

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК АРМОВАНИХ СТРІЧКОВОЮ АРМАТУРОЮ КЛАСУ С275 ТА СТЕРЖНЕВОЮ КЛАСУ А1000

Подано порівняння результатів проведеного випробовування сталебетонних балок із комбінованим армуванням з результатами розрахунку за нормативним документом ДБН В.2.6:2009 за методикою КНУБА, та наведено порівняння результатів розрахунку з використанням характеристичних та розрахункових характеристик матеріалів.

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

Вступ. Використання у практиці будівництва сталебетонних балок та інших комбінованих систем замість залізобетонних, дозволяє більш ефективно використати міцнісні характеристики матеріалів та збільшити прогони, що перекриваються. Концентроване розташування стрічкової арматури на зовнішніх гранях перетину конструкцій дозволяє знизити їхню масу, зменшити розміри перетину в порівнянні із залізобетонними або одержати економію сталі при однаковій висоті. Підвищення надійності окремих конструкцій, а також будівель і споруд в цілому є актуальним завданням на сьогоднішній день. Зростання міцності, зменшення маси, зниження вартості і витрати матеріалів в залізобетонних конструкціях можливі завдяки використанню високоміцних бетонів, сталей, а також при застосуванні зовнішнього армування.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Перевагою високоміцних сталей є їх міцність, це дозволяє зменшити кількість металу який використовується при будівництві, не втративши на надійності конструкції. Проте окрім міцності є й інша важлива характеристика такої сталі – це деформативність [1]. З метою вичерпання деформацій високоміцну арматуру прийнято використовувати як правило у попередньо напружених залізобетонних конструкціях, та попереднє напруження робочих стержнів призводить до додаткових затрат [2], і є складним у звичайних умовах. Але використання комбінованого армування дає можливість підібрати оптимальне співвідношення сталей різних типів [3-5], що дозволить зменшити витрати металу при забезпеченні вимог щодо міцності та деформативності таких конструкцій [6].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Дослідження міцності та деформативності сталебетонних балок із використанням листової зовнішньої стрічкової арматури і стержневої високоміцної, є актуальним з погляду доцільності та практичного застосування таких конструкцій в будівництві.

Цікавим для дослідження є також порівняти міцність таких конструкцій із розрахунковою за ДБН В.2.6:2009 з використанням коефіцієнтів надійності γ_s , γ_c для матеріалів.

Проведені раніше дослідження показали, що у балках з більшим відсотком зовнішньої стрічкової арматури, досягається зростання несучої здатності конструкції та її жорсткості при незмінних розмірах поперечного перерізу.

Постановка завдання. Застосування високоміцної стержневої арматури класу А1000 в поєднанні з стрічковою сталлю С275, що має зчеплення з бетоном за допомогою U-подібних

анкерів, дозволить нам досягти підвищення міцності та збільшення економічних показників. Дослідження залишкової міцності сталобетонних балок із комбінованим армуванням в порівнянні з результатами розрахунку за ДБН В.2.6:2009 з використанням коефіцієнтів надійності γ_s , γ_c для матеріалів, ще не проводились.

Основний матеріал і результати. Для проведення досліду було виготовлено вісім сталобетонних балок перерізом 120x240 мм, з розрахунковим прольотом 2400 мм в яких зчеплення зовнішньої стрічкової арматури забезпечувалось за допомогою U-подібних анкерів приварених до листа. Для зменшення абсолютної похибки дослідження проводилось з використанням балок близнюків, що виготовлялись з одного замісу бетону, такий підхід дозволив отримати якісний вихідний матеріал для проведення експерименту. Конструкція каркасів подана на рисунку 1.

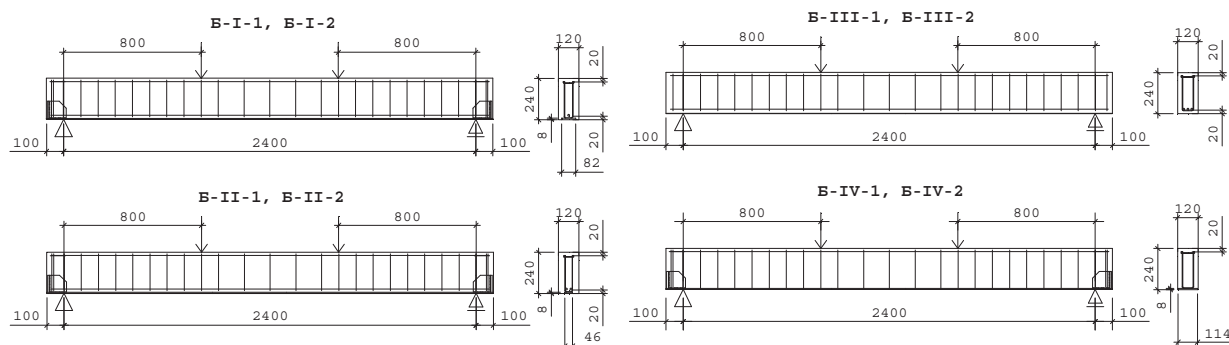


Рисунок 1 – Конструкція арматурних каркасів дослідних зразків.

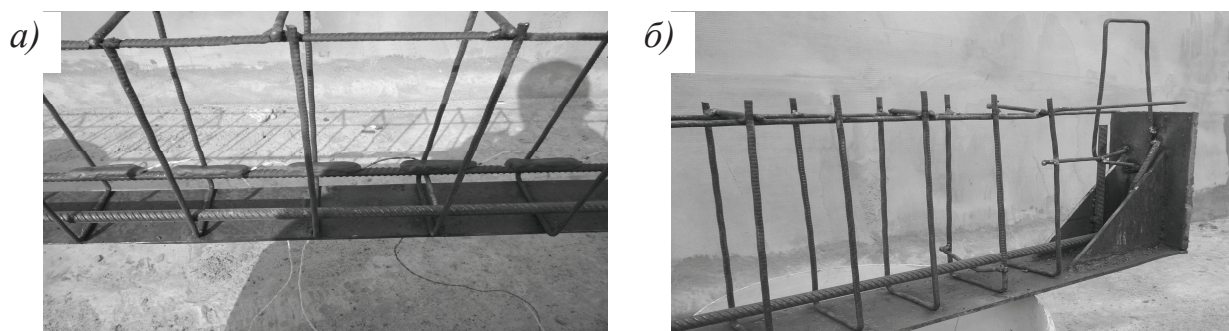


Рисунок 2 – Каркаси сталобетонних дослідних балок із зчепленням стрічкової арматури з бетоном: а) вигляд в зоні чистого згину; б) вигляд опорної ділянки

Клас бетону встановлювався після випробовування бетонних кубиків розміром 150x150мм, та призм 150x150x600мм, було встановлено, що характеристична міцність бетону відповідала класу С30/40 – С35/45. Розрахункову міцність приймали з врахуванням коефіцієнту надійності γ_c , який для важкого бетону становить 1,3.

Бетон виготовлено з використанням Здолбунівського портландцементу активністю М500 та суперпластифікатора НК-1(ВМ) для полегшення укладки суміші, та для зменшення водоцементного відношення.

Заповнювачі на 1м³: щебінь гранітний фракції 5-20мм, пісок з модулем зернистості 2,2, усі заповнювачі чисті без домішок. Витрата матеріалів на 1м³ бетонної суміші: цемент – 498,0кг; пісок – 676,0кг; щебінь – 1178,3кг; вода – 166л, суперпластифікатор НК-1(ВМ) – 2,47кг (2,12л). Ущільнення бетонної суміші – вібраційне. Кожна серія складалась з двох однакових балок, основної та дублюючої. Для усіх балок поперечна арматура прийнята з стержнів Ø5 класу А-240С встановлених з кроком 70 мм в зоні дії поперечних сил. Робочою поздовжньою арматурою розтягнутої зони служила гладка стрічкова арматура сталі С275 товщиною t = 8 мм, що має зчеплення з бетоном і арматура періодичного

профілю Ø10мм класу А-1000. Виготовлені балки відрізнялись різним співвідношенням стрічкової і стержневої арматури.

Фізико-механічну характеристику дослідних балок подано в таблиці №1.

Особливістю було те, що при різному відсотку армування робочою арматурою від 0,89% до 3,45%, всі дослідні зразки запроєктовані рівномічними, тобто руйнівне навантаження для них, згідно з розрахунком міцності було однаковим. Це забезпечувалось різним співвідношенням площ між стрічковою арматурою із сталі С275 та стержневою високомічною класів А1000.

Таблиця 1 – Фізико-механічна характеристика матеріалів дослідних балок

Позначення балок		Б - I - 1, Б - I - 2	Б - II - 1, Б - II - 2	Б - III - 1, Б - III - 2	Б - IV - 1, Б - IV - 2
Важкий бетон	$f_{ck,cube}/f_{ck,prism}$ МПа	48,7 / 29,6	46,3 / 28,1	46,3 / 28,1	49,2 / 29,9
	f_{cd} , МПа	22,8	21,6	21,6	23,0
	$E_{cm} \times 10^3$, МПа	38,00	37,76	38,04	38,50
Арматура розтягнутої зони стрічкова поздовжня	B_{st} , мм	82x8	46x8	-	114x8
	f_{yk} , МПа	287	287	-	287
	f_{yd} , МПа	273	273	-	273
	$E_p \times 10^3$, МПа	2,05	2,05	-	2,05
	Марка	С275	С275	-	С275
Арматура розтягнутої зони стержнева поздовжня	Ø, мм	1Ø10	2Ø10	3Ø10	-
	f_{yk} , МПа	1080	1080	1080	-
	f_{yd} , МПа	900	900	900	-
	$E_p \times 10^3$, МПа	1,85	1,85	1,85	-
	Клас	А1000	А1000	А1000	-
Арматура стисненої зони стержнева поздовжня	Ø', мм	8	8	8	8
	f_{yk}' , МПа	594,5	594,5	594,5	594,5
	f_{yd}' , МПа	495	495	495	495
	$E_p' \times 10^3$, МПа	2,05	2,05	2,05	2,05
	Клас	А400С	А400С	А400С	А400С
Арматура стержнева поперечна	Ø, мм	5	5	5	5
	f_{ywd} , МПа	296	296	296	296
	$E_p \times 10^3$, МПа	2,05	2,05	2,05	2,05
	Клас	А240С	А240С	А240С	А240С

Розроблені та виготовлені моделі сталобетонних балок і запропонована методика їх виготовлення передбачала отримання експериментального матеріалу для висвітлення картини напружено-деформованого стану нормального перерізу в прольоті балки, від початку завантаження аж до руйнування, та дала можливість простежити зміну міцності нормальних перерізів в залежності від відсотку армування високомічною арматурою.

Завантаження досліджуваних балок проводилось етапами по 10% від руйнівного обчисленого за ДБН В.2.6:2009, виконувалось за допомогою гідравлічного домкрату потужністю 1000 кН. Через розподільну траверсу зусилля прикладалось до верхньої грані балки у вигляді двох зосереджених сил, прикладених симетрично відносно середини балки на відстані від опор 1/3 прольоту. Видержка завантаження на кожній ступені складала 30 хв., після чого знімались покази приладів. Величина завантаження контролювалась величиною опорних реакцій, які вимірювались двома кільцевими динамометрами. Ці кільцеві динамометри служили одночасно рухомою і нерухомою опорами.

Коефіцієнт надійності γ_s для арматури класу А1000 згідно ДБН В.2.6: 2009 становив –1.2, для стрічкової арматури С275 прийнятий $\gamma_s = 1,05$.

Характеристику дослідних балок подано в таблиці №2.

Таблиця 2 – Характеристики дослідних зразків

Позначення балок		Блс-I-1 Блс-I-2	Блс-II-1 Блс-II-2	Бс-III-1 Бс-III-2	Бл-IV-1 Бл-IV-2
Параметри перерізу балки	ширина b , мм	120	120	120	120
	висота h , мм	235	236	238	235
	площа A , см ²	282	283	286	282
Арматура розтягнутої зони – стрічкова поздовжня класу С275					
площа A_s , см ²		6,56	3,68	-	9,12
Арматура розтягнутої зони – стержнева поздовжня					
Кількість та діаметр стержнів ϕ_s , мм		1 ϕ 10 А1000	2 ϕ 10 А1000	3 ϕ 10 А1000	-
площа A_s , см ²		0,785	1,570	2,355	-
$f_{yk} \cdot A_s$, стержня		31,2%	61,9%	100%	0%
$f_{yk} \cdot A_s$, листа		68,8%	38,1%	0%	100%
сумарний відсоток армування робочою арматурою		2,77%	1,97%	0,89%	3,45%

При вивченні роботи експериментальних сталобетонних балок із комбінованим армуванням було виділено наступні стадії:

- робота без тріщин, коли конструкція є суцільним пружно-пластичним тілом;
- утворення тріщин;
- робота з тріщинами в розтягнутій зоні;
- початок текучості стрічкової арматури;
- досягнення умовної межі текучості в високоміцній арматурі;
- руйнування стисненої зони бетону.

Результати досліджень подані в таблиці №3. Характер руйнування дослідних зразків подано на рисунку 3.

Окремо слід відмітити залізобетонні балки серії Бс-III, армовані лише високоміцною стержневою арматурою, та сталобетонні Бл-IV, лише з стрічковим армуванням, які слугували своєрідними еталонами і використовувались, для порівняння результатів випробувань балок із комбінованим армуванням. Оскільки у цих зразків був один вид робочої арматури, то після стадії, "появи тріщин в розтягнутій зоні" наступною була "досягнення межі текучості в робочій арматурі".

Настання текучості стрічкової арматури відбувається швидше ніж високо-міцної. Це супроводжувалось збільшенням приросту деформацій та прогинів.

При досягненні текучості в стрічковій арматурі, напруження в ній не спадали, вона продовжувала сприймати навантаження і під час текучості при незмінному в ній зусиллі розтягу $f_{yk} \cdot A_{s, \text{стрічк}}$. Зміцнення стрічкової арматури після проходження ділянки текучості не досягається, через значну протяжність цієї ділянки на діаграмі розтягу стрічкової сталі.

Згинальний момент, що відповідає напруженням текучості в стрічковій арматурі умовно позначено M_{dr1} , а момент, який відповідає умовній текучості високоміцної стержневої арматури, названо „граничним моментом” M_{dr2}

Оскільки розрахунок міцності згинаних конструкцій ведеться за граничним станом, то в основу дальшого аналізу покладений "граничний момент" M_{dr2} , що відповідає початку текучості у високоміцній стержневій арматурі.

Балка Блс – I – 1, Блс – I – 2 (міцність бетону на стиск $f_{ck, \text{prism}} = 29,6$ МПа, відношення $(f_{yk, A1000} A_{s, A1000}) / (f_{yk, \text{стрічк}} A_{s, \text{стрічк}}) = 31,2\% / 68,8\%$; відсоток армування балки становив 2,77%). Текучість стрічкової арматури вдалось досягти при навантаженні $M_{dr1} =$

42,7кНм та 43,6кНм. Текучість високоміцної арматури наступила при згинальному моменті $M_{dr2} = 51,52$ кНм, для балки Блс – I – 1 та 52,64кНм для Блс – I – 2. Теоретичним розрахунком передбачалась величина руйнуючого моменту $M_{max}^{ДБН} = 51,38$ кНм, $M^{ДБН} = 46,39$ кНм. Таким чином запас міцності при використанні розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає 10,0 – 11,9%.

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень сталобетонних балок із стрічковою арматурою що має зчеплення з бетоном та стержневою класу А-1000

Позначення балок	Дослідне значення M_{dr1} при текучості стрічкової арматури, кНм	M_{dr1} за ДБН В.2.6-98:2009 при т екучості стрічкової арматури, кНм	Прогин балки перед початком текучості стрічкової арматури, мм	Прогин балки за ДБН В.2.6-98:2009 перед початком текучості стрічкової арматури, мм	Несуча здатність (текучість високоміцної арматури, руйнування стиснутої зони бетону)			Несуча здатність з використанням коефіцієнтів надійності γ_s, γ_c для матеріалів	
					Дослідне значення M_{dr2} , кНм	За ДБН В.2.6-98:2009 $M_{max}^{ДБН}$, кНм	$(M_{dr2} - M_{max}^{ДБН}) / M_{dr2}$, %	За ДБН В.2.6-98:2009 $M_{ДБН}^{ДБН}$, кНм	$(M_{dr2} - M_{ДБН}^{ДБН}) / M_{dr2}$, %
Б - I - 1	42,70	39,9	6,87	6,71	51,52	51,38	0,3	46,39	10,0
Б - I - 2	43,60		11,98		52,64		2,4		11,9
Б - II - 1	31,10	27,2	8,01	10,6	55,20	52,10	5,6	46,95	14,9
Б - II - 2	31,10		7,36		52,40		0,6		10,4
Б - III - 1	-	-	-	-	55,36	52,85	4,5	47,82	13,6
Б - III - 2	-		-		57,04		7,3		16,2
Б - IV - 1	51,49	50,25	7,91	5,39	51,49	50,25	2,4	49,79	3,3
Б - IV - 2	50,57		10,72		50,57		0,6		0,6

Балка Блс – II – 1, Блс – I – 2 (міцність бетону на стиск $f_{ck,prism} = 28,1$ МПа, відношення $(f_{yk,A1000} A_{s,A1000}) / (f_{yk,стрічк} A_{s,стрічк}) = 61,9\% / 38,1\%$; відсоток армування балки становив 1,97%). Текучість стрічкової арматури вдалось досягти при навантаженні $M_{dr1} = 31,1$ кНм. Текучість високоміцної арматури наступила при згинальному моменті $M_{dr2} = 55,2$ кНм, для балки Блс – II – 1 та 52,40кНм для Блс – II – 2. Теоретичним розрахунком передбачалась величина руйнуючого моменту $M_{max}^{ДБН} = 52,10$ кНм, $M^{ДБН} = 46,95$ кНм. Таким чином запас міцності при використанні розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає 10,4 – 14,9%.

Балка Блс – III – 1, Блс – III – 2 (міцність бетону на стиск $f_{ck,prism} = 28,1$ МПа, відношення $(f_{yk,A1000} A_{s,A1000}) / (f_{yk,стрічк} A_{s,стрічк}) = 100\% / 0\%$; відсоток армування балки становив 0,89%). Текучість стрічкової арматури не спостерігалась Текучість високоміцної арматури наступила при згинальному моменті $M_{dr2} = 55,36$ кНм, для балки Блс – III – 1 та 57,04кНм для Блс – III – 2. Теоретичним розрахунком передбачалась величина руйнуючого моменту $M_{max}^{ДБН} = 52,85$ кНм, $M^{ДБН} = 47,82$ кНм. Таким чином запас міцності при використанні розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає 13,6 – 16,2%.

Балка Блс – IV – 1, Блс – IV – 2 (міцність бетону на стиск $f_{ck,prism} = 29,9$ МПа, відношення $(f_{yk,A1000} A_{s,A1000}) / (f_{yk,стрічк} A_{s,стрічк}) = 0\% / 100\%$; відсоток армування балки

становив 3,45%). Текучість стрічкової арматури вдалось досягти при навантаженні $M_{dг1}=51,49кНм$ для балки Блс – IV – 1 та $50,57кНм$ для Блс – IV – 2. Теоретичним розрахунком передбачалась величина руйнуючого моменту $M_{дБН}^{max}=50,25кНм$, $M_{дБН}^{дБН}=49,79кНм$. Таким чином запас міцності при використанні розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає 0,6 – 3,3%.



Рисунок 3 – Характер руйнування дослідних балок.

З результатів досліджень випливає, що діючий нормативний документ ДБН В.2.6-98:2009, при використанні характеристичних значень міцності матеріалів, дозволяє з достатньою точністю оцінити міцність як сталобетонних елементів із комбінованим армуванням так і залізобетонних. Відхилення від експериментальних даних не перевищує 7,3%.

Балки з комбінованим армуванням у яких більший відсоток високоміцної арматури, в порівнянні з розрахунком при використанні коефіцієнтів надійності для матеріалів γ_s , γ_c , мають більший запас міцності. Так у сталобетонних балках у яких високоміцна арматура відсутня, запас міцності становив до 3,3%. У балках де відсоток армування високоміцними стержнями становив 31,2%, залишок міцності знаходився в межах 10,0-

11,9%. При відсотку високоміцної арматури 61,9%, запас міцності складав 10,4-14,9%. У залізобетонних балках армованих лише високоміцними стержнями класу А1000, залишок міцності становив 13,6-16,2%.

Висновки. Балки з комбінованим армуванням у яких більший відсоток високоміцної арматури, в порівнянні з розрахунком при використанні коефіцієнтів надійності для матеріалів γ_s , γ_c , мають більший запас міцності.

За наявності високоміцної стержневої арматури фізичне руйнування балок настає не під час текучості листової арматури, а після текучості високоміцної стержневої арматури з наступним руйнуванням стиснутої зони бетону, що дозволяє обчислювати момент фізичного руйнування балок з умовною межею текучості саме високоміцної арматури, і повністю використати її міцнісні характеристики.

Із збільшенням відсотку армування сталобетонних балок високоміцною стержневою арматурою, зростає межа фізичного руйнування.

Діючий нормативний документ ДБН В.2.6-98:2009, дозволяє з достатньою точністю оцінити міцність як сталобетонних елементів із комбінованим армуванням так, і залізобетонних, відхилення від експериментальних даних не перевищує 7,3%.

Література

1. Блхарский 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. – с. 80.
3. 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.
4. 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.
5. Бобало Т.В. Порівняння результатів експериментального дослідження сталобетонних балок із комбінованим армуванням з результатами розрахунку за діючими національними нормами // Архітектура і сільськогосподарське будівництво: Вісник Національного аграрного університету – Львів, 2012. №13 – С.34-43.
6. Бобало Т.В., Блхарський З.Я., Ільницький Б.М., Крамарчук А.П. Особливості роботи сталобетонних балок армованих стержневою високоміцною арматурою різних класів // Теорія і практика будівництва: Вісник Національного університету "Львівська політехніка" – Львів, 2011. № 697 – С.35-48.

*З.Я. Блхарский, д.т.н., профессор
Т.В. Бобало, к.т.н.,
М.Е. Вольнец, с.н.с,
Р.Ф. Струк, к.т.н.*

Национальный университет "Львовская политехника" г.Львов

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК АРМИРОВАННЫХ ЛЕНТОЧНОЙ АРМАТУРОЙ КЛАССА С275 И СТЕРЖНЕВОЙ КЛАССА А1000

Подано сравнения результатов проведенных испытаний сталобетонных балок с комбинированным армированием с результатами расчета по нормативным документам

ДБН В.2.6: 2009 по методике КНУСА, и приведено сравнение результатов расчета с использованием характеристических и расчетных характеристик материалов.

Ключевые слова: *сталебетонные балки, железобетонные конструкции, смешанное армирование, внешнее армирование, напряженно-деформированное состояние.*

Z.Y. Bliarsky, doctor of science., professor

T.V. Bobalo, Ph.D.,

M.E. Volinets, Senior Researcher,

R.F. Struck, Ph.D.

National university "Lviv Politechnika"

CARRYING CAPACITY OF STEEL CONCRETE COMPOSITE BEAMS REINFORCED WITH BAND-VALVE CLASS S275 AND BAR CLASS A1000

Posted comparing the results of tests carried out the steel-concrete beams reinforced with combined with the results of calculations by regulations DBN B.2.6: 2009 KNUCA the procedure, and a comparison of the results of calculations using the characteristic and design characteristics of the materials.

Keywords: *reinforced concrete beams, reinforced concrete structures, mixed reinforcement, external reinforcement, stress-strain state.*

Надійшла до редакції 11.09.2014

© З.Я. Бліхарський, Т.В. Бобало, М.Е. Волинець, Р.Ф. Струк