

Ф.Є. Клименко, Б.М. Ільницький, Т.В. Бобало
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12
e-mail: taras2006@skynet.in.ua

МІЦНІСТЬ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК, АРМОВАНИХ АРМАТУРОЮ КЛАСУ А-III, А-V У ПОЄДНАННІ ЗІ СТРІЧКОВОЮ, ЩО ПРАЦЮЄ БЕЗ ЗЧЕПЛЕННЯ З БЕТОНОМ

© Клименко Ф.Є., Ільницький Б.М., Бобало Т.В., 2007

Поєднання конструктивного рішення сталебетонних балок, в якому передбачається зменшення металомісткості та технології із здешевленням їхнього виготовлення є актуальним з погляду доцільності дослідження міцності, деформативності та практичного застосування в будівництві. Метою роботи є обґрунтування особливості роботи та характеру руйнування сталебетонних балок із зовнішнім гладким стрічковим армуванням, без зчеплення з бетоном, у поєднанні з арматурою класу А-III та А-V.

Combination of structural decision of beams of steel concretes, in which diminishing of steel and technology is foreseen with reduction of prices of their making is actual from point of expedience of research of durability and practical application in building. 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 A-III and A-V.

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

Дослідження показали, що балки з більшим відсотком зовнішньої листової арматури набагато економічніші. Проте варто уваги рішення з застосуванням високоміцної стержневої арматури класу А-V в поєднанні з листовою звичайною без зчеплення з бетоном. Це дасть нам змогу досягти підвищення міцності та збільшення економічних показників.

Експериментальні дослідження. Метою досліджень передбачалось:

- експериментально оцінити вплив зовнішньої гладкої стрічкової арматури без зчеплення з бетоном на міцність похилих перерізів сталебетонних балок у зоні дії поперечних сил;
- дослідно виявити вплив різного процента співвідношення стрічкового та стержневого армування на міцність, деформативність та тріщиностійкість сталебетонних балок;
- обґрунтувати особливості роботи та характер руйнування сталебетонних балок із зовнішнім гладким стрічковим армуванням без зчеплення з бетоном;
- розрахунками оцінити вплив на міцність, деформативність та тріщиностійкість сталебетонних балок, різного відсотка армування арматурою класу А-V у поєднанні з листовою;
- обґрунтувати особливості роботи та характер руйнування сталебетонних балок із зовнішнім гладким стрічковим армуванням без зчеплення з бетоном у поєднанні з арматурою класу А-V;

Для експериментальних досліджень були спроектовані і випробувані дослідні зразки у вигляді сталобетонних балок без зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном перерізом 120×240 мм, довжиною 2600 мм.

Сталобетонні балки виготовлялись з важкого бетону. У балках першої серії для зовнішньої арматури розтягнутої зони застосовувалась гладка листова арматура і рифлена стержнева приблизно однакових фізико-механічних характеристик. У всіх дослідних зразках стиснута зона армувалась двома стержнями $\varnothing 8$ класу А-III. Конструкція арматурних каркасів подана на рис. 1.

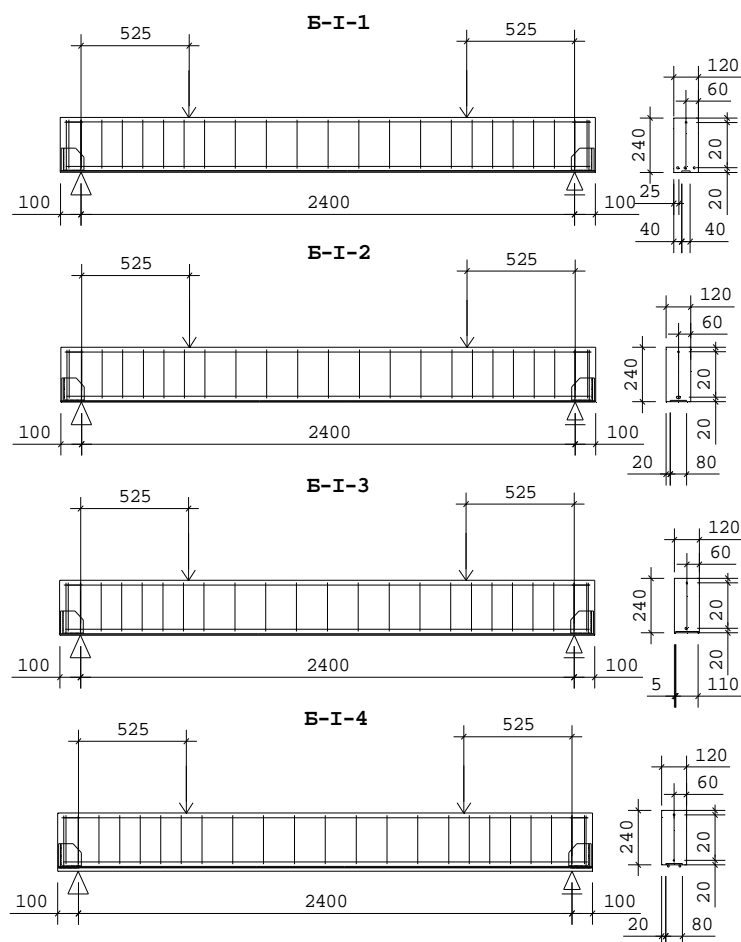


Рис. 1. Конструкція дослідних зразків першої серії

Перша серія взірців складалась з чотирьох балок. Для всіх балок поперечна арматура прийнята із стержнів $\varnothing 6$ класу А-І, встановлених з кроком 100 мм в зоні дії поперечних сил. Під час виготовлення балок ця арматура вкладалась у вигляді незалежних плоских каркасів. Робочою поздовжньою арматурою розтягнутої зони слугував гладкий лист товщиною $t = 6$ мм без зчеплення з бетоном і арматура періодичного профілю $\varnothing 16$ мм класу А-III. Спільна робота листа і бетону забезпечувалась жорсткими торцевими упорами, встановленими на кінцях балки. У межах цієї серії балки відрізнялись різним співвідношенням стрічкової і стержневої арматури. Стрічкова арматура працювала без зчеплення з бетоном, а стержнева традиційно з зчепленням. До всіх зразків цієї серії прикладалось навантаженням з плечем зрізу, що дорівнювало $2,2h$.

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

У сталобетонній балці Б-І-2 стрічкова арматура площею $A_s = 4,8 \text{ см}^2$, що становило 54 % і стержнева $2\varnothing$ АIII площею $A_s = 4,02 \text{ см}^2$, що становило 46 %.

У сталобетонній балці Б-І-3 стрічкова арматура площею $A_s=6,6 \text{ см}^2$, що становило 77 % і стержньова 1Ø АШ площею $A_s=2,011 \text{ см}^2$, що становило 23 %.

У балці Б-І-4 вся арматура – і стрічкова, і стержнева не мала зчеплення з бетоном, стержнева арматура була з'єднана із стрічковою після виготовлення балок.

Випробувалися дослідні балки статичним короткочасним навантаженням двома зосередженими силами.

Під час випробування вимірювалися деформації бетону і арматури у зоні чистого згину, а також у зоні дії поперечної сили, прогини балок та момент тріщиноутворення і ширина розкриття тріщин.

Величина згинального моменту тріщиноутворення та деформації арматури і бетону фіксувалися за допомогою тензорезисторів і компаратора, а також мікроіндикаторів годинникового типу. Найбільша ширина розкриття тріщин вимірювалась за допомогою мікроскопа з ціною поділки 0,05 мм. Прогини визначалися за показами індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Друга серія – теоретична, тобто дослідження по ній ще не виконувались, здійснено лише розрахунок. Відсоток залежності листової арматури від стержневої брався за міцністю сталі.

У балках другої серії для зовнішньої арматури розтягнутої зони застосовується гладка листовая арматура і рифлена стержнева високоміцна класу А-V. У всіх дослідних зразках стиснута зона армувалась двома стержнями $\text{Ø}8$ класу А-ІІІ.

Конструкція арматурних каркасів подана на рис. 2.

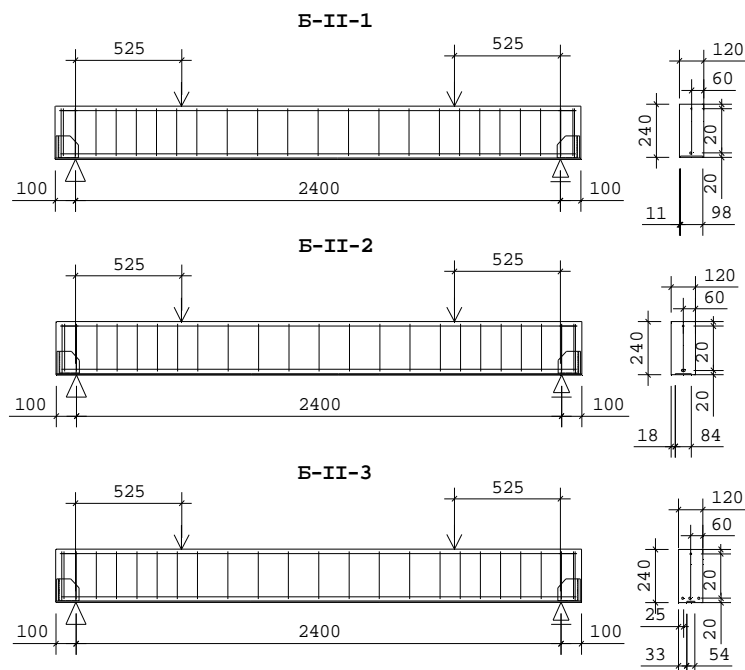


Рис. 2. Конструкція дослідних зразків другої серії

У сталобетонній балці Б-1 стрічкова арматура площею $A_s=5,89 \text{ см}^2$, що становило 70 % і стержньова 1Ø АV площею $A_s=0,79 \text{ см}^2$, що становило 30 %.

У сталобетонній балці Б-2 стрічкова арматура площею $A_s=5,05 \text{ см}^2$, що становило 50 % і стержньова 2Ø АV площею $A_s=1,57 \text{ см}^2$, що становило 50 %.

У сталобетонній балці Б-3 стрічкова арматура площею $A_s=3,25 \text{ см}^2$, що становило 30 % і стержньова 3Ø АV площею $A_s=2,36 \text{ см}^2$, що становило 70 %.

Лист не мав зчеплення з бетоном і сумісна робота стрічки з бетоном досягалась за рахунок жорстких торцевих упорів. Поперечна арматура для балок прийнята з стержнів $\text{Ø}6$ класу А-І і викладалась у вигляді вставних плоских каркасів, не будучи зв'язаною із стрічкою. Фізико-механічні характеристики матеріалів наведено у табл. 1.

Фізико-механічна характеристика матеріалів дослідних балок

Позначення балок	Характеристика арматури												Характеристика бетону			
	$\frac{A_s^a}{A_s^{ct}}$	Площа перерізу, см ²				Межа текучості, R _t , МПа				Модуль пружності, E _s *10 ⁻⁵ МПа				Міцність, МПа		
		Розтягнутої		Стисненої A_s^c/A_s^c	Поперечної	Розтягнутої		Стисненої	Поперечної	Розтягнутої		Стисненої	Поперечної	На стиск, R _b	На розтяг, R _{ct}	Початковий модуль пружності, 10 ⁻⁴ МПа
		Стрічкової A_s^a	Стержневої A_s^{ct}			Стрічкової	Стержневої			Стрічкової	Стержневої					
Б-I-1	$\frac{30\%}{70\%}$	$A_s^a=2,4$	3Ø16A-III $A_s^{ct}=6,03$	2Ø8AIIA _s ^c / 1,01	AI-0,283	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	$\frac{54\%}{46\%}$	$A_s^a=4,8$	2Ø16A-III $A_s^{ct}=4,02$	2Ø8AIIA _s ^c / 1,01	AI-0,283	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	$\frac{77\%}{23\%}$	$A_s^a=6,6$	1Ø16A-III $A_s^{ct}=2,011$	2Ø8AIIA _s ^c / 1,01	AI-0,283	340,0	312,3	594,5	188,0	1,94	2,03	1,88	2,09	35,9	3,83	4,349
Б-I-4	$\frac{100\%}{0\%}$	$A_s^a=4,8$	2Ø16A-III $A_s^{ct}=4,02$ 1Ø6AI $A_s^{ct}=0,28$	2Ø8AIIA _s ^c / 1,01	AI-0,283	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	$\frac{70\%}{30\%}$	$A_s^a=5,89$	1Ø10A-V $A_s^{ct}=0,79$	2Ø8AIIA _s ^c / 1,01	AI-0,283	340,0	685,2	594,5	188,0	1,94	1,9	1,88	2,09	33,0	1,65	–
Б-II-2	$\frac{50\%}{50\%}$	$A_s^a=5,05$	2Ø10A-V $A_s^{ct}=1,57$	2Ø8AIIA _s ^c / 1,01	AI-0,283	340,0	685,2	594,5	188,0	1,94	1,9	1,88	2,09	33,0	1,65	–
Б-II-3	$\frac{30\%}{70\%}$	$A_s^a=3,25$	3Ø10A-V $A_s^{ct}=2,36$	2Ø8AIIA _s ^c / 1,01	AI-0,283	340,0	685,2	594,5	188,0	1,94	1,9	1,88	2,09	33,0	1,65	–

Балка Б-I-1 мала міцність бетону $R_b=44,1$ МПа, 70 % поздовжньої арматури, яка мала зчеплення з бетоном і 30 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном. Деформація в поперечних стержнях сягнула значення текучості при навантаженні 85 кН, хоча передбачалось СНиПом 88,5 кН. Фізичне руйнування в балці відбулося при поперечній силі 93 кН внаслідок розчалування стиснутої зони бетону над похилою тріщиною. Деформація поздовжньої стрічкової арматури досягла $0,65R_s$.

Балка Б-I-2 мала міцність бетону $R_b=44,1$ МПа, 54% поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном і 46 % поздовжньої арматури, що має зчеплення з бетоном. Деформація в поперечних стержнях цієї балки сягнула значення текучості при поперечній силі 98 кН, хоча передбачалось СНиПом 92,52 кН. Фізичне руйнування балки також відбулось від розчалування стиснутої зони бетону над похилою тріщиною. Деформації поздовжньої стрічкової арматури досягли $0,66R_s$.

Балка Б-I-3 мала міцність бетону $R_b = 35,5$ МПа, 77 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном і 23 % поздовжньої арматури, що має зчеплення з бетоном. Ця балка випробувалась також з плечем $2,2h$, але як передбачалось СНиПом при поперечній силі 98,47 кН руйнування балки досягнути не вдалось.

Балка Б-I-4 мала міцність бетону $R_b = 23,4$ МПа і 100 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном. Деформації, яке відповідає значенню текучості, в поперечних стержнях цієї балки досягнути не вдалось. СНиП передбачав поперечну силу, яка дорівнювала 87,52 кН. Фізичне руйнування балки Б-I-4 відбулось при навантаженні, що дорівнювали 146 кН внаслідок одночасного досягнення поздовжньою стрічковою арматурою деформації текучості і роздавлювання похилого перерізу від зосередженої сили до опори.

Серія II з високоміцними стержнями класу A-V та із звичайною листовою арматурою. Площа арматури підбиралась в співвідношенні 30/70, 50/50, 70/30 – за міцністю сталей арматури класу A-V та листа ВСтЗсп5-1

Балка Б-II-1 матиме міцність бетону $R_b=33,0$ МПа, 30 % поздовжньої арматури класу А-V, яка мала зчеплення з бетоном і 70 % поздовжньої листової арматури, що не має зчеплення з бетоном. Фізичне руйнування в балці повинно відбутися при величині поперечної сили $> 77,74$ кН.

Балка Б-I-2 матиме міцність бетону $R_b=33,0$ МПа, 50 % поздовжньої арматури, що не має зчеплення з бетоном і 50 % поздовжньої листової арматури, що має зчеплення з бетоном. Фізичне руйнування в балці повинно відбутися при поперечній силі $> 89,34$ кН.

Балка Б-I-3 матиме міцність бетону $R_b=33,0$ МПа, 30 % поздовжньої листової арматури, що не має зчеплення з бетоном і 70 % поздовжньої арматури, що має зчеплення з бетоном. Фізичне руйнування в балці повинно відбутися при поперечній силі $> 91,49$ кН.

Результати досліджень експериментальних даних балок наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати досліджень експериментальних сталобетонних балок із стрічковою арматурою без зчеплення

Позначення балок	Значення поперечної сили, що відповідають утворенню нормальних тріщин			Значення поперечної сили, що відповідають утворенню похилих тріщин			Несуча здатність (текучість в поперечних стержнях, граничне розкриття похилої тріщини)			Дослідне значення Q_{d2} при фізичному руйнуванні, кН	Прогин при $Q=0,95 Q_{d3} f_{max}$, мм
	Дослідне Q_{d1} , кН	За СНиП 2.03.01-84* Q_{n1} , кН	$(Q_{n1}-Q_{d1})/Q_{d1}$, %	Дослідне Q_{d2} , кН	За СНиП 2.03.01-84* Q_{n2} , кН	$(Q_{n2}-Q_{d2})/Q_{d2}$, %	$\varepsilon_{sw} \geq 96 \times 10^{-5} Q_{d3}$, кН	За СНиП 2.03.01-84* Q_{n3} , кН	$(Q_{n3}-Q_{d3})/Q_{d3}$, %		
Б-I-1	23,38	16,21	-30,67	47,68	50,32	5,54	85	88,52	4,14	93	5,35
Б-I-2	17,8	16,56	-6,97	57,13	52,61	-7,91	98	92,48	-5,63	102	10,2
Б-I-3	17,14	19,05	11,14	-	-	-	-	98,47	-	-	-
Б-I-4	17,02	18,54	8,93	-	-	-	116	87,52	-24,55	116	8,55

Висновки. Розрахунок показав, що застосування у сталобетонних балках високоміцної арматури без попереднього напруження дає змогу досягти економії, а також підвищення несучої здатності елементів.

Несуча здатність і тріщиностійкість похилих перерізів зростають зі збільшенням відсотка зовнішньої стрічкової арматури без зчеплення з бетоном у сталобетонних балках зі змішаним армуванням.

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

Міцність похилих перерізів сталобетонних балок без зчеплення стрічкової арматури з бетоном у разі збільшення плеча зрізу зменшується, а ширина розкриття похилих тріщин збільшується. Похилі тріщини у сталобетонних балках із змішаним армуванням, у яких стрічкової арматури без зчеплення з бетоном більше ніж 30 %, з'являються на висоті $2/3 \div 1/2h$ і поширюються при подальшому завантаженні у напрямку опори і зосередженої сили.

У сталобетонних балках, де вся стрічкова арматура не має зчеплення з бетоном, утворення похилих тріщин взагалі не спостерігалось (балки Б-I-4). Руйнування таких балок відбувається внаслідок текучості зовнішньої стрічкової арматури або роздавлювання смуги бетону від опори

балки до зосередженої сили (балка Б-І-4). Деформації в поздовжній арматурі в балці Б-І-4 були близькими до деформацій, що відповідають межі текучості.

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

Сучасні нормативні документи задовільно оцінюють експериментальні результати прогинів сталобетонних балок без зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном і недооцінюють міцності похилих перерізів балок без зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном.

1. Барабаш В.М., Клименко Ф.Э. Разработка, дослідження та застосування нового виду стрічкової арматури періодичного профілю в сталобетонних конструкціях // Проблеми теорії і практики залізобетону. – Полтава, 1997. – С. 37–41. 2. Клименко Ф.Е. Обычное и напрягаемое внешнее полосовое армирование сталобетонных балочных элементов и опытное их применение: Дис. ...д-ра техн. наук. – М., 1979. – 500 с. 3. Байков В.Н. Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1991. – 767. 4. Барашиков А.Я., Климов Ю.А., Алебердиев Р.Д. Прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных элементов при повторных нагружениях поперечными силами. Работа бетона и железобетона с различными видами армирования на выносливость при многократно повторяющихся нагрузках // Тез. докл. Координационного совещания. – Львов, 1987. – 8 с. 5. Боднарчук Т.Б. Експериментальне дослідження несучої здатності похилих перерізів сталобетонних балок без поперечної арматури // Наук.-техн. конф. – Полтава, 1997. 6. 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.