

УДК 624.012.45

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ  
ДЕФОРМАЦІЙ ПРОГИНУ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК,  
АРМОВАНИХ ПРОСІЧНО-ВИТЯЖНИМ ЛИСТОМ**

*С. Бурченя, ст. викладач*

*Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Достатньо ефективним і перспективним видом традиційних залізобетонних конструкцій є сталобетонні елементи зі зовнішнім стрічковим чи листовим армуванням. Просічно-витяжний лист може слугувати робочою арматурою в сталобетонних конструкціях замість суцільного металевого листа. З одного боку, він у середньому на 80% легший, ніж цілісний лист металу аналогічних розмірів і товщини, з іншого – такий вид армування має добре зчеплення з бетоном без застосування додаткових об'єднувальних елементів [9; 10].

Питання використання зазначеного армування та напружено-деформованого стану конструкцій з робочою арматурою у вигляді просічно-витяжного листа практично не вивчали і відповідно ні теоретично, ні експериментально не визначали прогини для таких конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З 1967 року кафедра будівельних конструкцій НУ «Львівська політехніка», згодом і кафедра будівельних конструкцій Львівського національного аграрного університету під керівництвом професора, доктора технічних наук Ф. Є. Клименка досліджували сталобетонні плити і балки зі звичайною і високоміцною попередньо напруженою штабовою арматурою [7]. У Полтавському державному технічному університеті ім. Ю. Кондратюка під керівництвом докторів технічних наук, професорів Л. І. Стороженка та О. В. Семка ведуть дослідження сталезалізобетонних конструкцій [11]. Під керівництвом О. Б. Голишева у Державному науково-дослідному інституті будівельних конструкцій Державного комітету України з будівництва і архітектури вперше на основі виконаних експериментальних і теоретичних досліджень отримано закономірності впливу режиму короткочасного навантаження і тривалого попереднього витримування під навантаженням на несучу здатність згинаних сталобетонних конструкцій.

Питанню використання виштампованої стрічки як робочої арматури в згинаних залізобетонних елементах присвячені дослідження Д. В. Талантова. Наведені автором результати експериментально-теоретичних досліджень міцності нормальних перерізів, армованих виштампованою стрічкою, свідчать про перспективність такого армування

[12]. Автор детально описав особливості деформування на всіх стадіях роботи дослідних зразків, особливості сумісної роботи висічки і бетону.

Використовувати просічно-витяжний лист як армувальний елемент у кам'яних конструкціях запропонував М. М. Губій [5].

**Постановка завдання.** Мета нашого дослідження – використання існуючої нормативної методики розрахунку прогинів у залізобетонних конструкціях для сталебетонних балок, армованих просічно-витяжним листом.

**Виклад основного матеріалу.** Для виконання поставленого завдання було запроєктовано й виготовлено шість дослідних зразків, з них чотири сталебетонні балки, армовані просічно-витяжним листом, дві залізобетонні балки, шість бетонних призм та три бетонні куби. Дослідні зразки виготовляли перерізом 135×270 мм, загальною довжиною 2300 мм і розрахунковим прольотом 2000 мм. Для цього використовували бетон класу С16/20 – балки Б-І-1, Б-І-1\* ; Б-І-2, Б-І-2\* ; Б-І-3, Б-І-3\* (балки зі знаком \*) – балки-аналоги). Витрати матеріалів на 1 м<sup>3</sup> бетону були розраховані за рецептами ТзОВ ВП «Галтрансрембуду», а їх склад зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Витрати матеріалів на 1 м<sup>3</sup> бетону

Клас бетону	Витрати матеріалів			
	цемент (Ц), кг	щебінь (Щ), кг	пісок (П), кг	вода (В), л
С16/20	375 кг	1250 кг	685 кг	205 л

Перед початком експериментальних досліджень сталебетонних балкових зразків на згин визначали фізико-механічні властивості бетонів та сталей [2–4; 8]. Механічні характеристики бетону на стиск визначали за результатами випробувань контрольних кубів із ребром 150 мм, призмову міцність і початковий модуль пружності – під час руйнування призм довжиною 600 мм з поперечним перерізом 150×150 мм. Границю міцності бетону на розтяг визначали шляхом випробування на згин бетонних балок розміром 600×150×150 мм. Дані з характеристиками експериментальних дослідних зразків наведені в табл. 2, а їх поперечний переріз поданий на рис. 1[6].

Балкові зразки на згин досліджували на стенді, де завантаження виконували двома зосередженими силами, прикладеними на верхній грані балкового зразка (рис. 2). Балки спиралися на дві опори: рухому і нерухому. Навантаження створювали гідравлічним домкратом потужністю 50 тс і прикладали ступенями  $F = 0,05 \dots 0,1 F_{\max}$  з перервою між завантаженнями 25-30 хв. Ступінь прикладених навантажень контролювали зразковим

манометром насосної станції та кільцевими динамометрами. Експериментальні прогини балок вимірювали за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм на кожному ступені завантаження. Індикатори встановлювали посередині балки та на осі прикладення зовнішніх сил. Їх кріпили до металевої рамки, яка зберігала в процесі завантаження балки свою геометричну вісь незмінною і виконувала роль базисної лінії, від якої відраховували прогини балок. Незмінність базисної лінії забезпечували точковим приєднанням рамки до балки над опорою на рівні нейтральної осі (рис. 2).

На початкових етапах завантаження прогини дослідних зразків практично однакові, незалежно від виду армування. За збільшення навантаження до моменту тріщиноутворення вони різняться несуттєво і зростають пропорційно навантаженню. Після утворення тріщин приріст прогинів зростає, що чітко виражено переломом на графіках «навантаження-прогини». У подальшому прогини збільшуються залежно від армування дослідних зразків (рис. 3, а).

Таблиця 2

## Основні характеристики дослідних зразків на час випробування

Шифр балки		Геометрична характеристика балки				Бетон				Просічно-витяжний лист			
		$b$ , мм	$h$ , мм	$L_0$ , мм	$A$ , см <sup>2</sup>	клас	$f_{ck}$ , МПа	$f_{cm}$ , МПа	$E_{ck} \times 10^3$ , МПа	$b_{sp} \times t_{sp}$ , мм	$A_{sp_2}$ , см <sup>2</sup>	$f_{yk}$ , МПа	$E_s \times 10^5$ , МПа
Серія 1	Б-І-1	135	270	2000	364,5	С16/20	14,3	1,43	22,47	100×4	2,24	271	1,9
	Б-І-2	135	270	2000	364,5	С16/20	14,3	1,43	22,47	100×4	2,24	271	1,9
	Б-І-3	135	270	2000	364,5	С16/20	14,3	1,43	22,47	-	-	-	-
	Б-І-1*	135	270	2000	364,5	С16/20	14,3	1,43	22,47	100×4	2,24	271	1,9
	Б-І-2*	135	270	2000	364,5	С16/20	14,3	1,43	22,47	100×4	2,24	271	1,9
	Б-І-3*	135	270	2000	364,5	С16/20	14,3	1,43	22,47	-	-	-	-

Продовження табл. 2

Шифр балки		Арматура поздовжня стрижнева розтягнута				Арматура поздовжня стрижнева стиснута				Поперечна арматура			
		$d_s$ , мм	$A_s$ , см <sup>2</sup>	$f_{yk}$ , МПа	$E_s \times 10^5$ , МПа	$d_s$ , мм	$A_{s_2}$ , см <sup>2</sup>	$f_{yk}$ , МПа	$E_s \times 10^5$ , МПа	$d_{sw}$ , мм	$A_{sw}$ , см <sup>2</sup>	$f_{yk}$ , МПа	$E_s \times 10^5$ , МПа
Серія 1	Б-І-1	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1
	Б-І-2	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1
	Б-І-3	12	1,13	610	2,1	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1
	Б-І-1*	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1
	Б-І-2*	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1
	Б-І-3*	12	1,13	610	2,1	8	0,503	600	2,1	8	0,503	600	2,1

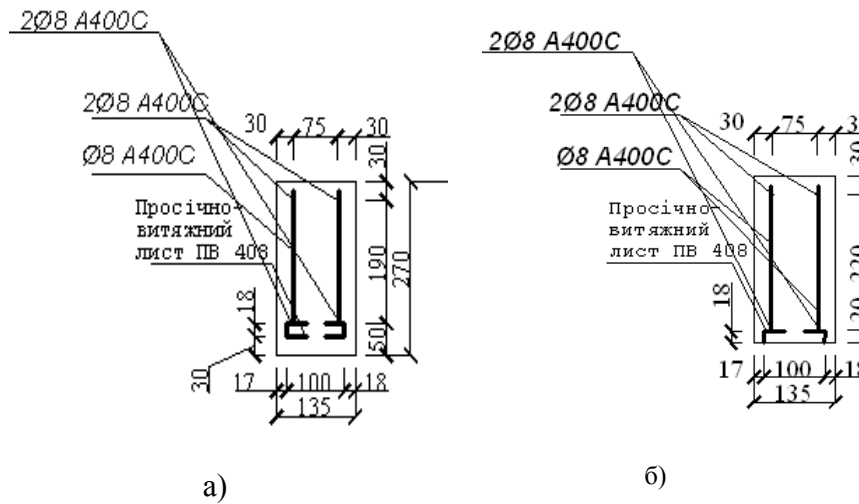


Рис. 1. Поперечний переріз дослідних зразків:  
 а) Б-І-1, Б-І-1\*; б) Б-І-2, Б-І-2\*; в) Б-І-3, Б-І-3\*.

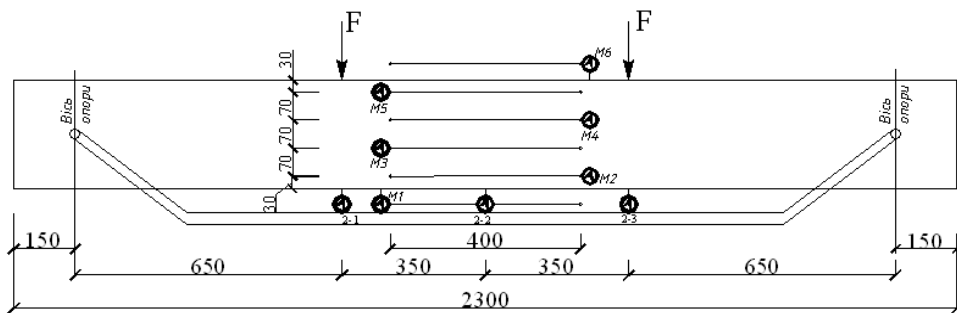


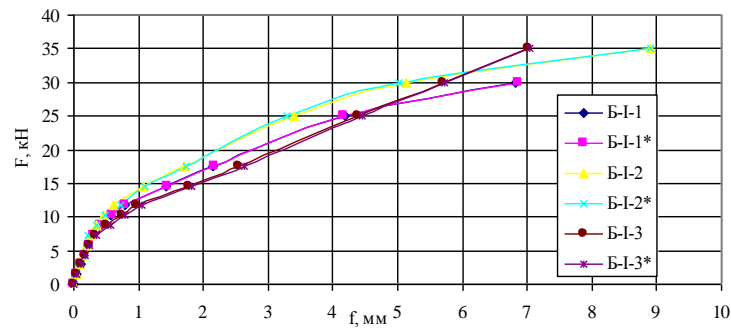
Рис. 2. Схема розміщення вимірювальних приладів: мікроіндикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм М1...М6 – на бічній грані; індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм І1...І3 – на металевій рамці.

Як видно з табл. 3 і рис. 3, а; б; в, для експлуатаційних рівнів завантаження експериментальні значення прогинів дослідних зразків Б-І-1, Б-І-1\* (армування виконане з просічно-витяжного листа із захисним шаром) є менші, ніж теоретичні, у межах 2% (за навантаження  $0,7F_{руй}$  ( $F = 25$  кН) вони склали 4,18 мм для Б-І-1 і 4,16 мм для Б-І-1\*). Для зразка Б-І-2, Б-І-2\* (рис. 3, а; б; г) (армування виконане з просічно-витяжного листа без захисного шару) експериментальні значення знову ж таки менші, ніж теоретичні, у межах 3-5% за навантаження  $0,7F_{руй}$  ( $F = 25$  кН) складають: 5,13 мм для Б-І-2, а для Б-І-2\* – 5,03 мм. Теоретичні значення прогинів були розраховані за деформаційним методом згідно з формулами (5.18-5.19) [2] та запропонованою методикою [1]. Для дослідного зразка Б-І-3, Б-І-3\* (армування виконане зі стрижневої арматури) (рис. 3, а; б; д) різниця між експериментальними та теоретичними значеннями сягає 11% за  $0,7F_{руй}$  ( $F = 30$  кН), експериментальні прогини рівні 5,68 мм для Б-І-3 і 5,73 мм для Б-І-3\*.

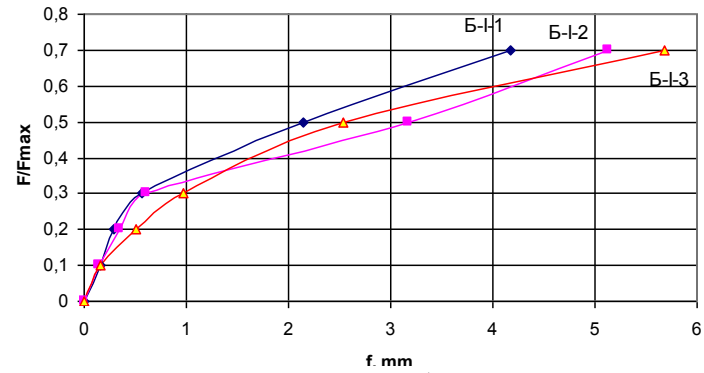
Таблиця 3

Експериментальні й теоретичні прогини дослідних зразків за експлуатаційних рівнів завантаження

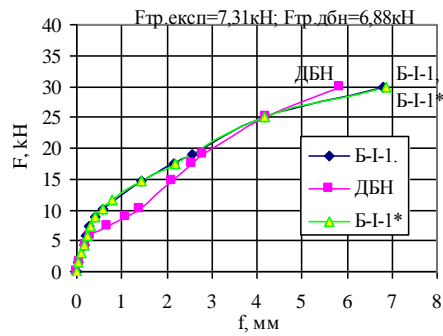
Шифр балки	$F_{екс}$ , кН	$M_{екс}$ , кН*см	Експериментальні прогини, $f^{екс}$ , мм	Теоретичні прогини $f^{теор}$ , мм	$\Delta$ , %	Відсоток армування $\mu$ , %
Б-І-1	25	1625	4,18	4,28	2	1,04
Б-І-1*	25	1625	4,16	4,28	2	1,04
Б-І-2	30	1950	5,13	5,27	3	0,92
Б-І-2*	30	1950	5,03	5,27	5	0,92
Б-І-3	30	1950	5,68	6,35	11	0,70
Б-І-3*	30	1950	5,73	6,35	11	0,70



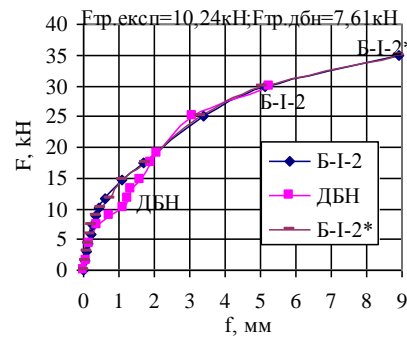
а)



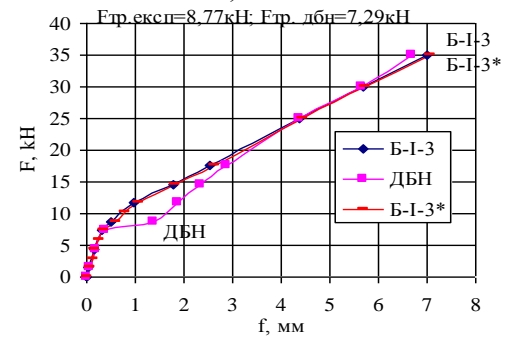
б)



в)



г)



д)

Рис. 3. Експериментальні та теоретичні прогини дослідних зразків: а) експериментальні прогини балок; б) залежність експериментальних прогинів від рівня навантаження; в) балка Б-І-1, Б-І-1\*; г) балка Б-І-2, Б-І-2\*; д) балка Б-І-3, Б-І-3\*.

**Висновки.** 1. Розроблена методика [1] для визначення прогинів прийнятна не лише для традиційних залізобетонних балок, а й для сталобетонних, армованих просічно-витяжним листом.

2. У балках, армованих просічно-витяжним листом, за експлуатаційних рівнів завантаження, прогини є менші, ніж у звичайних залізобетонних, армованих стрижневою арматурою (теоретичні прогини яких визначали без врахування коефіцієнта  $\xi$ , який понижує жорсткість у перерізі за розтягу), що свідчить про ефективність такого виду армування.

3. У всіх дослідних зразках прогини за експлуатаційних рівнів завантаження не перевищують гранично допустимого прогину, який приймається 1/250 від прогону балки – 8 мм.

#### **Бібліографічний список**

1. Бабич В. Є. Практичний метод розрахунку прогинів залізобетонних балок за ДСТУ Б В.2.6 – 156:2010 / В. Є. Бабич // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – 2011. – № 101. – С. 532-540.

2. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б В.2.6 – 156:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

3. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение : ГОСТ 10180-78. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 24 с.

4. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона : ДСТУ Б В. 2.7-217:2009. – К. : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 15 с.

5. Губій М. М. Розрахунок міцності центрально-стиснутих кам'яних елементів, армованих сітками та просічно-витяжним листом / М. М. Губій // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. – К. : НДІБК, 2008. – Вип. 70. – С. 299–305.

6. Добрянський І. М. Сталобетонні балкові елементи з робочим армуванням у вигляді просічно-витяжного листа: методика випробування та дослідження / І. Добрянський, С. Бурчєня, І. Шмиг // Теоретичні і практичні аспекти розвитку агропромислового виробництва та сільських територій : матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму, 21-24 вер. 2011 р. – Львів, 2011. – С. 438-444.

7. Клименко Ф. Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием / Ф. Е. Клименко. – К. : Будівельник, 1984. – 88 с.

8. Металлы. Методы испытания на растяжение : ГОСТ 1497-84. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 15 с.



9. Пат. на корисну модель u2011 08765 МПК E04C 5/02(2006.01). Сталебетонний елемент / Добрянський І. М., Шмиг Р. А., Бурченя С. П. ; заявник і патентовласник Львів. нац. аграр. ун-т. – № 69032, заявл. 12.07.2011 ; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.

10. Пат. на корисну модель u2011 08771 МПК E04C 5/02(2006.01). Сталебетонний елемент / Добрянський І. М., Шмиг Р. А., Бурченя С. П. ; заявник і патентовласник Львів. нац. аграр. ун-т. – № 69035, заявл. 12.07.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.

11. Стороженко Л. И. Сталежелезобетонные конструкции / Л. И. Стороженко, А. В. Семко, В. И. Ефименко. – К. : Четверта хвиля, 1997. – 160 с.

12. Талантов Д. В. Прочность, жесткость и трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов, армированных высечкой : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Талантов Дмитрий Владимирович. – СПб, 2005. – 140 с.

**Бурченя С. Експериментально-теоретичні дослідження деформацій прогину сталебетонних балок, армованих просічно-витяжним листом**

Наведені результати експериментально-теоретичних досліджень прогинів дослідних сталебетонних балок, армованих просічно-витяжним листом, і залізобетонних, армованих стрижневою арматурою.

**Ключові слова:** прогини, сталебетонні балки, просічно-витяжний лист.

**Burchenya S. Experimental and theoretical studies deformations deflection steel concrete beams reinforced by cut and stretched sheet**

The paper presented the results of experimental and theoretical studies of experimental deflections of steel concrete beams reinforced by cut and stretched sheet and reinforced concrete.

**Key words:** deflection, research steel concrete beams, cut and stretched sheet.

**Бурченя С. Экспериментально-теоретические исследования деформаций прогибов сталебетонных балок, армированных просечно-вытяжным листом**

Представлены результаты экспериментально-теоретических исследований прогибов исследуемых сталебетонных балок, армированных просечно-вытяжным листом, и железобетонных, армированных стержневой арматурой.

**Ключевые слова:** прогибы, балки, просечно-вытяжной лист.