

УДК 624.016.2

Л.І. Стороженко, д.т.н., проф.  
Т.П. Куч, аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## РОЗРАХУНОК СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ З ВИНЕСЕННИМ АРМУВАННЯМ ТРУБАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКЛАДЕНИХ СТРИЖНІВ

*Наведено результати розрахунку сталезалізобетонних плит з армуванням трубами за допомогою методу складених стрижнів.*

**Ключові слова:** сталезалізобетонні конструкції, метод складених стрижнів, армування, труба.

**Постановка проблеми.** Сталезалізобетонні конструкції набувають усе більшої популярності, оскільки вони поєднують у собі переваги сталі й залізобетону. За допомогою раціонального використання обох матеріалів можна отримати значний приріст міцності, а виключивши бетон із зони розтягу – зменшення ваги конструкцій. Але для впровадження сталезалізобетонних конструкцій у будівництво необхідно провести не лише їх експериментальні дослідження, але й визначити методи розрахунку, які б повною мірою врахували дійсну роботу таких конструкцій.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Вивчення сталезалізобетонних конструкцій набуває все більшої актуальності не тільки у світі, але й в Україні [1]. Проводяться різноманітні експериментальні дослідження несучої здатності, деформативності та характеру руйнування конструкцій [2, 3].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** На сьогодні не існує єдиного нормативного документа для розрахунку сталезалізобетонних конструкцій, що вимагає розроблення сучасних методів їх розрахунку. Оскільки сталезалізобетонні плити з винесеним армуванням трубами є новою конструктивною формою таких конструкцій, необхідно визначити метод розрахунку, який повною мірою врахував би дійсну роботу цих конструкцій.

**Формулювання цілей статті.** Мета полягає в розробленні методики визначення несучої здатності та особливостей напружено-деформованого стану досліджуваних конструкцій із використанням методу складених стрижнів.

**Основний матеріал і результати.** Сталезалізобетонні плити з винесеним армуванням трубами є принципово новою конструктивною формою сталезалізобетонних балкових конструкцій, на який було отримано патент на корисну модель [4]. Розглянувши теорію складених стрижнів [5], зробимо висновок, що ці конструкції можна розглядати як складений стрижень. Конструкція, яка розглядається, складається із залізобетонної 1 та сталеві 2 складових, поєднаних між собою в'язями 3. Останні являють собою жорсткі сталеві трубки, які жорстко з'єднані із залізобетонною й металевією складовими та здатні сприймати поздовжні й поперечні зусилля.

Основна характеристика в'язей визначається залежністю між деформаціями, що виникають усередині складеного стрижня, і внутрішніми зусиллями, викликаними у зв'язку із цими деформаціями [6]. Ця залежність у більшості випадків при невеликих деформаціях може вважатися лінійною, тобто для роботи в'язей можна вважати дійсним закон Гука. У стадії, яка розглядається, робота в'язей може бути схарактеризовано

коефіцієнтом жорсткості, що являє собою відношення зусиль у в'язях до відповідних їм деформацій. Для в'язей зрушення вводимо коефіцієнт жорсткості

$$\xi = T_c m / \Gamma, \quad (1)$$

де  $T_c$  – зрушуюче зусилля, котре припадає на одну в'язь;  $m$  – число в'язів, що припадає на одиницю довжини шва;  $\Gamma$  – деформація взаємного зрушення суміжних волокон двох сусідніх стрижнів, з'єднаних в'язями зрушення.

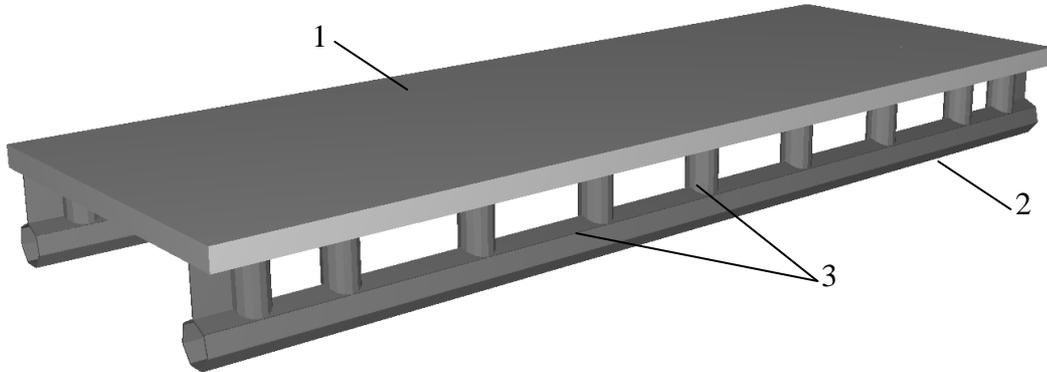


Рисунок 1 – Сталезалізобетонна плита з винесеним армуванням трубами

Для в'язей у вигляді трубок зрушення відбувається в результаті деформації самих трубок і, як наслідок, деформації гілок, що ними з'єднуються на ділянках між трубками,

$$\xi = \frac{12 I_{II} E}{B c^3} \frac{12 I_1 I_2 / B^2 + I_{II} (I_1 + I_2) / B c}{12 I_1 I_2 / B^2 + 4 I_{II} (I_1 + I_2) / B c + I_{II}^2 / c^2}, \quad (2)$$

де  $c$  – відстань між центрами тяжіння двох перерізів;  $I_{II}$  – момент інерції трубки;  $B$  – відстань між трубками.

Загальна жорсткість складеного стрижня на згин, позбавленого в'язей зрушення, дорівнює сумі жорсткості окремих стрижнів

$$\sum_{i=1}^{n+1} E_i I_i = \sum E I. \quad (3)$$

Позначимо через  $M^0$  сумарний згинальний момент, який дорівнює сумі згинальних моментів у перерізах кожного складеного стрижня основної системи,

$$M^0 = \sum_{i=1}^{n+1} M_i. \quad (4)$$

Через  $M_i^0$  позначимо згинальний момент, що виникає в кожному окремому стрижні від дії зовнішніх навантажень без урахування зусиль, що передаються від поперечних в'язей і в'язей зрушення. Необхідно звернути увагу, що зусилля в поперечних в'язях є врівноваженими і нічого не додають до загального згинального моменту складеного стрижня. Зусилля у в'язях зрушення викликають момент у складених стрижнях, що дорівняє

$$M_i^T = -T_{i-1} b_{i-1} - T_i a_i, \quad (5)$$

де,  $T_{i-1}$  і  $T_i$  – сумарні зрушуюче зусилля в  $i-1$  та  $i=1$  швах, яке накопичується по довжині стрижня від його початку до перерізу, що розглядається,

$$T_i = \int_0^x \tau_i dx, \quad T_{i-1} = \int_0^x \tau_{i-1} dx; \quad (6)$$

$b_{i-1}$  і  $a_i$  – відстань від центра тяжіння перерізу  $i$ -го стрижня до відокремлювальних площин вище і нижче  $i$ -го шва.

Отже, врахувавши моменти  $M_i^T$  та  $M^0$ , повне значення згинального моменту в системі буде становити:

$$M = M^0 + \sum_{i=1}^{n+1} M_i^T. \quad (7)$$

Урахувавши, що  $T_0 = T_{n+1} = 0$ , отримаємо замість формули (7)

$$M = M^0 - \sum_{i=1}^n T_i a_i - \sum_{i=1}^n T_i b_i = M^0 - \sum_{i=1}^n T_i c_i, \quad (8)$$

де  $c_i$  – відстань між центрами тяжіння перерізів двох суміжних стрижнів, розділених  $i$ -м швом,

$$c_i = a_i + b_i. \quad (9)$$

Повний згинальний момент у складеній балковій конструкції, що складається із двох брусів, дорівнює

$$M = M^0 - Tc = -\frac{\sum EI}{\xi c} T'' - \left( c - \frac{\sum EI \gamma}{c} \right) T. \quad (10)$$

У випадку, коли на балкову конструкцію діють два однакових навантаження  $P$ , що знаходяться на однаковій відстані від середини прольоту, формула для крайніх відрізків [7] набуває вигляду:

$$T = \frac{P_c}{\gamma ch EI} \left[ \frac{ch v \left( \frac{L}{a} - a \right)}{\lambda ch (\lambda L/2)} sh \lambda x - x \right] = T_M \left[ \frac{ch \lambda \left( \frac{L}{2} - a \right)}{\lambda x ch (\lambda L/2)} sh \lambda x - 1 \right]; \quad (11)$$

$$\tau = \frac{P_c}{\gamma \sum EI} \left[ \frac{ch \lambda \left( \frac{L}{a} - a \right)}{ch (\lambda L/2)} ch \lambda x - 1 \right] = \tau_M \left[ \frac{ch \lambda \left( \frac{L}{2} - a \right)}{ch (\lambda L/2)} ch \lambda x - 1 \right]. \quad (12)$$

$$T = \frac{P_c}{\gamma \sum EI} \left[ \frac{sh \lambda a \cdot ch \lambda \left( \frac{L}{a} - x \right)}{\lambda ch (\lambda L/2)} - a \right] = T_M \left[ \frac{sh \lambda a \cdot ch \lambda \left( \frac{L}{a} - x \right)}{\lambda a ch (\lambda L/2)} - 1 \right]; \quad (13)$$

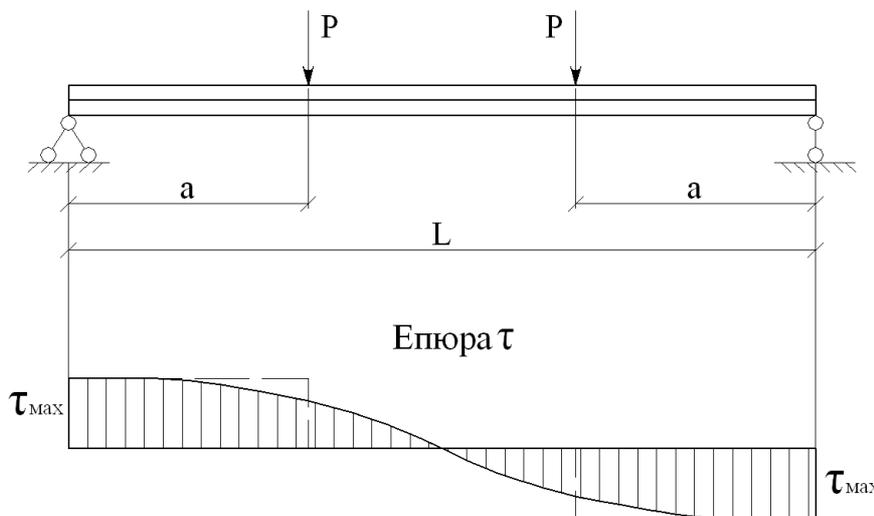


Рисунок 2 – Епюра дотичних напружень у в'язях балкової конструкції

Для середнього відрізка

$$\tau = -\frac{P_c}{\gamma \sum EI} \frac{sh \lambda a \cdot sh \lambda \left(\frac{L}{a} - x\right)}{ch(\lambda L/2)}. \quad (14)$$

Максимальне напруження  $\tau_{\max}$  виникає на опорі

$$\tau_{\max} = \frac{P_c}{\gamma \sum EI} \left[ 1 - \frac{ch \lambda \left(\frac{L}{a} - a\right)}{ch(\lambda L/2)} \right] = \tau_{M(\max)} \left[ 1 - \frac{ch \lambda \left(\frac{L}{2} - a\right)}{ch(\lambda L/2)} \right]. \quad (15)$$

Максимальне зрушуюче зусилля в середині прольоту:

$$T_{\max} = T_M \left( 1 - \frac{sh \lambda a}{\lambda a ch(\lambda L/2)} \right). \quad (16)$$

Коефіцієнт  $\lambda$  у цьому випадку можна обчислювати за формулою

$$\lambda = \sqrt{\varepsilon \gamma} = \sqrt{\xi \left( 1/E_1 F_1 + 1/E_2 F_2 + c^2 / \sum EI \right)}, \quad (17)$$

де  $\varepsilon$  – поздовжні деформації;  $c$  – відстань між центрами тяжіння 2-х перерізів;  $\gamma$  – визначається за формулою

$$\gamma = \frac{1}{E_1 F_1} + \frac{1}{E_2 F_2} + \frac{c^2}{\sum EI}. \quad (18)$$

За формулами (12) та (13) побудовано епюру напружень для експериментальної конструкції. За результатами розрахунків можна обчислити значення зусиль, що діють у поздовжньому перерізі, тобто зусиль, котрі діють у трубках, які з'єднують сталеву та залізобетонну складові.

Отримуючи зусилля зрушення, можна визначати повний згинальний момент за формулою (10)

$$M = -T_M \frac{\sum EI}{\xi c} \left[ \frac{ch \lambda (L/2 - a)(\lambda x ch x - sh \lambda x)}{\lambda x^2 ch(\lambda L/2)} \right] - T_M \left( c - \frac{\sum EI \gamma}{c} \right) \left[ \frac{ch \lambda (L/2 - a)}{\lambda x ch(\lambda L/2)} sh \lambda x - 1 \right]. \quad (19)$$

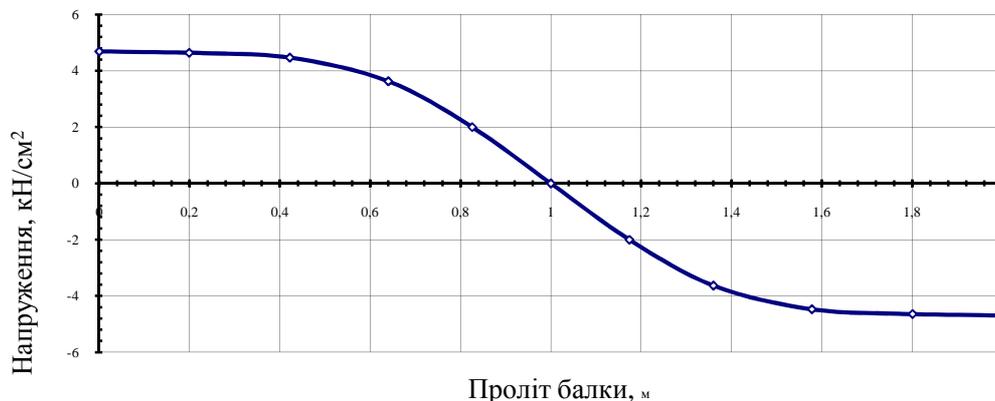


Рисунок 3 –. Епюра напружень для експериментальної конструкції

За одержаними формулами можна визначати повний згинальний момент, зусилля зрушення та максимальні дотичні напруження у в'язях, що дозволяє аналізувати крок і геометричні характеристики трубок у сталезалізобетонних балкових конструкціях з винесеним армуванням трубами.

Таблиця 1

Значення повного згинального моменту для експериментальних зразків

№ зразка	Товщина полиці плити, мм	Експериментальні дані	Теорія складених стрижнів	Відхилення від експерименту, %
Б-3-1	30	46,5	45,41	2,3
Б-3-2	40	47,2	46,65	1,2
Б-3-3	50	51,1	50,02	2,11

**Висновок.** За адаптованою теорією складених стрижнів можна визначати несучу здатність, зусилля зрушення та максимальні дотичні напруження у в'язях балкових конструкцій з урахуванням дійсної роботи, що дозволяє аналізувати крок і геометричні характеристики в'язей у сталезалізобетонних плитах з винесеним армуванням трубами. За отриманими формулами було визначено повний згинальний момент для експериментальних зразків, дані наведено в табл. 1, які показали, що відхилення теоретичних значень від експериментальних складає 1,2–4,3%.

#### Література

1. Стороженко, Л. І. Сталезалізобетонні конструкції / Л. І. Стороженко, О. В. Семко, В. Ф. Пенц. – Полтава : ПолтНТУ, 2005. – 181 с.
2. Крупченко, О. А. Результати експериментальних досліджень сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом / О. А. Крупченко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Будівництво. – Суми, 2006. – Вип. 9 (11). – С. 55 – 60.
3. Сколибод, О. В. Розрахунок згинальних сталезалізобетонних елементів деформаційним методом / О. В. Сколибод // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ. – 2005. – Вип. 16. – С. 153 – 159.
4. Пат. на кор. модель 58875 Україна, МПК (2006) E04B 1/04. Сталезалізобетонна плита з армуванням трубами / заявники Стороженко Л.І., Нижник О.В., Куч Т.П., Іванюк А.В.; власник – ПолтНТУ. – № и 2010 12231; заявл. 15.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
5. Ржаницын, А. Р. Теория составных стержней строительных конструкций / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1948. – 193с.
6. Ржаницын, А. Р. Составные стержни на упругоподатливых связях / А. Р. Ржаницын // Прикладная математика и механика. – 1940. – № 4. – С. 99 – 107.
7. Ржаницын, А. Р. Составные стержни и пластинки / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1986. – 316 с.

Л.І. Стороженко, д.т.н., проф., Т.П. Куч, асп.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## РАСЧЕТ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С ВЫНЕСЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ ТРУБАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ

Приведены результаты расчета сталезалізобетонных плит с вынесенным армированием трубами с помощью метода составных стержней.

**Ключевые слова:** *сталежелезобетонные конструкции, метод составных стержней, армирование, труба.*

*L.I. Storozhenko, Dr. Tech. Sc., Prof., T.P. Kuch, Post graduate st.  
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

## **CALCULATION OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES WITH PIPES REINFORCING BY MEANS OF THE METHOD OF COMPOSITE RODS**

*The results of calculations of composite steel and concrete structures with pipes reinforcing by means of the method of composite rods are presented in the article..*

**Keywords:** *composite steel and reinforced concrete structures, method of composite rods, reinforcement, pipe.*

*Надійшла до редакції 31.08. 2012*

*© Л.І. Стороженко, Т.П. Куч*