

УДК 624.074:[624.012.4+624.014.2]

Л.І. Стороженко, д.т.н., проф.

А.В. Іванюк, асп.

О.В. Клецов, асп.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ З АРМУВАННЯМ РЕБЕР ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТАЛЕВИМИ ЛИСТАМИ

Розглянуто сталезалізобетонні плити з армуванням ребер вертикальними сталевими листами та проаналізовано результати їх експериментальних досліджень.

Ключові слова: *деформації, несуча здатність, сталезалізобетонні плити, сталеві листи.*

Постановка проблеми. Одним із можливих шляхів зменшення матеріалоемності та підвищення несучої здатності конструкцій є раціональне поєднання листової сталі та залізобетону. Ефективність конструкцій із зовнішнім листовим армуванням забезпечується за рахунок більш доцільного використання листової арматури шляхом розміщення її на зовнішніх гранях перерізу [4]. Це дає можливість одержати відповідний приріст міцності та жорсткості або зменшити розміри поперечного перерізу конструкції, а також використовувати зовнішню листову сталь як опалубку при бетонуванні, а після затвердіння бетону – як несучу арматуру [5].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Сталезалізобетонні конструкції отримали широке розповсюдження в усьому світі. Уже доведено, що їх раціонально використовувати для перекриття великих прольотів, як стійки, що сприймають великі навантаження, в інженерних спорудах [6].

У нашій країні також здійснюється активне дослідження й упровадження сталезалізобетонних конструкцій у будівництві [2]. Побудовано несучі конструкції різноманітних будівель і споруд із застосуванням трубобетону, балок та ригелів зі стрічковим армуванням, брускові конструкції, залізобетонні плити по профільованому настилу.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Сталезалізобетонні конструкції із зовнішнім листовим армуванням, маючи велику відносну жорсткість порівняно із традиційними залізобетонними, дозволяють збільшити прольоти і поліпшити функціональні якості будівлі, значно розширюють можливість трансформації приміщень та їх перепланування у випадку зміни технології або призначення об'єкта.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз експериментальних даних щодо несучої здатності, деформацій і характеру руйнування нових типів сталезалізобетонних плит перекриття з армуванням ребер вертикальними сталевими листами при різних схемах завантаження, підтверджених патентом на корисну модель [3].

Основний матеріал і результати. При складанні програми експериментальних досліджень ураховано, що несуча здатність сталезалізобетонних елементів залежить від геометричних характеристик сталевих листів: їх товщини, довжини, а також фізико-механічних властивостей матеріалів – сталі та бетону.

Для отримання експериментальних результатів, щоб мати змогу достатньою мірою судити про особливості роботи сталезалізобетонних плит перекриття з армуванням ребер вертикальними сталевими листами були запроєктовані дослідні зразки серій БТ-2-1, БТ-2-2 та БТ-2-3.

Зразки мають П-подібний переріз із геометричними розмірами, наведеними на рис. 2, довжиною 2000 мм. З рисунка видно, що плита складається із залізобетонної лінійної конструкції та сталевих стрічкових листів, які виконують роль жорсткої арматури й одночасно незнімної опалубки. Сталеві листи з'єднуються між собою за допомогою арматурних хомутів. У верхній частині плити влаштовується арматурна сітка.

З обох боків плит приварені торцеві пластини, які слугують для сприйняття зусилля зсуву між стрічковою листовою арматурою та бетонною полицею і дають можливість подальшого кріплення конструкцій у процесі експлуатації та монтажу. Для зручності плити бетонувалися в перевернутому положенні на горизонтальній поверхні після встановлення нескладної опалубки.

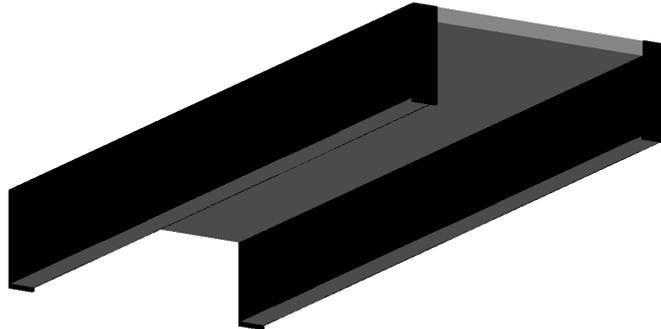


Рисунок 1 – Сталезалізобетонна плита перекриття з армуванням ребер вертикальними сталевими листами

Згідно з прийнятою методикою проведення експериментальних досліджень несучої здатності й деформативності сталезалізобетонних плит перекриття з армуванням ребер вертикальними сталевими листами вимірювання переміщень і деформацій виконувалося в зоні чистого згину та в приопорній зоні за допомогою прогиноміра й електротензорезисторів. У процесі досліджень напружено-деформованого стану експериментальних зразків при всіх схемах завантаження відмічалися характерні особливості розподілу деформацій по висоті перерізу, а також інтенсивність зростання прогинів на початку роботи балки в пластичній стадії.

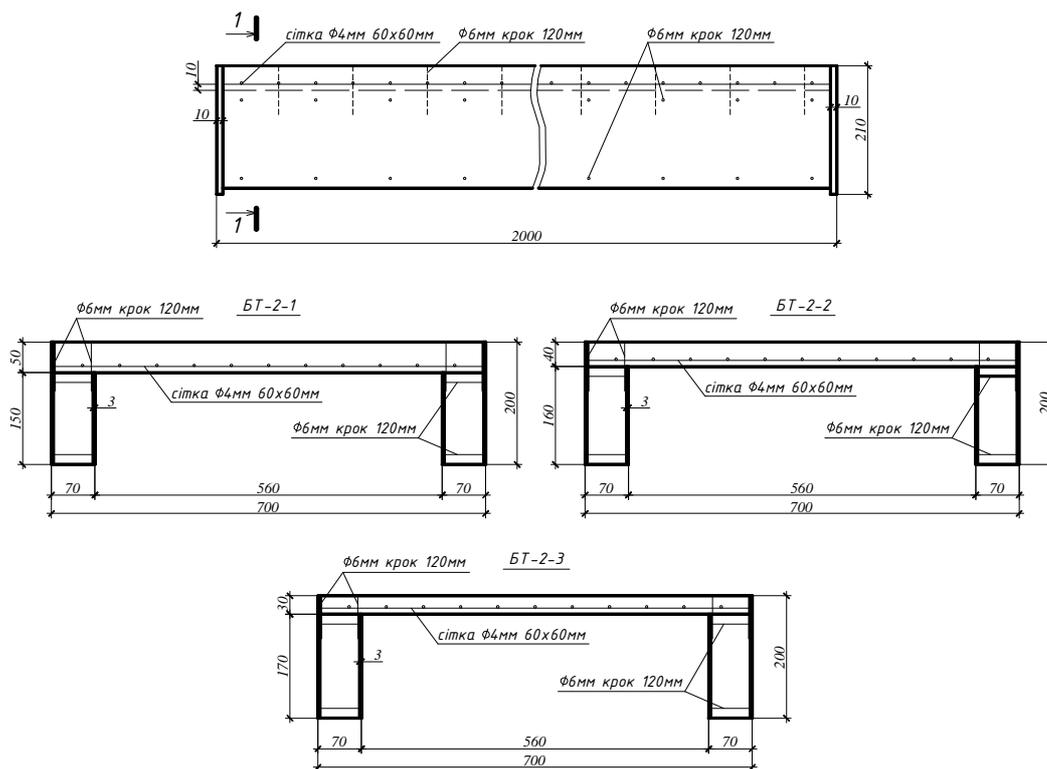


Рисунок 2 – Геометричні характеристики поперечних перерізів виготовлених зразків

При дослідженні напружено-деформованого стану згинальних елементів за нормальними перерізами вирішальне значення мають деформації у волокнах, які найбільш віддалені від нейтрального шару, тому що за ними можна судити про несучу здатність досліджуваної конструкції. Із цією метою побудовано графіки залежності деформацій від навантаження (рис. 3, 4).

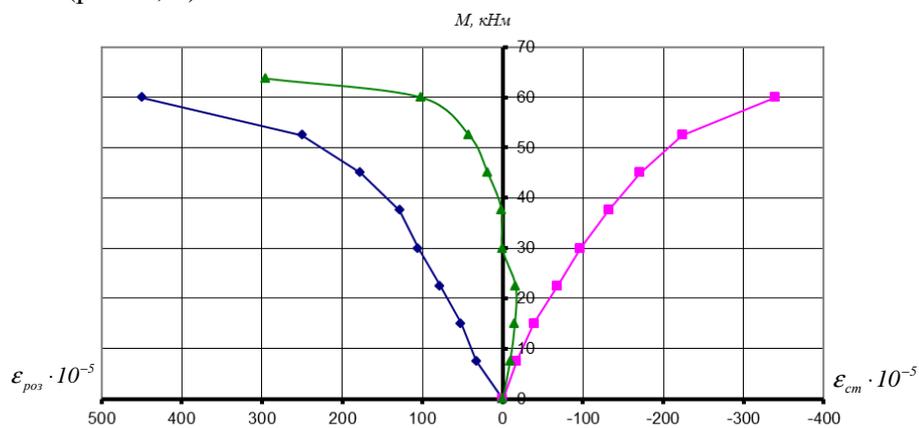


Рисунок 3 – Залежність поздовжніх деформацій від величини згинального моменту в крайніх волокнах зразка БТ-2-2а (при дослідженні нормальних перерізів)

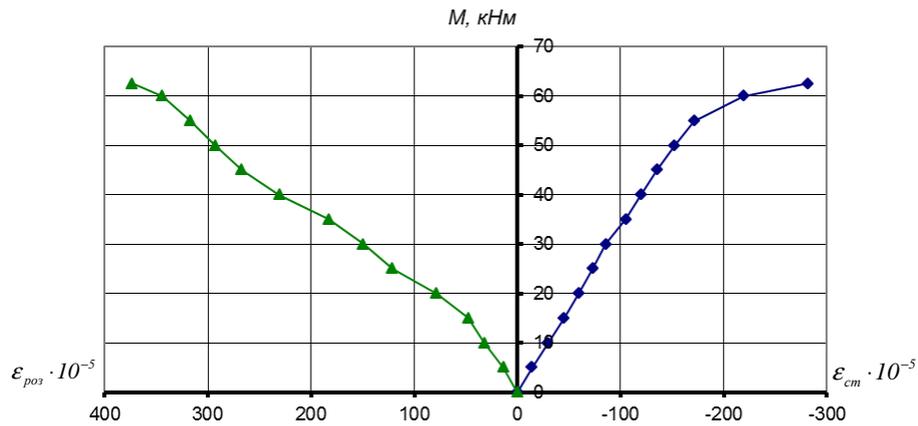


Рисунок 4 – Залежність поздовжніх деформацій від величини згинального моменту в крайніх волокнах зразка БТ-2-2б (при випробуванні на переважуючу дію поперечної сили)

Із наведених графіків видно, що на початковій стадії навантаження виникали переважно пружні деформації. При подальшому навантаженні, що відповідало стадії, при якій відбувалося утворення тріщин у бетонній плиті, різко зростали пластичні деформації.

При деформаціях плит серії БТ-2-2а (відстань між зусиллями 0,5 м) (рис. 3) та БТ-2-2б (відстань між зусиллями 1 м) (рис. 4) спостерігалася пружна робота сталевих листів і бетону до досягнення 65 – 70% навантаження від руйнівного. При досягненні навантажень більше 70% від руйнівного почали спостерігатися тріщини в бетонній полиці з подальшим сколюванням залізобетонної складової в приопорних зонах (для плит серії БТ-2-2б) та з поступовим руйнуванням посередині (для плит серії БТ-2-2а) при досягненні руйнівного навантаження.

При навантаженнях, що відповідали руйнівним, спостерігалися значні деформації конструкцій, прогин досягав 2 см, після чого плити втрачали свою несучу здатність (рис. 5-6).

Аналіз результатів за замірами прогинів зразків дозволяє зробити висновок, що на всіх етапах до руйнування між навантаженнями і прогинами спостерігається лінійна залежність. Це пояснюється сумісною роботою залізобетонної складової й сталевих листів.

На момент руйнування залізобетонної полиці деформації крайніх розтягнутих волокон становили $\epsilon = (290 - 350) \cdot 10^{-5}$, крайніх стиснутих – $\epsilon = (170 - 235) \cdot 10^{-5}$ відносних одиниць. У цілому, кожна досліджувана плита на всіх ступенях завантаження працювала як єдина монолітна конструкція.

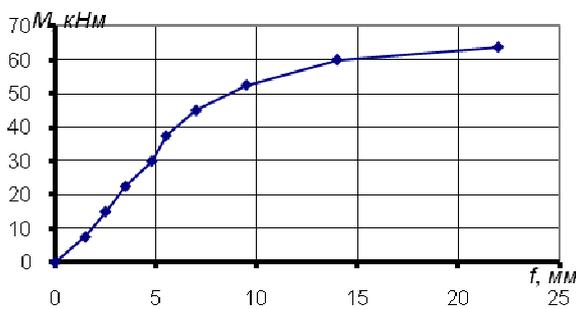


Рисунок 5 – Залежність експериментальних значень прогинів від величини згинального моменту зразка БТ-2-2а (при дослідженні нормальних перерізів)

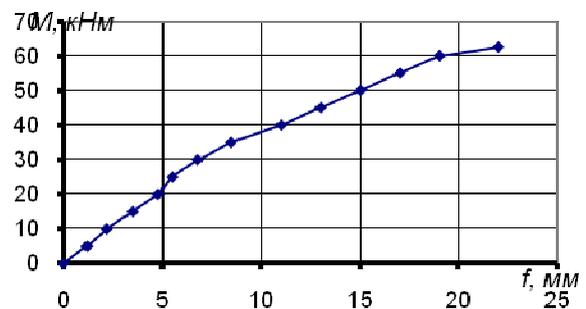


Рисунок 6 – Залежність експериментальних значень прогинів від величини згинального моменту зразка БТ-2-2б (при випробуванні на переважуючу дію поперечної сили)

При вивченні напружено-деформованого стану досліджуваних конструкцій важливе значення мають деформації по висоті перерізу та характер їх розподілу. Із цією метою були побудовані епюри розподілу деформацій по висоті нормального перерізу (рис. 7, 8), з яких видно, що нейтральна лінія проходить на відстані 10 та 15 см відповідно від нижньої грані елемента відповідних серій зразків. На цих стадіях справджується гіпотеза плоских перерізів, оскільки деформації розподіляються за лінійним законом. При збільшенні навантажень на епюрах спостерігаються відхилення від прямолінійності, що свідчить про порушення цієї гіпотези і появу пластичних деформацій.

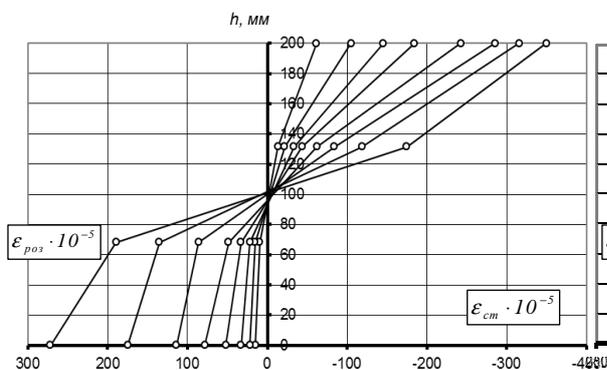


Рисунок 7 – Епюра розподілу деформацій по висоті нормального перерізу зразка БТ-2-2а (при дослідженні нормальних перерізів)

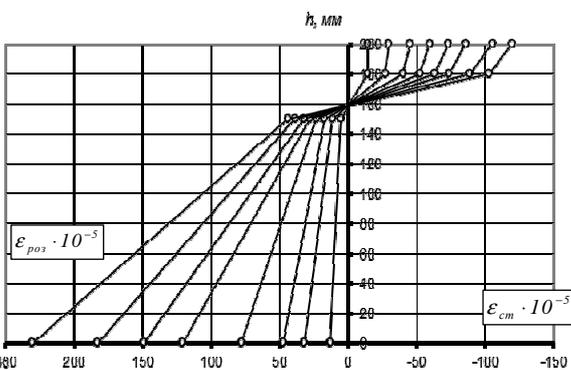


Рисунок 8 – Епюра розподілу деформацій по висоті нормального перерізу зразка БТ-2-2б (при випробуванні на переважуючу дію поперечної сили)

Після завершення випробувань кожний зразок ретельно оглядався, особлива увага приділялася місцю переходу сталевих листів у залізобетонну складову – на їх межі ніяких суттєвих порушень зв'язку не було, що свідчить про сумісну роботу сталі й бетону комплексної балки.

Висновок. Використана методика та прийняті вимірювальні прилади дозволили отримати необхідні експериментальні дані щодо несучої здатності, деформацій та характеру руйнування досліджуваних зразків.

При проведенні експериментальних досліджень установлено, що несуча здатність запропонованих сталезалізобетонних конструкцій з армуванням листами близька до запроєктованої [1]. Руйнування цих елементів відбувалося в цілому однаково, пластично, характеризуючись утворенням тріщин на поверхні залізобетонної складової з поступовим нарощуванням деформацій, які в бетоні та сталі досягали своїх критичних значень.

Таблиця 1

Несуча здатність та прогини експериментальних зразків

№ зразка	Згинальний момент M_1 , кНм	Значення згинального моменту при появі пластичних деформацій M_1 , кНм	Граничне значення моменту M_2 , кНм	$n = \frac{M_2}{M_1}$	Прогин f_{max} , см
БТ-2-1	59	59	65	1,10	0,91
БТ-2-2а	55	55	63	1,15	1,20
БТ-2-2б	55	55	62	1,13	1,65
БТ-2-3	54	54	61	1,13	1,02

Це дає змогу зробити висновок про значну надійність досліджених конструктивних елементів. На всіх етапах завантаження в конструкціях була забезпечена сумісна робота залізобетонної складової зі сталевими листами, що свідчить про надійність використаних анкерних засобів.

Запропоновані плити, маючи високу жорсткість, дозволяють поліпшити функціональні якості будівель і є конкурентоспроможними порівняно із залізобетонними та сталевими конструкціями при використанні їх у процесі спорудження промислових і цивільних будівель.

Література

1. Іванюк, А. В. Розрахунок сталезалізобетонних конструкцій з армуванням листами / А. В. Іванюк // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. наук. ст. – Полтава, Кривий Ріг, 2011. – Випуск 9. – С. 93 – 99.
2. Клименко, Ф. Є. Розробка, дослідження та застосування у будівництві сталобетонних конструкцій / Ф. Є. Клименко. – Львів, 2001. – 40 с.
3. Пат. на кор. модель 58872 Україна, МПК (2011.01) E04B 1/04. Залізобетонна плита перекриття, підкріплена сталезалізобетонними ребрами / заявники Л. І. Стороженко, О. В. Нижник, А. В. Іванюк, Т. П. Куч; власник – Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – № и 2010 12214; заявл. 15.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
4. Сколибод, О. В. Сталезалізобетонні балки із зовнішнім листовим армуванням / О. В. Сколибод // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: сборник докладов VIII Украинской научно-технической конференции. – Ч. 2. – К.: Сталь, 2004. – С. 21 – 28.
5. Стороженко, Л. І. Сталезалізобетон: збірник наукових праць / Л. І. Стороженко. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 366 с.
6. Johnson, R. P. Composite structures of steel and concrete: beams, slabs, columns, and frames

*Л.І. Стороженко, д.т.н., проф., А.В. Іванюк, асп., О.В. Клецов, асп.
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С АРМИРОВАНИЕМ РЕБЕР ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТАЛЬНЫМИ ЛИСТАМИ

Рассмотрены сталежелезобетонные плиты с армированием ребер вертикальными стальными листами и проанализированы результаты их экспериментальных исследований.

Ключевые слова: деформации, несущая способность, сталежелезобетонные плиты, стальные листы.

*LI Storozhenko, Dr. Tech. Sc., Prof., A.V. Ivanyuk, Post graduate st., O. Klestova, Post graduate st.
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF COMPOSITE SLABS WITH REINFORCEMENT RIBS BY VERTICAL STEEL SHEETS

There are considered composite slabs with reinforcement ribs by vertical steel sheets and conducted the analysis of their experimental researches in the article.

Key words: strain, carrying capacity, composite slabs, steel sheets.

Надійшла до редакції 8.09.2012

© Л.І. Стороженко, А.В. Іванюк, О.В. Клецов

