

Т.В. Бобало, З.Я. Бліхарський, В.М. Барабаш
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ОСОБЛИВОСТІ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ АРМАТУРИ КЛАСУ АТ-800 ТА СТІЧКОВОЇ У СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛКАХ ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

© Бобало Т.В., Бліхарський З.Я., Барабаш В.М., 2010

Метою дослідження є вивчення особливостей роботи та характеру руйнування сталобетонних балок із зовнішнім гладким стрічковим армуванням, що має зчеплення з бетоном, у поєднанні з арматурою класу Ат-800. Поєднання конструктивного рішення сталобетонних балок, в якому передбачається здешевлення їх виготовлення, є актуальним з погляду доцільності дослідження міцності, деформативності та практичного застосування в будівництві.

Ключові слова: сталобетон, балки, арматура, зовнішнє армування.

The purpose of work are studying features of work and character of destruction of beams of steel concretes with external smooth band re-enforcement, with tripping with a concrete, in combination with the armature of class of Ат-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.

Keywords: steel concretes, beams, armature, external re-enforcement.

Вступ. Сьогодні першочергового значення набуває завдання зменшення матеріалоємності не лише будівель і споруд загалом, але й окремих конструкцій, які можуть бути використані під час ведення робіт.

Головною перевагою сталобетонних конструкцій є те, що їх стрічкова арматура розміщується на зовнішніх гранях перерізу без захисного шару бетону, що дає змогу краще використати властивості матеріалів. Тим самим досягається зростання несучої здатності конструкції та її жорсткості або відкривається можливість для створення економічно ефективних конструкцій зменшеної висоти порівняно з наявними залізобетонними.

Поєднання конструктивного рішення сталобетонних балок з використанням стержневої високоміцної арматури передбачає зменшення металомісткості і є актуальним з погляду доцільності дослідження міцності, деформативності та практичного застосування таких конструкцій в будівництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, виконані раніше, показали, що у балках з більшим відсотком зовнішньої стрічкової арматури досягається зростання несучої здатності конструкції та її жорсткості за незмінних розмірів поперечного перерізу. Проте поєднання роботи зовнішньої стрічкової арматури із сталі Ст-3 з внутрішньою стержневою з міцнішої сталі на зразок Ат-800 також варте уваги.

Застосування високоміцної стержневої арматури класу Ат-800 в поєднанні з стрічковою сталлю Ст-3, що має зчеплення з бетоном, дасть нам змогу досягти підвищення міцності та збільшення економічних показників.

Мета та завдання досліджень. За допомогою математичної моделі оцінити вплив поєднання зовнішньої гладкої стрічкової арматури (сталі Ст-3), що має зчеплення з бетоном і стержневої арматури класу Ат-800 як з попереднім напруженням так і без, на міцність сталобетонних балок в

зоні чистого згину; обґрунтувати особливості роботи та характер руйнування сталобетонних балок із зовнішнім гладким стрічковим армуванням, що має зчеплення з бетоном, в поєднанні із стержневою арматурою класу Ат-800, за різного співвідношення площ армування.

Експериментально-теоретичні дослідження. Числовий експеримент виконано за допомогою програмного комплексу "Ліра" методом скінченних елементів. У математичну модель були закладені реальні характеристики сталей і бетону, а саме графіки текучості, що були отримані при випробовуванні дослідних зразків на розривних машинах. Розрахунок провадився з урахуванням фізичної нелінійності, ставилось завдання максимально наблизитись до реальних умов натурального випробування з використанням реальних діаграм σ - ϵ . Для виконання числового експерименту були розроблені дослідні зразки у вигляді сталобетонних балок, що мають зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном перерізом 120x240 мм, довжиною 2600 мм.

Сталобетонні балки закладались в розрахунок з важкого бетону марки В45. Балки першої та другої серій мали однакове армування, відмінність була лише у попередньому напруженні, стержнева арматура класу Ат-800, стрічкова – сталь Ст-3. Балки першої серії були без попереднього напруження, а у балках другої серії стержнева арматура була напружена до 7000 МПа, враховуючи що $\sigma_r (R_{yn}) = 11640$ МПа. У всіх дослідних зразках цієї серії стиснута зона армувалась двома стержнями $\varnothing 8$ класу А-400С. Конструкція арматурних каркасів подана на рис. 1.

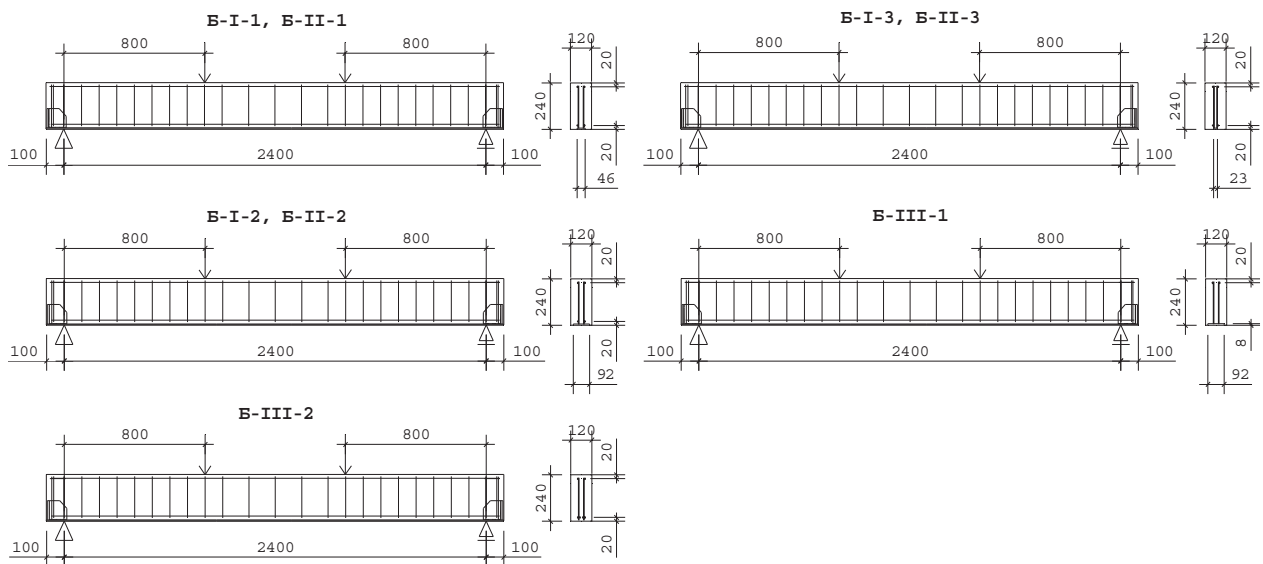


Рис. 1. Конструкція дослідних зразків

Перша та друга серії налічували по три балки. Для всіх балок поперечна арматура прийнята зі стержнів $\varnothing 8$ класу А-400С, встановлених з кроком 100 мм у зоні дії поперечних сил. Робочою поздовжньою арматурою розтягнутої зони слугувала гладка стрічкова арматура сталі Ст-3 завтовшки $t = 8$ мм, що має зчеплення з бетоном, і арматура періодичного профілю $\varnothing 8$ мм класу Ат-800. У межах цих серій балки відрізнялись різним співвідношенням стрічкової і стержневої арматури.

У сталобетонній балці Б-І-1 та Б-ІІ-1 стрічкова арматура площею $A_s=3,68$ см², що становило за площею 79 % і стержнева $2\varnothing 8$ Ат-800 площею $A_s=1,0048$ см², що становило 21 %.

У сталобетонній балці Б-І-2 та Б-ІІ-2 стрічкова арматура площею $A_s=7,36$ см², що становило за площею 88 % і стержнева $2\varnothing 8$ Ат-800 площею $A_s=1,0048$ см², що становило 12 %.

У сталобетонній балці Б-І-3 та Б-ІІ-3 стрічкова арматура площею $A_s=1,84$ см², що становило за площею 65 % і стержнева $2\varnothing 8$ Ат-800 площею $A_s=1,0048$ см², що становило 35 %.

У сталобетонній балці Б-ІІІ-1 стрічкова арматура площею $A_s=7,36$ см², стержнева відсутня. А у балці Б-ІІІ-2, навпаки, стрічкова арматура відсутня, а стержневої $A_s=2,01$ см².

Фізико-механічна характеристика матеріалів дослідних балок

Позначення балок	Характеристика арматури												Характеристика бетону			
	$\frac{A_s^н}{A_s^{ст}}$	Площа перерізу, см ²				Межа текучості, R _н МПа				Модуль пружності, E _s *10 ⁻⁵ МПа				Міцність, МПа		Початковий модуль пружності, 10 ⁻⁴ МПа
		Розтягнутої		Стисненої A _s '	Поперечної	Розтягнутої		Стисненої	Поперечної	Розтягнутої		Стисненої	Поперечної	На стиск, R _b	На розтяг, R _{bt}	
		Стрічкової A _s ^н	Стержневої A _s ^{ст}			Стрічкової	Стержневої			Стрічкової	Стержневої					
Б-I-1	$\frac{79}{21}$ %	A _s ^н =3,68	2Ø8Aт800 A _s ^{ст} =1,005	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	317,8	1164,0	594,5	594,5	1,98	2,03	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47
Б-I-2	$\frac{88}{12}$ %	A _s ^н =7,36	2Ø8Aт800 A _s ^{ст} =1,005	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	317,8	1164,0	594,5	594,5	1,98	2,03	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47
Б-I-3	$\frac{65}{35}$ %	A _s ^н =1,84	2Ø8Aт800 A _s ^{ст} =1,005	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	317,8	1164,0	594,5	594,5	1,98	2,03	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47
Б-II-1	$\frac{79}{21}$ %	A _s ^н =3,68	2Ø8Aт800 A _s ^{ст} =1,005	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	317,8	1164,0	594,5	594,5	1,98	2,03	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47
Б-II-2	$\frac{88}{12}$ %	A _s ^н =7,36	2Ø8Aт800 A _s ^{ст} =1,005	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	317,8	1164,0	594,5	594,5	1,98	2,03	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47
Б-II-3	$\frac{65}{35}$ %	A _s ^н =1,84	2Ø8Aт800 A _s ^{ст} =1,005	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	317,8	1164,0	594,5	594,5	1,98	2,03	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47
Б-III-1	$\frac{100}{0}$ %	A _s ^н =7,36	2Ø8Aт800 A _s ^{ст} =0	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	317,8	-	594,5	594,5	1,98	-	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47
Б-III-2	$\frac{0}{100}$ %	A _s ^н =0	4Ø8Aт800 A _s ^{ст} =2,010	2Ø8A400A _s ' =1,01	A240-0,283	-	1164,0	594,5	594,5	-	2,03	2,0	2,0	32,6	2,24	3,47

Завантаження експериментальних балок здійснювалось ступенями по 10 % від руйнівного відповідно до розрахунку за СНиП. Мінімальне число ітерації 300, кількість кроків 50 на кожне завантаження. Розроблена у такий спосіб математична модель дає змогу досить точно прогнозувати хід випробувань, що було перевірено на результатах попередніх дослідів [1, 9]. Різниця між експериментальними даними та даними числового експерименту коливалась у межах 3–12,5 %.

Графіки напружень в розтягнутій арматурі експериментальних балок подано на рис. 2.

Дані, отримані в результаті числового експерименту, дають змогу спостерігати особливості руйнування дослідних зразків, а саме: появу тріщин як в розтягнутій, так і в стиснутій зонах; момент появи текучості та оцінити напруження як у стержневій, так і в стрічковій арматурі; слідкувати за прогинами в ході завантаження експериментальних балок.

Результати досліджень подані в табл. 2.

Таблиця 2

Результати досліджень експериментальних сталобетонних балок зі стрічковою арматурою, що має зчеплення з бетоном

Позначення балок	Значення згинального моменту, що відповідають утворенню нормальних тріщин			Несуча здатність (текучість, руйнування стиснутої зони бетону)			Прогин при M=0,95M _{дз} f _{max} , мм
	Дослідне M _{дл} , кНм	За СНиП 2.03.01-84* M _{дл} , кНм	(M _{дл} -M _{дл})/M _{дл} , %	За СНиП 2.03.01-84* M _{дз} , кНм	Дослідне значення M _{дз} при фізичному руйнуванні, кНм	(M _{дз} -M _{дз})/M _{дз} , %	
Б-I-1	7,39	6,27	17,85	48,18	62,64	-23,08	23,5
Б-I-2	7,76	6,51	19,20	73,45	80,79	-9,08	21,1
Б-I-3	6,71	5,96	12,58	35,55	53,41	-33,44	23,1
Б-II-1	19,28	17,27	11,63	48,18	57,82	-16,67	12,6
Б-II-2	22,03	19,32	14,03	73,45	80,80	-9,09	13,8
Б-II-3	17,78	16,38	8,54	35,55	49,78	-28,59	12,4
Б-III-1	7,21	5,99	20,37	49,70	54,66	-9,07	8,81
Б-III-2	4,64	5,69	-18,45	45,02	54,02	-16,67	24,78

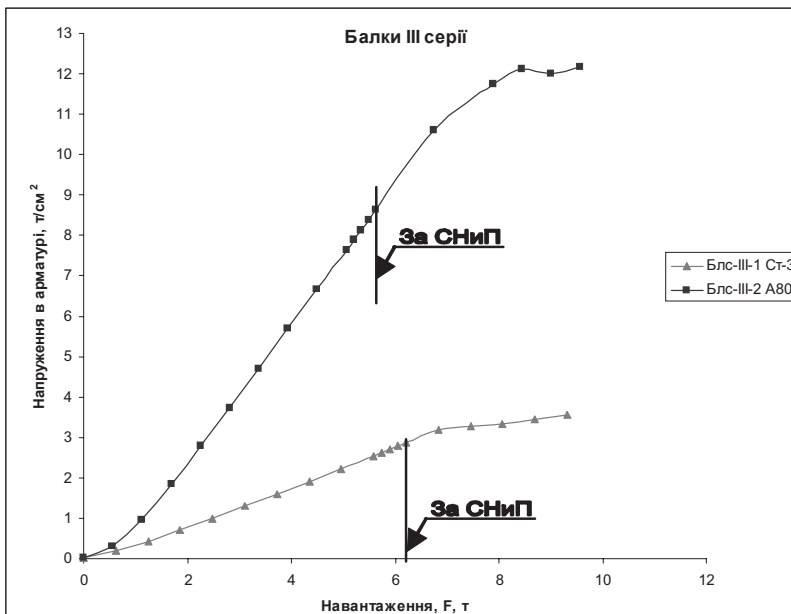
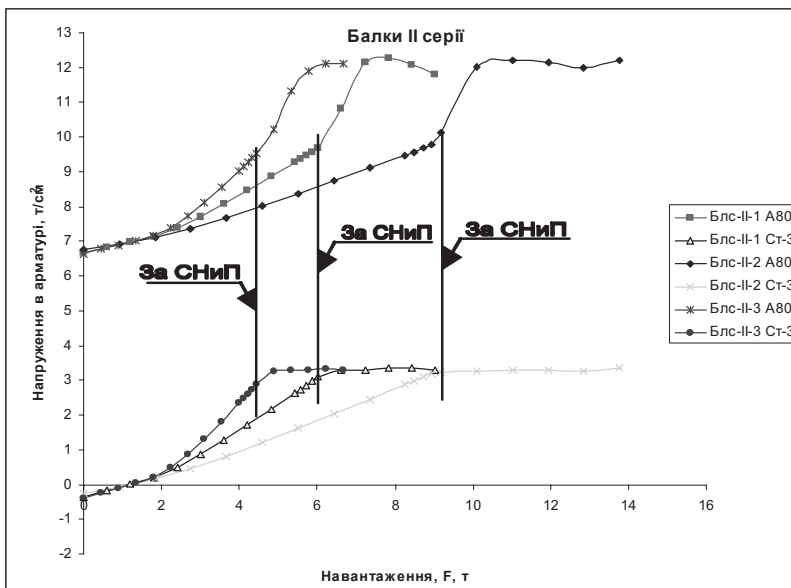
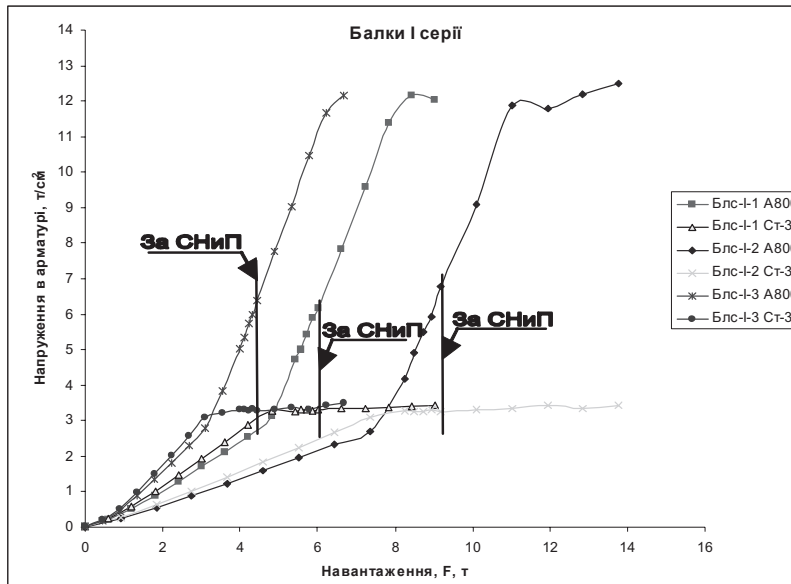


Рис. 2. Графіки напружень у розтягнутій арматурі

За момент руйнування приймався початок текучості стержневої арматури класу Ат-800 або руйнування бетону в крайньому верхньому елементі стиснутої зони балки. Текучість стрічкової арматури за момент руйнування не бралась, оскільки метою досліду було дослідити роботу балок після текучості листа з повним використанням міцнісних характеристик арматури класу Ат-800.

Руйнування практично усіх дослідних балок відбувалося внаслідок текучості арматури класу Ат-800 з подальшим розколюванням бетону при збільшенні навантаження, винятком є тільки Бл-Ш-1, в якій відсутня стержнева високоміцна арматура, вона зруйнувалась внаслідок текучості листа, а також попередньо напружені балки серії II, у якій текучість високоміцної арматури класу Ат-800 наставала одночасно з початком руйнування стиснутої зони бетону.

Висновки. Із збільшенням відсотка армування сталобетонних балок високоміцною арматурою класу Ат-800 запас за міцністю балок зростає, хоча прогини збільшуються також. Стрічкова арматура зі сталі Ст-3 доходить до межі текучості вже при 50–70 % від руйнівного моменту, а в попередньо напружених балках при 80–90 %. При попередньому напруженні балок вдається уникнути надмірних прогинів, забезпечивши сумісну роботу стрічкової арматури та високоміцної стержневої аж до руйнування балок.

Зі збільшенням відсотка зовнішньої стрічкової арматури в балках зі змішаним армуванням момент появи нормальних тріщин дещо зменшується. Так, у балках з повністю стрічковою арматурою без зчеплення з бетоном момент тріщиноутворення збільшується на 20 % порівняно з звичайними залізобетонними балками.

Збільшення прогинів під навантаженням у сталобетонних балках з більшим відсотком армування високоміцною стержневою арматурою є наслідком рівномірних і сумарно більших деформацій стержневої високоміцної арматури класу Ат-800 до моменту появи текучості, на відміну від листової.

Сучасні нормативні документи задовільно оцінюють несучу здатність сталобетонних балок, армованих пакетом арматур різного класу.

1. Блхарський З.Я. Прочность и деформативность предварительно напряженных сталобетонных балок, потери и сцепление нового вида полосовой арматуры. Дис. канд. техн. наук. – Львов, 1989. – 212 с. 2. Розробка, дослідження та застосування у будівництві сталобетонних конструкцій. – Львів, друк ПП “Арал” 2001. – 80 с. 3. 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. 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 з стрічковою, що працює без зчеплення з бетоном // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. 9. Клименко Ф.Є., Ільницький Б.М., Бобало Т.В. Міцність та деформативність сталобетонних балок, армованих арматурою класу А-400, Ат-800 в поєднанні з стрічковою, що працює без зчеплення з бетоном // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2008.