

**Ф.Є. Клименко**, Б.М. Ільницький\*, Т.В. Бобало  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра будівельних конструкцій та мостів,  
 \*кафедра гідравліки та сантехніки

## **МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК, АРМОВАНИХ АРМАТУРОЮ КЛАСУ А-400, А<sub>т</sub>-800, В ПОЄДНАННІ ЗІ СТРІЧКОВОЮ, ЩО ПРАЦЮЄ БЕЗ ЗЧЕПЛЕННЯ З БЕТОНОМ**

© **Клименко Ф.Є.**, Ільницький Б.М., Бобало Т.В., 2008

**Обґрунтовано особливості роботи та характер руйнування сталобетонних балок із зовнішнім гладким стрічковим армуванням без зчеплення з бетоном у поєднанні з арматурою класу А-400 та А<sub>т</sub>-800. Поєднання конструктивного рішення сталобетонних балок, в якому передбачається здешевлення їх виготовлення, є актуальним з погляду доцільності дослідження міцності, деформативності та практичного застосування у будівництві.**

**The purpose of work are studying features of work and character of destruction of beams of steel concretes with external smooth band re-enforcement, without tripping with a concrete, in combination with the armature of class of А-400 and А<sub>т</sub>-800. Combination of structural decision of beams of steel concretes, in which diminishing of prices of their making is actual from point of expedience of research of durability and practical application in building.**

**Постановка проблеми.** Головною перевагою сталобетонних конструкцій є те, що їх стрічкова арматура розміщується на зовнішніх гранях перерізу без захисного шару бетону. Тим самим досягається зростання несучої здатності конструкції та її жорсткості, або відкривається можливість для створення економічно ефективних конструкцій зменшеної висоти порівняно з існуючими залізобетонними.

Через відсутність зовнішньої стрічкової арматури періодичного профілю сумісна робота гладкої стрічкової арматури і бетону забезпечується сьогодні лише поперечними стрижнями, привареними до неї в тавр, з певним кроком по довжині контакту. Приварення вертикальних поперечних стрижнів до стрічкової арматури в сталобетонних балках, як і приварювання поперечних стрижнів до поздовжніх стрижнів, в залізобетонних балках потребує не тільки спеціального технологічного обладнання, а й відповідних матеріальних затрат.

Поєднання конструктивного рішення сталобетонних балок, в якому передбачається зменшення металомісткості та технології із здешевленням їх виготовлення, є актуальним з погляду доцільності дослідження міцності, деформативності та практичного застосування у будівництві.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Деякі дослідження проводились у сталобетонних балках, в яких поєднувалась робота зовнішньої стрічкової та стрижневої арматури класу А-400. Дослідження показали, що балки з більшим відсотком зовнішньої стрічкової арматури набагато економічніші, з ними досягається зростання несучої здатності конструкції та її жорсткості. Проте поєднання роботи зовнішньої стрічкової арматури з внутрішньою стрижневою з міцнішої сталі на зразок А<sub>т</sub>-800 також варте уваги.

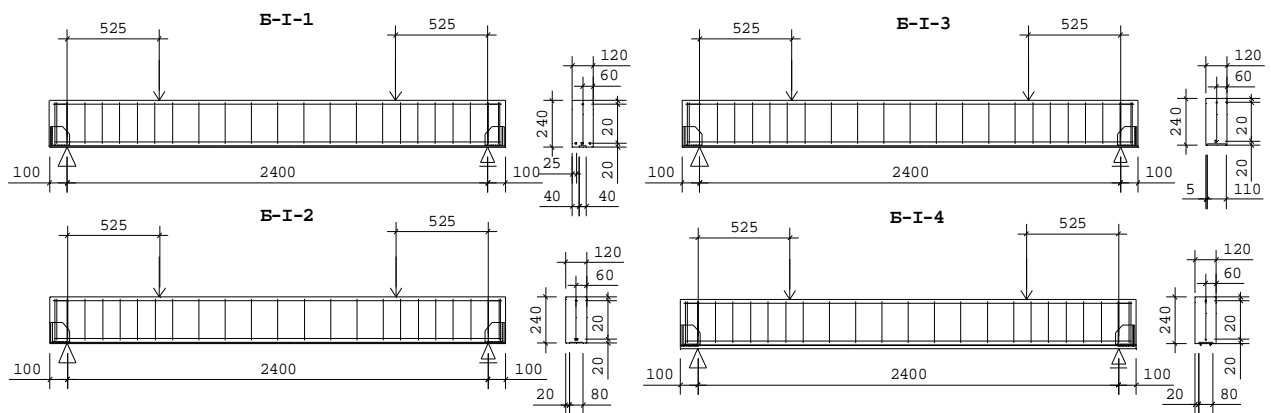
Застосування високоміцної стрижневої арматури класу Ат-800 в поєднанні зі стрічковою сталлю Ст-3 без зчеплення з бетоном дасть змогу досягти підвищення міцності та збільшення економічних показників.

**Мета та завдання досліджень:**

- експериментально оцінити вплив поєднання зовнішньої гладкої стрічкової арматури (сталь Ст-3) без зчеплення з бетоном і стрижневої арматури класу А-400 на міцність сталобетонних балок в зоні чистого згину;
- провести аналогічне дослідження балок, в яких використовуються вставні арматурні каркаси та стрижнева арматура класу Ат-800 і стрічкова – звичайна сталь класу Ст-3;
- обґрунтувати особливості роботи та характер руйнування сталобетонних балок із зовнішнім гладким стрічковим армуванням без зчеплення з бетоном в поєднанні із стрижневою арматурою різної міцності (А-400, Ат-800);
- оцінити вплив на міцність, деформативність та тріщиностійкість сталобетонних балок, різного відсотка армування стрічковою арматурою сталі класу Ст-3 в поєднанні зі стрижневою класу А-400 та Ат-800.

**Експериментальні дослідження.** Для проведення експериментальних досліджень були запроєктовані і випробувані дослідні зразки у вигляді сталобетонних балок без зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном перерізом 120x240 мм завдовжки 2600 мм.

Сталобетонні балки виготовлялись з важкого бетону. У балках першої серії як арматура розтягнутої зони застосовувалась гладка стрічкова арматура і рифлена стрижнева класу А-400 приблизно однакових фізико-механічних характеристик. В усіх дослідних зразках цієї серії стиснута зона армувалась двома стрижнями  $\varnothing 8$  класу А-400. Конструкцію арматурних каркасів показано на рис. 1.



*Рис. 1. Конструкція дослідних зразків першої серії*

Перша серія вірців складалась з чотирьох балок. Для усіх балок поперечна арматура прийнята зі стрижнів  $\varnothing 6$  класу А-240, встановлених з кроком 100 мм у зоні дії поперечних сил. Під час виготовлення балок ця арматура вкладалась у вигляді незалежних плоских каркасів. Робочою поздовжньою арматурою розтягнутої зони була гладка стрічка завтовшки  $t = 6$  мм без зчеплення з бетоном і арматура періодичного профілю  $\varnothing 16$  мм класу А-400. Спільна робота стрічки і бетону забезпечувалась жорсткими торцевими упорами, встановленими на кінцях балки. У межах цієї серії балки відрізнялись різним співвідношенням стрічкової і стрижневої арматури. Стрічкова арматура працювала без зчеплення з бетоном, а стрижнева – традиційно зі зчепленням.

У сталобетонній балці Б-І-1 стрічкова арматура площею  $A_s=2,4 \text{ см}^2$ , що становило 30 %, і стрижнева  $3\varnothing 16$  А-400 – площею  $A_s=6,03 \text{ см}^2$ , що становило 70 %.

У сталобетонній балці Б-I-2 стрічкова арматура площею  $A_s=4,8 \text{ см}^2$ , що становило 54 %, і стрижнева  $2\text{Ø}16 \text{ A-400}$  – площею  $A_s=4,02 \text{ см}^2$ , що становило 46 %.

У сталобетонній балці Б-I-3 стрічкова арматура площею  $A_s=6,6 \text{ см}^2$ , що становило 77 %, і стрижнева  $1\text{Ø}16 \text{ A-400}$  – площею  $A_s=2,011 \text{ см}^2$ , що становило 23 %.

У балці Б-I-4 уся арматура і стрічкова і стрижнева не мала зчеплення з бетоном. При цьому стрижнева арматура з'єднана зі стрічковою після виготовлення балок.

Випробування дослідних балок проводилось статичним короткочасним навантаженням двома зосередженими силами.

Ширина розкриття тріщин та деформації арматури і бетону як для першої, так і для другої серії балок, фіксувалась за допомогою тензорезисторів, а також мікроіндикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм. Найбільша ширина розкриття тріщин вимірювалась за допомогою мікроскопа з ціною поділки 0,05 мм. Прогини визначались за показами індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Друга серія складається поки що з двох балок, зовнішньою арматурою розтягнутої зони є гладка стрічкова арматура, а також рифлена стрижнева високоміцна класу  $A_t-800$ . В усіх дослідних зразках стиснута зона армувалась одним стрижнем  $\text{Ø}8$  класу  $A-400$ . Відсоток залежності стрічкової арматури від стрижневої в розтягнутій зоні брався за співвідношенням міцності сталей.

Конструкцію арматурних каркасів показано на рис. 2.

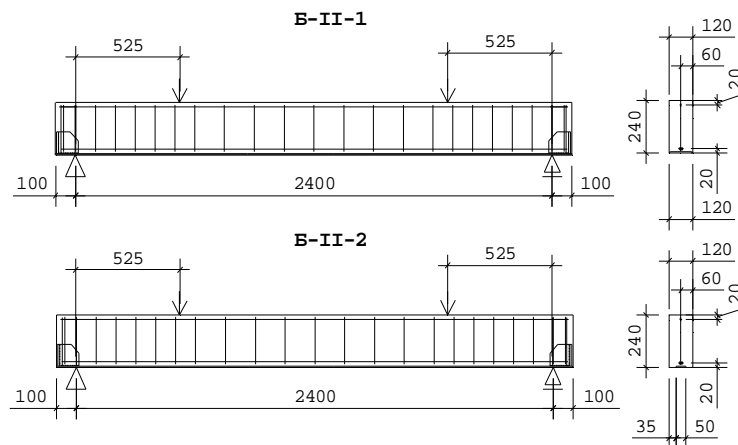


Рис. 2. Конструкція дослідних зразків другої серії

У сталобетонній балці Б-II-1 стрічкова арматура площею  $A_s=5,40 \text{ см}^2$ , що становило 38 % від загальної міцності усієї робочої арматури, і стрижнева  $2\text{Ø}12 \text{ A}_t-800$  – площею  $A_s=2,26 \text{ см}^2$ , що становило 62 % від міцності.

У сталобетонній балці Б-II-2 стрічкова арматура площею  $A_s=2,25 \text{ см}^2$ , що становило 20 % від міцності, і стрижнева  $2\text{Ø}12 \text{ A}_t-800$  – площею  $A_s=2,26 \text{ см}^2$ , що становило 80 % від міцності.

Стрічкова арматура також у цій серії не мала зчеплення з бетоном і їхня сумісна робота досягала за рахунок жорстких торцевих упорів. Поперечна арматура для балок прийнята зі стрижнів  $\text{Ø}8$  класу  $A-400$  і викладалась у вигляді незалежних плоских каркасів. Фізико-механічні характеристики матеріалів наведено у табл. 1.

Бетон балки Б-I-1 мав міцність  $R_b=44,1 \text{ МПа}$  і 70 % поздовжньої арматури, яка мала зчеплення з бетоном, і 30 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном. Фізичне руйнування в балці відбулося за величини згинального моменту  $44,6 \text{ кН/м}$  внаслідок розчавлювання стиснутої зони бетону під силою. Деформація поздовжньої стрічкової арматури при цьому досягнула  $0,65R_s$ .

Бетон балки Б-I-2 мав міцність  $R_b=44,1 \text{ МПа}$  і 54 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном, і 46 % поздовжньої арматури, що має зчеплення з бетоном. Фізичне руйнування балки також відбулось від розчавлювання стиснутого бетону під силою за величини

згинального моменту 51,5 кН/м. Деформації поздовжньої стрічкової арматури при цьому досягнули  $0,66R_s$ .

Бетон балки Б-I-3 мав міцність  $R_b=35,5$ МПа і 77 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном, і 23 % поздовжньої арматури, що має зчеплення з бетоном. Руїнування відбулось від розчавлювання бетону під силою за величини згинального моменту 61,10 кН/м. Деформації поздовжньої стрічкової арматури при цьому досягли  $0,95R_s$ .

Бетон балки Б-I-4 мав міцність  $R_b=23,4$ МПа і 100 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном. Фізичне руїнування балки Б-I-4 відбулось за моменту, що дорівнює 60,9 кН/м, внаслідок одночасного досягнення поздовжньою стрічковою арматурою деформації текучості і розчавлювання похилого перерізу від зосередженої сили до опори.

Таблиця 1

**Фізико-механічна характеристика матеріалів дослідних балок**

Позначення балок	Характеристика арматури										Характеристика бетону					
	$\frac{A_{s,l}}{A_{s,ст}}$	Площа перерізу, см <sup>2</sup>				Межа текучості, $R_u$ МПа				Модуль пружності, $E_s \cdot 10^{-5}$ МПа		Міцність, МПа		Початковий модуль пружності, $10^{-3}$ МПа		
		Розтягнутої		стисненої $A_s$	поперечної	Розтягнутої		стисненої	поперечної	Розтягнутої		стисненої	поперечної		на стиск, $R_b$	на розтяг, $R_{bt}$
		стрічкової $A_{s,l}$	стрижневої $A_{s,ст}$			стрічкової	стрижневої			стрічкової	стрижневої					
Б-I-1	$\frac{30\%}{70\%}$	$A_{s,l}=2,4$	$3\varnothing 16A400$ $A_{s,ст}=6,03$	$2\varnothing 8A400$ $A_s=1,01$	A2 40- 0,2 83	340,0	312,3	594,5	188,0	1,94	2,03	1,88	2,09	44,1	3,53	4,553
Б-I-2	$\frac{54\%}{46\%}$	$A_{s,l}=4,8$	$2\varnothing 16A400$ $A_{s,ст}=4,02$	$2\varnothing 8A400$ $A_s=1,01$	A2 40- 0,2 83	340,0	312,3	594,5	188,0	1,94	2,03	1,88	2,09	44,1	3,53	4,553
Б-I-3	$\frac{100\%}{0\%}$	$A_{s,l}=4,8$	$2\varnothing 16A400$ $A_{s,ст}=4,02$ $1\varnothing 6A240$ $A_{s,ст}=0,28$	$2\varnothing 8A400$ $A_s=1,01$	A2 40- 0,2 83	340,0	312,3 188,0	594,5	188,0	1,94	2,03 2,09	1,88	2,09	23,4	2,9	3,44
Б-II-1	$\frac{20\%}{80\%}$	$A_{s,l}=2,2$ 5	$2\varnothing 12AT-800$ $A_{s,ст}=2,26$	$1\varnothing 8A400$ $A_s=0,50$	A2 40- 0,2 83	315,0	1256,9	594,5	188,0	2,05	1,92	1,88	2,09	25,0	1,65	-
Б-II-2	$\frac{38\%}{62\%}$	$A_{s,l}=5,4$	$2\varnothing 12AT-800$ $A_{s,ст}=2,26$	$1\varnothing 8A400$ $A_s=0,50$	A2 40- 0,2 83	315,0	1256,9	594,5	188,0	2,05	1,92	1,88	2,09	25,0	1,65	-

Серія II:

Площа арматури підбиралась у співвідношенні 38/62, 20/80 – за міцністю сталей арматури класу Ат-800 та стрічкової ВСт3сп5-1

Балка Б-II-1 з міцністю бетону  $R_b=25,0\text{МПа}$  і 80 % поздовжньої арматури класу Ат-800, що має зчеплення з бетоном, і 20 % поздовжньої стрічкової арматури, що не має зчеплення з бетоном. Руйнування в балці повинно відбутися за величини згинального моменту 60,45 кН/м, фактичне руйнування відбулось за дії моменту 60,1 кН/м внаслідок розчавлювання стиснутої зони бетону.

Балка Б-II-2 мала міцність бетону  $R_b=25,0\text{МПа}$  і 62 % поздовжньої арматури класу Ат-800, яка мала зчеплення з бетоном, і 38 % поздовжньої стрічкової арматури, що не має зчеплення з бетоном. Руйнування в балці згідно з розрахунком повинно відбутися за величини згинального моменту 81,2 кН/м, фактичне руйнування відбулось за дії моменту 81,9 кН/м внаслідок розчавлювання стиснутої зони бетону.

Результати досліджень серії I і серії II подано у табл. 2.

Таблиця 2

**Результати досліджень експериментальних сталобетонних балок із стрічковою арматурою без зчеплення з бетоном**

Позначення балок	Значення згинального моменту, що відповідає утворенню нормальних тріщин			Несуча здатність (текучість, граничне розкриття тріщин)			Дослідне значення $M_{д2}$ за фізичного руйнування, кНм	Прогин за $M=0,95M_{д3}$ $f_{\max}$ , мм
	дослідне $M_{д1}$ , кНм	за СНиП 2.03.01-84* $M_{н1}$ , кНм	$(M_{н1}-M_{д1})/M_{д1}$ , %	$\epsilon_{sw} \geq 96 \cdot 10^{-5} M_{д3}$ , кНм	за СНиП 2.03.01-84* $M_{н3}$ , кНм	$(M_{н3}-M_{д3})/M_{д3}$ , %		
Б-I-1	12,27	8,51	-30,67	44,6	46,47	4,19	48,83	5,35
Б-I-2	9,34	8,69	-6,97	51,5	48,55	-5,73	53,55	10,2
Б-I-3	8,99	10,00	11,14	61,9	51,70	-16,48	61,9	8,95
Б-I-4	8,94	9,73	8,93	60,9	45,95	-24,55	60,9	8,55
Б-II-1	8,78	8,32	5,55	43,2	40,53	-6,59	50,85	7,72
Б-II-2	11,2	10,38	7,90	56,8	52,12	-9,13	63,80	5,45

**Висновки.** Застосування стрічкової арматури з торцевими упорами без зчеплення з бетоном за відсутності з'єднання з поперечною вертикальною стрижневою арматурою істотно не впливає на підвищення міцності по нормальних перерізах сталобетонних балок.

Конструктивне вирішення армування, в основу якого покладені вставні стрижневі арматурні каркаси, що не з'єднані зі стрічковою арматурою, спрощують його виготовлення та полегшують технологію бетонування сталобетонних балок.

Зі збільшенням відсотка зовнішньої стрічкової арматури в балках зі змішаним армуванням, яка працює без зчеплення з бетоном, момент появи нормальних тріщин дещо зменшується. Так, в балках з повністю стрічковою арматурою без зчеплення з бетоном тріщиностійкість на утворення нормальних тріщин на 20 % нижча, ніж у звичайних залізобетонних балок.

Прогини за збільшення кількості зовнішньої стрічкової арматури без зчеплення з бетоном в балках зі змішаним армуванням дещо зростають порівняно з аналогічними залізобетонними балками. Так, в сталобетонних балках із повністю зовнішньою стрічковою арматурою без зчеплення з бетоном прогини на 7–10 % більші, ніж в аналогічних залізобетонних балках. Збільшення прогинів під навантаженням в сталобетонних балках є наслідком рівномірних і сумарно більших деформацій зовнішньої стрічкової арматури без зчеплення з бетоном по довжині прольоту, ніж деформації стрижневої арматури звичайних залізобетонних балок.

Сучасні нормативні документи задовільно оцінюють прогини сталобетонних балок без зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном.

1. Розробка, дослідження та застосування у будівництві сталобетонних конструкцій. – Львів: Друк ПП “Арал”, 2001. – С. 80. 2. Клименко Ф.Є., Добрянський І.М., Фабрика Ю.М. Робота сталезалізобетонних балок у зоні чистого згину // Вісник Львів. аграр. ун-ту “Архітектура і сільськогосподарське будівництво”. – 2004. – №5. 3. Ільницький Б.М. Несуча здатність похилих перерізів сталобетонних балок без зчеплення зовнішньої арматури з бетоном: Дисертація ... канд. техн. наук. – Львів, 2000. 4. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції. – Львів: Світ, 2002. – 311 с. 5. Клименко Ф.Є., Гавриляк А.І., Фабрика Ю.М. Вплив довготривалих навантажень на несучу здатність сталобетонних згинальних елементів // Тези Міжнар. конф. – Кривий Ріг, 1998. 6. Барабаш В.М., Клименко Ф.Є. Розробка, дослідження та застосування нового виду стрічкової арматури періодичного профілю в сталобетонних конструкціях // Проблеми теорії і практики залізобетону. – Полтава, 1997. – С. 37–41. 7. Боднарчук Т.Б., Шмиг Р.А. Методика виготовлення та дослідження тришарових сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням // Проблеми теорії і практики будівництва. – Львів, 1997. – Т. II. – С. 34–37. 8. Клименко Ф.Є., Ільницький Б.М., Бобало Т.В. Міцність сталобетонних балок, армованих арматурою класу А-III, А-V, в поєднанні зі стрічковою, що працює без зчеплення з бетоном // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. 2007. – Вип.6

УДК 697.94.(075)

**В.Й. Лабай**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## **ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО ККД SPLIT-КОНДИЦІОНЕРІВ ВІД АДІАБАТИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ККД КОМПРЕСОРА**

© Лабай В.Й., 2008

**Використано ексергетичний метод аналізу роботи одноступеневих хладонових холодильних машин місцевих автономних кондиціонерів. Встановлена залежність ексергетичного ККД split-кондиціонера фірми „Sanyo” холодопродуктивністю 2020 Вт від адіабатичного та електромеханічного ККД компресора.**

**In this article it was used the method of the exergetic analysis of one-step freon cooling engines of the local autonomous air conditioners. It was defined the dependence of the exergetic output-input ratio for the “split” air conditioner of firm “Sanyo” with cooling capacity 2020 W from the adiabatic and the electromechanic output-input ratio for the compressor.**

**Постановка проблеми.** Холодильні машини, які застосовують в місцевих автономних кондиціонерах, потребують для зменшення енергозатрат вдосконалення, яке можливе з використанням сучасного методу термодинаміки – ексергетичного [1, 2, 3].

Ексергетичний аналіз дає змогу встановити максимальні термодинамічні можливості системи, визначити втрати ексергії в ній та обґрунтувати рекомендації з вдосконалення окремих її