

УДК 624.012:620.193

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ І ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ

Т. Бобало, аспірант, З. Бліхарський, д.т.н., В. Барабаш, к.т.н.

Національний університет "Львівська політехніка"

Р. Шмиг, к.т.н.

Львівський національний аграрний університет

Ключові слова: сталобетонні балки, залізобетонні конструкції, змішане армування, зовнішнє армування, напружено-деформований стан.

Вивчено особливості роботи та характер руйнування сталобетонних балок армованих стрічковою арматурою зі сталі Ст-3 та стрижневою арматурою класу Ат-800, змішане армування. Проведено порівняння результатів натурального випробовування сталобетонних балок, із результатами розрахунку на ЕОМ за допомогою програмного комплексу "Ліра".

Постановка проблеми. Поєднання конструктивного рішення сталобетонних балок із використанням листової зовнішньої арматури і стрижневої високоміцної арматури передбачає зменшення металомісткості і є актуальним з погляду доцільності дослідження міцності, деформативності та практичного застосування таких конструкцій у будівництві.

Перевагою сталобетонних конструкцій є те, що їх стрічкова арматура розміщується на зовнішніх гранях перерізу без захисного шару бетону, що дозволяє 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 існуючими залізобетонними. Додаткове встановлення високоміцної стрижневої арматури сприяє подальшому зменшенню металомісткості.

Використання комп'ютерних програм для вивчення залізобетонних конструкцій значно спрощує роботу, економить час і затрати на матеріали під час експериментів. Це дає змогу поетапно спостерігати за роботою конструкцій за заданих навантажень, отримувати напруження в арматурі та бетоні, стежити за прогинами. Недослідженим є питання, наскільки точні результати можна отримати за допомогою комп'ютерних програм з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів для розрахунку залізобетонних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, проведені

раніше, показали, що у балках із зовнішньою стрічковою арматурою досягається зростання несучої здатності, жорсткості за незмінних розмірів поперечного перерізу порівняно з традиційним залізобетонним.

Дослідження з використанням у сталобетонних балках високоміцної стрижневої ненапруженої арматури класу Ат-800 в поєднанні зі стрічковою сталлю Ст-3 ще не проводили.

Постановка завдання. Експеримент передбачав:

- оцінити міцність сталобетонних балок у зоні чистого згину за поєднання зовнішньої гладкої стрічкової арматури (сталь Ст-3), що об'єднана з бетоном анкерами, і стрижневої арматури класу Ат-800 без попереднього напруження;

- обґрунтувати особливості роботи та характер руйнування цих сталобетонних балок за різного співвідношення площ армування;

- встановити деформівні характеристики балок;

- маючи реальні діаграми деформування листової арматури класу Ст-3, стрижневої класу Ат-800, а також бетону, поетапно змодельовати роботу сталобетонної балки в ПК "Ліра", отримати розрахункові значення міцності, прогинів, а також напружень у бетоні та арматурах на кожному ступені завантаження. Порівняти результати розрахунку з результатами натурального експерименту.

Виклад основного матеріалу. Для проведення натурального експерименту було виготовлено дослідні зразки у вигляді сталобетонних балок, що мають зчеплення зовнішньої стрічкової арматури з бетоном за рахунок *U*-подібних анкерів, приварених до листа. Переріз балок 120 x 240 мм, розрахунковий прогін 2400 мм. Зразки мали однакове армування та однакову міцність бетону. Після випробовування бетонних кубиків розміром 150x150 мм та призм 100x100x400 мм було встановлено, що міцність бетону відповідала класу В50. Бетон виготовлено з використанням миколаївського портландцементу активністю М500 та суперпластифікатора НК-1(ВМ) для полегшення укладання суміші. Заповнювачі: щебінь гранітний фракції 5-20 мм, пісок із модулем зернистості 2,2, усі заповнювачі чисті, без домішок. Витрата матеріалів на 1 м³ бетонної суміші: цемент – 445,8 кг; пісок – 581,6 кг; щебінь – 1194,7 кг; вода – 190 л, суперпластифікатор НК-1(ВМ) – 2,47 кг (2,12 л). Ущільнення бетонної суміші – вібраційне.

Числовий експеримент проводили за допомогою програмного комплексу "Ліра". У математичну модель були закладені реальні характеристики сталей і бетону, а саме – графіки деформування, отримані експериментально під час випробовування дослідних зразків. Розрахунок проводили з урахуванням фізичної нелінійності. Щоб максимально

наблизитися до реальних умов натурального випробування, використані діаграми σ - ε , описані в ПК "Ліра" "кусочно-лінійним законом деформування" № 14, в якому можливо задати діаграми деформування матеріалів за координатами.

Перша серія – це дві балки натурального експерименту, також промодельовані і в ПК "Ліра". І хоча для їх виготовлення застосовано стрижневу арматуру класу Ат-800 з однієї партії, однак, як виявилось пізніше, за однакової міцності цих арматур діаграми деформацій дещо різнилися. Поперечна арматура прийнята зі стрижнів $\varnothing 5$ класу А-240, встановлених з кроком 70 мм у зоні дії поперечних сил і 120 мм у зоні чистого моменту. Робочою поздовжньою арматурою розтягнутої зони слугувала гладка стрічкова арматура сталі Ст-3 товщиною $t = 4,3$ мм. $A_s = 4,73$ см², що мала зчеплення з бетоном і арматура періодичного профілю 1 шт. $\varnothing 12$ мм класу Ат-800, $A_s = 1,13$ см². Верхня конструктивна арматура $2\varnothing 8$ класу А-400С.

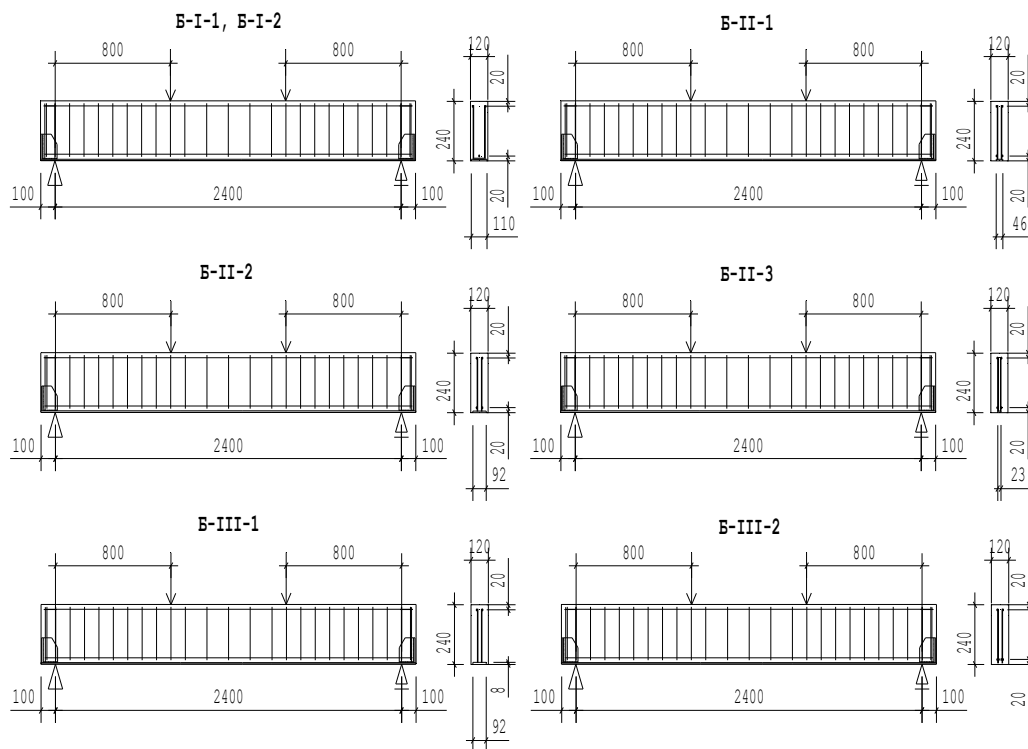
Конструкцію арматурних каркасів подано на рис. 1.

Друга та третя серії балок заплановані для числового експерименту. Розміри перерізу балок та прогони ті самі, що й для серії І.

У сталобетонних балках Б-ІІ-1, Б-ІІ-2, Б-ІІ-3 передбачені і стрічкова арматура зі сталі Ст-3, і стрижнева арматура класу Ат-800 з різним співвідношенням площ. Сталобетонна балка Б-ІІІ-1 була армована лише листовою арматурою зі сталі Ст-3, а балка Б-ІІІ-2 – лише стрижневою високоміцною класу Ат-800.

Завантаження балок як у натурному випробуванні, так і в числовому експерименті проводили ступенями по 10% від руйнівного, обчисленого за СНиП. Мінімальне число ітерації для числового розрахунку – 300, кількість кроків – 30 на кожне завантаження.

Графіки напружень у розтягнутій арматурі експериментальних балок подано на рис. 2 та 3, де F_{\max} – несуча здатність балки за рекомендаціями СНиП 2.03.01-84*.



Б-I-1, Б-I-2 – експериментальні зразки;
 Б-II-1, Б-II-2, Б-II-3, Б-III-1, Б-III-2 – зразки для теоретичного моделювання
 Рис. 1. Конструкція арматурних каркасів і місця прикладання сил дослідних зразків.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики матеріалів дослідних балок

Позначення балок	Характеристика арматури												Характеристика бетону			
	$\frac{R_s A_s^a}{R_s A_s^c}$	Площа перерізу, см ²				Межа плинності, R ₀ МПа				Модуль пружності, E _s *10 ⁵ МПа				Міцність, МПа		Модуль пружності, 10 ⁻⁴ МПаочатковий модуль
		розтягнутої		A _s стисненої	поперечної	розтягнутої		стисненої	поперечної	розтягнутої		стисненої	поперечної	на стиск, R _b	на розтяг, R _{bt}	
		A _s ^а стрічкової	A _s ^с стрижневої			стрічкової	стрижневої			стрічкової	стрижневої					
Б-I-1	$\frac{1,33}{1}$	A _s ^а =4,73	1Ø12Ат80 0 A _s ^с =1,130	2Ø8А40 0A _s '=1,01	A24 0- 0,39 3	287, 6	1077 ,0	594, 5	291, 3	1,94	2,0 5	2, 0	2, 0	36, 7	2,35	
Б-I-2	$\frac{1,12}{1}$	A _s ^а =4,73	1Ø12Ат80 0 A _s ^с =1,130	2Ø8А40 0A _s '=1,01	A24 0-0, 393	287, 6	903, 8	594, 5	291, 3	1,94	2,0 2	2, 0	2, 0	36, 7	2,35	3,58
Б-II-1	$\frac{1}{1}$	A _s ^а =3,68	2Ø8Ат800 A _s ^с =1,005	2Ø8А40 0A _s '=1,01	A24 0- 0,28 3	317, 8	1164 ,0	594, 5	291, 3	1,98	2,0 3	2, 0	2, 0	32, 6	2,24	3,47

Б-II-2	$\frac{2}{1}$	$A_s^n = 7,36$	2Ø8АТ800 $A_s^{ct}=1,005$	2Ø8А40 $0A_s'=1,01$	A24 0- 0,28 3	317, 8	1164 ,0	594, 5	291, 3	1,98	2,0 3	2, 0	2, 0	32, 6	2,24	3,47
Б-II-3	$\frac{1}{2}$	$A_s^n = 1,84$	2Ø8АТ800 $A_s^{ct}=1,005$	2Ø8А40 $0A_s'=1,01$	A24 0- 0,28 3	317, 8	1164 ,0	594, 5	291, 3	1,98	2,0 3	2, 0	2, 0	32, 6	2,24	3,47
Б-III-1	$\frac{1}{0}$	$A_s^n = 7,36$	2Ø8АТ800 $A_s^{ct}=0$	2Ø8А40 $0A_s'=1,01$	A24 0- 0,28 3	317, 8	-	594, 5	291, 3	1,98	-	2, 0	2, 0	32, 6	2,24	3,47
Б-III-2	$\frac{0}{1}$	$A_s^n = 0$	4Ø8АТ800 $A_s^{ct}=2,010$	2Ø8А40 $0A_s'=1,01$	A24 0- 0,28 3	-	1164 ,0	594, 5	291, 3	-	2,0 3	2, 0	2, 0	32, 6	2,24	3,47

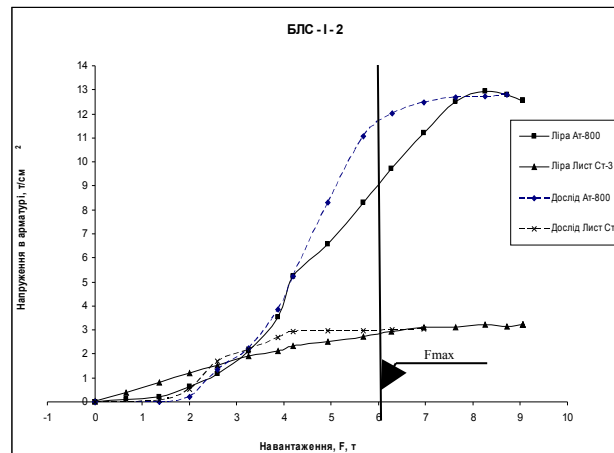
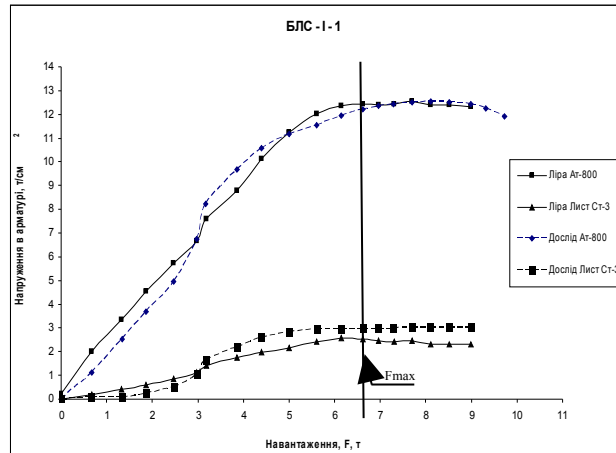


Рис. 2. Графіки напружень у розтягнутій арматурі залежно від рівня навантажень, результати випробувань і теоретичного моделювання.

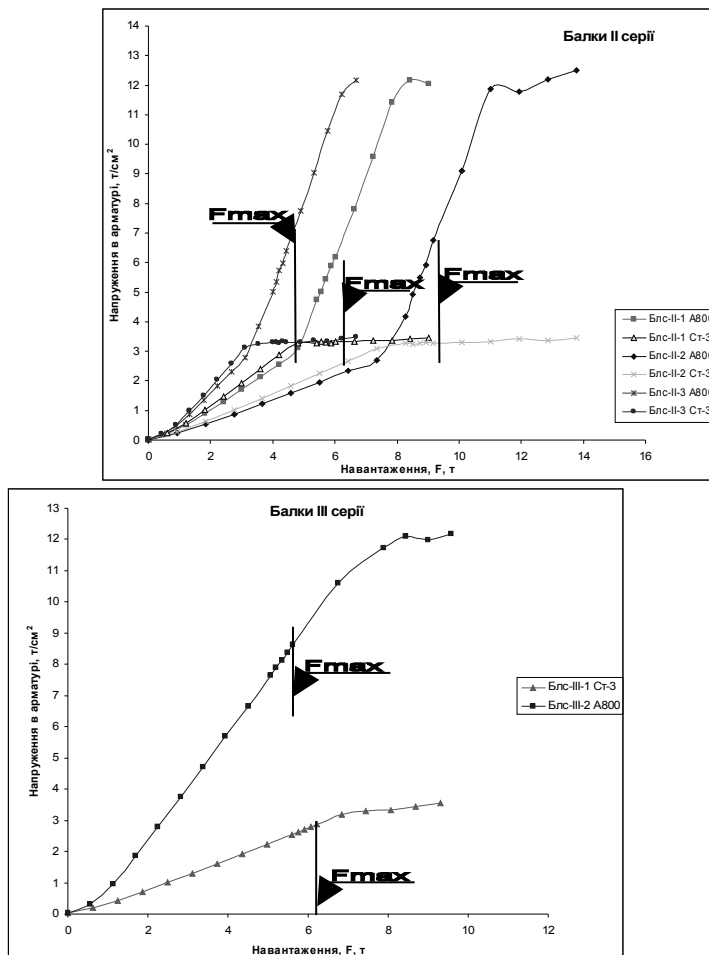


Рис. 3. Графіки напружень у розтягнутій арматурі залежно від рівня навантажень, результати теоретичного дослідження.

Як видно з графіків, для балки БЛС–І–1 результати натурального випробування досить точно збіглися з результатами числового експерименту. Максимальні розбіжності до 18% спостерігаються у графіках напружень для балки БЛС–І–2, що, очевидно, пов'язано з відмінністю у діаграмах деформування стрижневої арматури (див. вище). Порівнюючи теоретичні та експериментальні прогини цих балок, слід зауважити, що в межах експлуатаційних навантажень, прийнятих за $0,7F_{\max}$, маємо досить близьку подібність експериментальних результатів з розрахунком за ПК "Ліра". Максимальне розходження не перевищує 12%. Значні розходження спостерігаються, лише якщо значення навантажень близькі до руйнівного.

Графіки прогинів залежно від навантаження наведено на рис. 4.

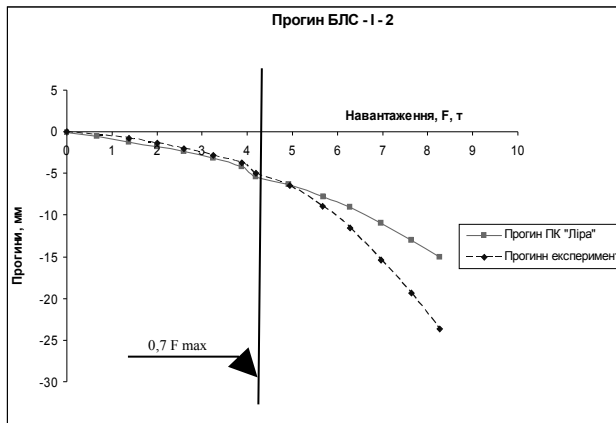
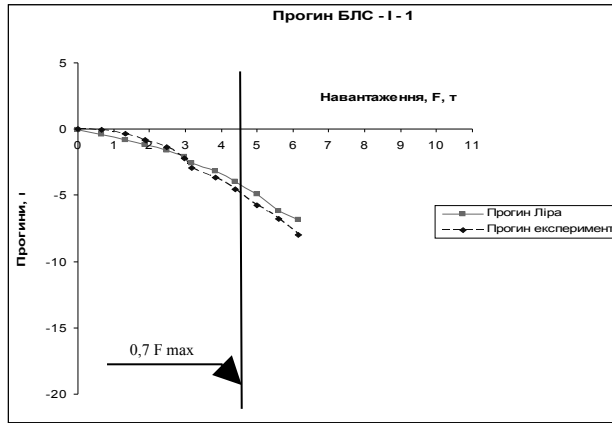


Рис. 4. Графіки прогинів залежно від рівня навантажень, результати експериментального та теоретичного досліджень.

На момент появи тріщин у розтягнутій зоні можна спостерігати різкіше зростання напружень в арматурі, появу тріщин у балці Блс-І-1 було зафіксовано за навантаження 29,6кН, а в балці Блс-І-2 – за навантаження 38,7кН, причому цей стрибок напружень видно не тільки на графіках натурального експерименту, а й на графіку, отриманому в ПК "Ліра" (див. рис. 2).

Несучу здатність балок оцінювали за початком плинності стрижневої арматури класу Ат-800, а фізичне руйнування – за розчавлюванням бетону в крайньому верхньому волокні стиснутої зони балки. При цьому плинність стрічкової арматури наставала раніше, ніж стрижневої (див. графіки рис. 2).

Характер руйнування експериментальних балок показано на рис. 5.

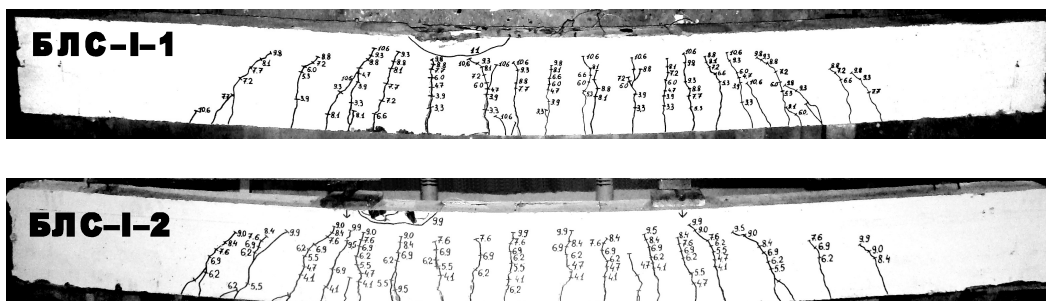


Рис. 5. Характер руйнування балок БЛС-I-1 та БЛС-I-2.

Фізичне руйнування практично всіх дослідних балок відбувалося внаслідок плинності арматури класу Ат-800 з подальшим розчавлюванням бетону стисненої зони. Винятком є тільки зразок Бл-III-1, в якому відсутня стрижнева високоміцна арматура. Він зруйнувався внаслідок плинності листа. Результати досліджень подано в табл. 2.

Таблиця 2

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

Позначення балок	Несуча здатність (плинність, руйнування стиснутої зони бетону)					Прогин при $F=0,7F_{д1}$ f_{max} , мм
	Дослідне значення іжневої $F_{д1}$ за умови ри σ_{02} , кН/м плинності	$4 \cdot F_{н}$, кН/м За СНиП	$(F_{д1} - F_{н})/F_{д1}$, %	Дослідне значення $F_{д1}$ за фізичного руйнування, кН/м	$(F_{д2} - F_{н})/F_{д2}$, %	
Б-I-1	75,9	64,75	14,6	109,60	40,9	7,98
Б-I-2	63,7	60,58	4,9	98,40	38,43	11,56
Б-II-1	77,0	60,22	21,7	78,30	23,08	6,37
Б-II-2	108,0	91,81	15,0	109,90	16,46	7,19
Б-II-3	62,0	44,43	28,3	66,76	33,44	6,18
Б-III-1	-	62,13	-	68,33	9,07	4,96
Б-III-2	77,2	56,28	27,1	67,53	16,67	12,28

Висновки

1. За наявності високоміцної стрижневої арматури несуча здатність

балок та їх фізичне руйнування настає не під час плинності листової арматури, а в разі значних пластичних деформацій високоміцної стрижневої арматури, що дозволяє обчислювати несучу здатність балок з умовною межею плинності саме високоміцної арматури і повністю використати її міцнісні характеристики.

2. Дані, отримані в результаті числового експерименту, дозволяють оцінити особливості руйнування дослідних зразків, а саме: їх міцність, появу тріщин; напруження як у стрижневій, так і в стрічковій арматурі; стежити за прогинами під час завантаження експериментальних балок.

3. Із збільшенням відсотка армування сталобетонних балок високоміцною арматурою класу Ат-800 зростає міцність балок.

4. Збільшення прогинів під навантаженням у сталобетонних балках із більшим відсотком армування високоміцною стрижневою арматурою є наслідком рівномірних і сумарно більших деформацій стрижневої високоміцної арматури класу Ат-800 до моменту появи плинності, на відміну від сталі класу Ст-3.

5. Сучасні нормативні документи недооцінюють несучу здатність сталобетонних балок, армованих пакетом арматур різного класу.

Бібліографічний список

1. Блихарский З. Я. Прочность и деформативность предварительно напряженных сталобетонных балок, потери и сцепление нового вида полосовой арматуры : дис. ... канд. техн. наук / З. Я. Блихарский. – Львов, 1989. – 212 с.

2. Розробка, дослідження та застосування у будівництві сталобетонних конструкцій. – Львів : Арал, 2001. – 80 с.

3. Барабаш В. М. Розробка, дослідження та застосування нового виду стрічкової арматури періодичного профілю в сталобетонних конструкціях / В. М. Барабаш, Ф. Є. Клименко // Проблеми теорії і практики залізобетону. – Полтава, 1997. – С. 37-41.

4. Боднарчук Т. Б. Методика виготовлення та дослідження тришарових сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням / Т. Б. Боднарчук, Р. А. Шмиг // Проблеми теорії і практики будівництва. – Львів, 1997. – Том II. – С. 34-37.

Бобало Т., Блихарський З., Барабаш В., Шмыг Р. Экспериментальное и теоретическое исследование сталобетонных балок со смешанным армированием

Статья посвящена изучению особенностей работы и характера разрушения сталобетонных балок, армированных ленточной арматурой из стали Ст-3 и стержневой арматурой класса Ат-800, смешанное армирование. Проведено сравнение результатов натурального испытания сталобетонных балок с результатами расчета на ЭВМ с помощью программного комплекса "Лира".

Ключевые слова: сталобетонные балки, железобетонные

конструкции, смешанное армирование, внешнее армирование, напряженно деформированное состояние.

Bobalo T., Blikharskyi Z., Barabash V., Shmyh R. Experimental and theoretical research of beam of steel concrete is with the mixed re-enforcement

The article is devoted the study of features of work and character of destruction of beams of steel concrete of reinforced a band armature from steel of St-3 and cored armature of class of propulsion At-800, mixed re-enforcement. Comparing of results of model test of beams of steel concrete is conducted to the results of calculation on COMPUTER by a programmatic complex "Lyre".

Key words: beams of steel concrete, reinforce-concrete constructions, mixed re-enforcement, external re-enforcement, tensely deformed the state.