рішень елементів будівель та споруд. Наведено сталезалізобетонні конструкції, в яких бетон використовується лише в стиснутій зоні, чим досягається значне зменшення ваги конструкції.

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, сталезалізобетонні конструкції, балка, плита.

**Вступ.** Сталезалізобетонними називають комплексні конструкції, в яких сумісно працюють і сталеві, й залізобетонні елементи. При цьому залізобетон використовується в основному для сприйняття зусиль стиску, а сталь – для сприйняття зусиль розтягу. Ураховуючи ефективну роботу сталезалізобетонних конструкцій, будівельники приділяють їм велику увагу, а з точки зору розроблення нових комбінацій різних матеріалів для сумісної роботи ці конструкції не мають аналогів.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Нині широко опубліковано матеріали про будівництво сталезалізобетонних конструкцій [1–5], застосування склеювання при влаштуванні анкерних болтів [6, 7], наведено відомості про характеристики акрилового клею та про можливість за його допомогою з'єднувати сталеві поверхні з бетоном для забезпечення можливості їх сумісної роботи.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** На цей час фактично відсутні розрахункові положення для залізобетонних конструкцій, в яких бетонне та сталеве армування з'єднано за допомогою склеювання на стадії виготовлення. Тому актуальним завданням є розроблення рекомендацій щодо розрахунку таких конструкцій при дії короточасних одноразових і повторних малоциклових навантажень. Розроблення інженерної методики розрахунку сталезалізобетонних конструкцій потребує проведення широких експериментальних та теоретичних досліджень.

**Постановка завдання.** З урахуванням позитивної можливості такого поєднання, було прийняте рішення експериментально дослідити особливості роботи зігнутих елементів де сумісна робота бетону й сталі забезпечена за допомогою склеювання на стадії виготовлення.

**Основний матеріал і результати.** Розрахунок сталезалізобетонних конструкцій у випадку, коли в бетоні не забезпечено об'ємний напружений стан, а бетон і сталь надійно зв'язані та працюють спільно, практично не відрізняється від розрахунку залізобетонних конструкцій зі стрижневою арматурою.

Відмінною рисою методів розрахунку конструкцій, у яких забезпечений об'ємний напружений стан бетону, є облік підвищеної міцності бетону в подовжньому напрямку.

Усі запропоновані методики врахування сприятливої роботи бетону при об'ємному напруженому стані можна умовно розділити на дві групи.

I. Методи розрахунку, в котрих підвищення міцності бетону враховується шляхом збільшення призмової міцності бетону до величини  $R_b + k\sigma_0$ .

У загальному випадку розрахункова формула для стиснутого елемента має вигляд

$$N \leq A_b \cdot (R_b + k \cdot \sigma_0) + A_s \cdot R_s, \quad (1)$$

де  $\sigma_0$  – боковий тиск на бетон;

$k$  – коефіцієнт ефективності бокового тиску.

II. Методи розрахунку, в яких підвищена міцність матеріалів в умовах їх роботи в об'ємному напруженому стані враховується введенням коефіцієнтів ефективності. У загальному випадку для центрально стиснутого елемента формула має вигляд

$$N \leq \beta \cdot A_b \cdot R_b + \alpha \cdot A_s \cdot R_s \quad N \leq \beta A_b R_b + \alpha A_s R_s, \quad (2)$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$  – коефіцієнти ефективності роботи сталі та бетону.

Визначення граничних зусиль у нормальному перерізі виконується за спрощеною методикою, виходячи з таких передумов:

- опір бетону розтягненню приймається таким, що дорівнює нулеві;
- опір бетону стискові умовно приймається таким, що дорівнює  $R_b$  (помноженим, за необхідності, на коефіцієнти умов роботи), рівномірно розподіленим по частині стисненої зони, що умовно іменується стисненою зоною;
- напруження, які розтягують, у жорсткій і гнучкій арматурі приймаються не більшими від розрахункових опорів розтягу  $R_s$ ,  $R_y$ , помножених, у необхідних випадках, на коефіцієнти умов роботи;
- стискаючі напруження у жорсткій та гнучкій арматурі приймаються не більш розрахункових опорів стискові  $R_y$  і  $R_s$ , помножених, за необхідності, на коефіцієнти умов роботи.

При розрахунку за міцністю сталезалізобетонних елементів приймається, що попереднє навантаження жорсткої арматури до бетонування в процесі зведення будівлі не знижує міцності сталезалізобетонного елемента.

При застосуванні прокатних профілів із низьколегованої сталі розрахунковий опір сталі приймається з урахуванням коефіцієнта умов роботи 0,9.

Відносна висота стисненої зони бетону, %, визначається відношенням висоти стисненої зони  $x$  до робочої висоти перерізу  $h_0$ , що дорівнює відстані від стисненої грані до рівнодіючої зусиль у розтягнених жорсткій і гнучкій арматурах. Найбільше (граничне) значення відносної висоти стисненої зони бетону  $\zeta_R$ , за якої міцність останнього достатня для досягнення арматурою розтягнутої зони розрахункових опорів.

Якщо фактична товщина бетону в балці із частково обетонованим сталевим профілем виявляється меншою за  $x$ , то такий елемент рекомендується перевіряти за міцністю наведеного через  $n_s = E_s/E_b$  до сталі перерізу за формулою

$$\sigma = \frac{M}{W_{stb}}, \quad (3)$$

де  $W_{stb} = \frac{J_{stb}}{Y_{max}}$ .

В інших випадках розрахунок міцності нормальних перерізів сталезалізобетонних елементів, що згинаються, здійснюється залежно від положення нейтральної лінії стосовно жорсткого профілю:

- випадок А – нейтральна вісь не перерізає профіль жорсткої арматури;
- випадок Б – нейтральна вісь перетинає стінку профілю жорсткої арматури;
- випадок В – нейтральна вісь перерізає полицю профілю жорсткої арматури.

Для випадку А (рис. 1) висота стисненої зони перерізу  $x$  визначається за формулою

$$x = \frac{R_{sr} \cdot A_{sr} + R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{b \cdot R_b} \leq a. \quad (4)$$

Якщо  $x \leq \zeta_R h_0$ , то міцність перерізу перевіряють з умови рівноваги  $\Sigma M = 0$  щодо центра ваги розтягнутої арматури

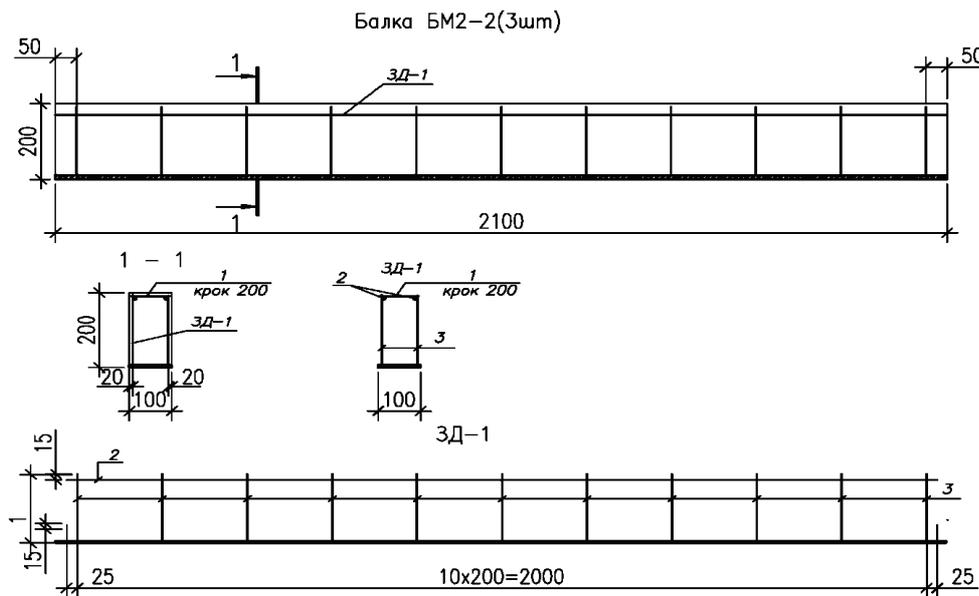
$$M \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'). \quad (5)$$

Якщо  $x > \zeta_R h_0$ , то міцність перерізу перевіряють з умови

$$M \leq R_b \cdot b \cdot h_o^2 \cdot \xi_R \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi_R) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_o - a') \quad (6)$$

У цих формулах  $A_{sr}$  і  $R_{sr}$  – відповідно площа перерізу та розрахунковий опір жорсткої арматури стисненню,  $\xi_R = x_R/h_o$  приймають залежно від найбільшої з величин розрахункових опорів гнучкої або жорсткої арматури.

При складанні програми експериментальних випробувань для перевірки теоретичних передумов ураховано, що несуча здатність сталезалізобетонних елементів залежить від геометричних розмірів (геометричної характеристики листових смуг, діаметра арматури, прольоту) і фізико-механічних властивостей матеріалів – сталі й бетону.



**Рисунок 1 – Схема дослідних зразків**

Метою проведення експериментальних досліджень було визначення:

- несучої здатності згинальних сталезалізобетонних елементів із зовнішнім листовим армуванням;
- закономірностей деформування і вичерпання несучої здатності балок при різних схемах армування;
- розвитку тріщиноутворення в бетоні, який знаходиться в тілі опалубки, та пластичних властивостей сталевих арматур;
- прогинів і деформацій у момент руйнування стиснутої зони бетону;
- схем руйнування дослідних зразків-балок.

Для отримання експериментальних результатів, котрі дали б можливість достатньою мірою судити про особливості роботи згинальних сталезалізобетонних елементів із зовнішнім листовим армуванням, запроєктовано такі зразки:

- згинальні елементи прольотом 2 м із зовнішнім листовим армуванням та арматурою періодичного профілю – серія Б-I та серія Б-II;
- згинальні елементи прольотом 2 м із зовнішнім листовим армуванням, заповнені трьома класами бетону за міцністю, – серія Б-III (рис.2);
- згинальні елементи прольотом 2 м із зовнішнім листовим армуванням, заповнені трьома класами бетону за міцністю, армовані поздовжньою арматурою періодичного профілю, привареною до нижнього і бокових листів, – серія Б-IV (рис.2);
- стандартні бетонні призми 150x150x600 мм і кубики 150x150x150 мм для визначення характеристик міцності й деформативності бетону;

- стандартні сталеві пластини 20x300 мм, вирізані зі сталевих листів, що застосовувалися для визначення фізико-механічних властивостей сталі;
- стандартні арматурні стрижні довжиною 500 мм для визначення фізико-механічних властивостей арматури.

Зразки поділяються на чотири серії, їх призначення яких відповідає вимогам для окремого вивчення різних факторів, від яких може залежати ступінь впливу згинального моменту і поперечної сили на міцність нормального і похилого перерізів. Факторами, що вивчаються, є вид армування та клас бетону за міцністю. Загальна кількість експериментальних зразків-балок – 16. Усі зразки мали прямокутний переріз розміром 100x200 мм і довжину 2 м. Стрижнева арматура у верхній зоні перерізу зварювалася між собою поперечною арматурою 5 (Вр-І Ø 6 мм) з кроком 100 мм.

#### Методика проведення експерименту

Згідно з програмою експериментальних досліджень вивчалася зміна напружено-деформованого стану дослідних зразків при дії згинального моменту та поперечної сили. Зразки випробовувалися при досягненні проектної міцності бетону, але не раніше ніж через 28 діб після пропарювання. Перед випробуванням металеві поверхні зразків очищалися від напливів бетону і покривалися лаком за два рази. Випробування виконувалося на дію короточасних навантажень у лабораторії кафедри КМДіП Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Для випробування зразків була зібрана установка, яка складається із: силової траверси 4, закріпленої до силової підлоги на силових арматурних тяжках 7; гідравлічного домкрата 3 типу ДГ-50, який передавав зусилля на зразок 1 через розподільну траверсу 2 у вигляді двох зосереджених сил, згідно зі схемами прикладання зусиль, щоб у середині прольоту виникала зона чистого згину. Досліджувані зразки встановлювалися на опори 5 згідно з діючими нормами.

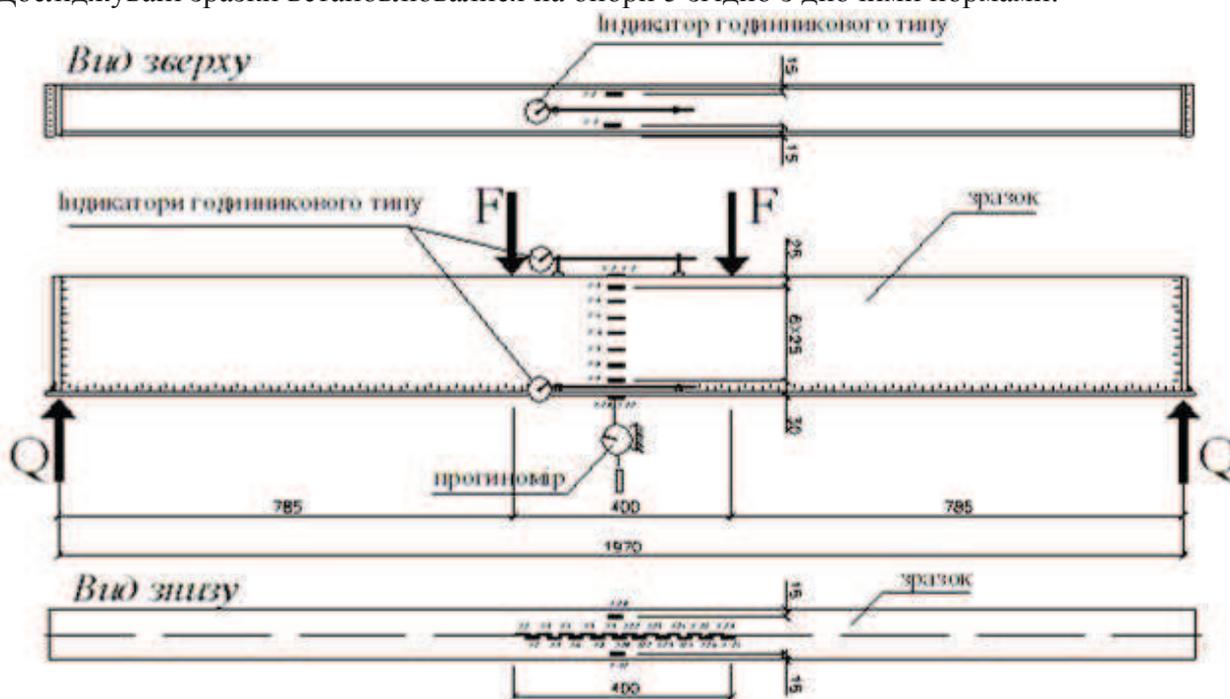


Рисунок 2 – Схема розміщення вимірювальних приладів на зразку

При дії згинального моменту деформації вимірювалися в зоні чистого згину в крайніх волокнах і по висоті перерізу за допомогою індикаторів годинникового типу та електротензорезисторів.

Навантаження на балку прикладалося ступенями, що дорівнювало 1/10 – 1/15 від руйнівного з 5 – 10-хвилинною витримкою, протягом якої знімалися відліки по тензорезисторах, записувалися показники індикаторів годинникового типу і прогиноміра,

проводився оглядалися зразки, фіксувалася поява відшарування листової сталі від бетону у верхній зоні перерізу.

Зразки на дію згинального моменту випробовувались у два етапи. На першому етапі зразки завантажувалися до появи пластичних деформацій у найбільш напружених волокнах сталеві арматури. Під цим навантаженням зразки витримувалися близько 30 хвилин. На другому етапі, після витримки, зразки повністю розвантажувались і фіксувався залишковий прогин, а потім знову в такій же послідовності зразки завантажувалися до руйнівного навантаження.

Поздовжні деформації листової арматури та зовнішньої поверхні бетону вимірювалися за допомогою електротензорезисторів типу 2ПКБ 20-200В однієї комплектності з вибірковою перевіркою на придатність за ГОСТом 21615-76. Відліки по електротензорезисторах знімалися за допомогою приладу «АИД-4». Індикатори годинникового типу, що розміщувалися в найбільш напружених волокнах перерізу, мали точність 0,01 мм. Прогини зразків вимірювалися за допомогою прогиноміра Аістова.

У результаті вимірювання деформацій досліджуваних сталезалізобетонних стійок, замірених за допомогою індикаторів годинникового типу та електротензорезисторів, отримані графіки залежності деформацій та прогинів від навантаження, деякі з них наведені на рисунку 3.

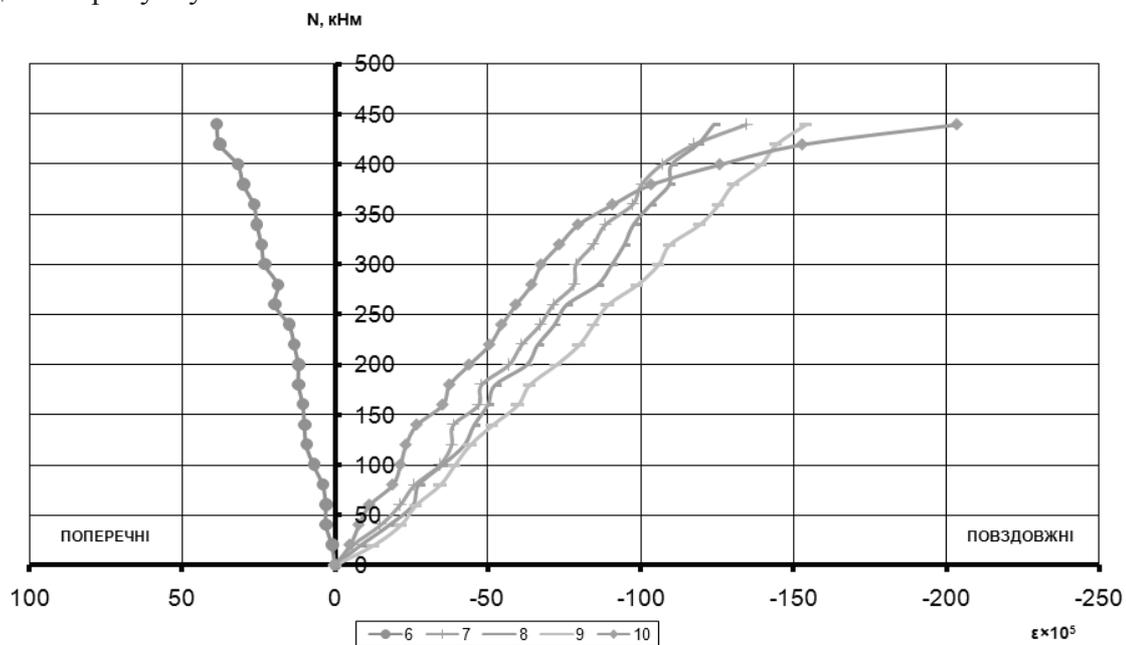


Рисунок 3 – Залежність деформацій від навантаження

**Висновки.** Результати теоретичних розрахунків задовільно збігаються з результатами експерименту. На всіх етапах завантаження сталь і бетон у випробуваних зразках працювали сумісно. Відколювання бетону від сталі не спостерігалось навіть при досягненні зразками граничного стану за несучою здатністю. Зразки в граничному стані за несучою здатністю втрачали загальну стійкість, вигиналися, як це характерно для балок. Склеювання забезпечує сумісну роботу бетону й сталі аж до втрати несучої здатності зразка.

#### Література

1. Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою / О. І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2009. – 363 с.
2. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції / Л. І. Стороженко, О. В. Семко, В. Ф. Пенц. – Полтава: АСМІ, 2005. – 181 с.

3. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація / Л. І. Стороженко, В. М. Сурдин, В. І. Єфименко, В. І. Вербицький – Кривий Ріг, 2007. – 446 с.
4. Стороженко Л.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці / Л. І. Стороженко, О. І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.
5. Клименко Ф.Е. Прочность и деформативность преднапряженных сталебетонных балок с внешней листовой арматурой / Ф. Е. Клименко, В. М. Барабаш, М. А. Павловская // Бетон и железобетон. – 1978. – № 5. – С. 10–12.
6. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве / Л. Н. Шутенко, В. З. Клименко, Ю. Д. Кузнецов, М. С. Золотов, И. Г. Черкасский. – К.: Будивельник, 1990. – 136 с.
7. Золотов М.С. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування / М. С. Золотов. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 121 с.

*Г.И. Гришко, аспирант  
Национальный авиационный университет, г. Киев*

## **РАСЧЕТ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ИЗ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОНА**

*На основе анализа основных существующих железобетонных конструкций разработано расчет новых конструктивных решений элементов зданий и сооружений. Приведены сталежелезобетонные конструкции, в которых бетон используется лишь в сжатой зоне, чем достигается значительное уменьшение веса конструкций.*

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, сталежелезобетонные конструкции, балка, плита.

*G.I. Grishko, post graduate  
National Aviation University, Kyiv*

## **CALCULATION OF THE RATIONAL STRUCTURES COVERAGE FROM STEEL CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES**

*Based on the analyses of the main existent reinforcing concrete structures the design of new constructional decision of building and constructions elements has been developed. Steel concrete composite structures are given, where concrete is used only in compressed zone. It gives considerable weight decrease of structure.*

**Keywords:** reinforcing concrete structure, steel concrete composite structure, beam, plate.

*Надійшла до редакції 21.09.2014  
© Г.І. Гришко*