

УДК 624.012.035:693.564

**МІЦНІСТЬ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ІЗ КОМБІНОВАНИМ  
АРМУВАННЯМ ПОРІВНЯНО З РОЗРАХУНКОМ ЗА  
ДБН В.2.6:2009**

*Т. Бобало, аспірант, З. Бліхарський, д.т.н., Б. Льницький, к.т.н.,  
А. Крамарчук, к.т.н.*

*Національний університет "Львівська політехніка"*

**Постановка проблеми.** Сьогодні актуальним є завдання підвищення надійності не лише будівель і споруд загалом, а й окремих конструкцій. Зростання міцності, зменшення маси, зниження вартості і витрати матеріалів у залізобетонних конструкціях можливі завдяки використанню високоміцних бетонів і арматури, а також у разі застосування зовнішнього армування.

Основною перевагою високоміцних сталей є їх міцність, що дає змогу зменшити кількість металу, який використовується у будівництві, не втративши надійності конструкції. Проте, окрім міцності, є й інша важлива характеристика такої сталі – це деформативність. З метою вичерпання деформацій високоміцну арматуру прийнято використовувати у попередньо напружених залізобетонних конструкціях, а попереднє напруження робочих стрижнів призводить до додаткових затрат і є складним у звичайних умовах. Комбіноване армування дає змогу підібрати оптимальне співвідношення сталей різних типів, а отже, зменшити витрати металу для забезпечення вимог щодо міцності й деформативності таких конструкцій.

Дослідження міцності й деформативності сталебетонних балок із використанням листової зовнішньої стрічкової і стрижневої високоміцної арматури є актуальним з погляду доцільності та практичного застосування таких конструкцій у будівництві.

Цікавим для дослідження є також порівняння міцності таких конструкцій із розрахунковою за ДБН В.2.6:2009 із використанням коефіцієнтів надійності  $\gamma_s$ ,  $\gamma_c$  для матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведені раніше дослідження показали, що у балках із більшим відсотком зовнішньої стрічкової арматури досягається зростання несучої здатності конструкції та її жорсткості за незмінних розмірів поперечного перерізу.

Застосування високоміцної стрижневої арматури класу А-1000 у поєднанні зі стрічковою сталлю С275, що має зчеплення з бетоном за допомогою U-подібних анкерів, дасть нам змогу досягти підвищення міцності та збільшення економічних показників. Дослідження залишкової міцності сталобетонних балок із комбінованим армуванням порівняно з результатами розрахунку за ДБН В.2.6:2009 з використанням коефіцієнтів надійності  $\gamma_s$ ,  $\gamma_c$  для матеріалів ще не проводили.

**Постановка завдання.** Мета нашого дослідження – порівняти результати проведеного лабораторного випробування сталобетонних балок зі змішаним армуванням із результатами розрахунку за нормативним документом ДБН В.2.6: 2009; визначити залишкову міцність сталобетонних балок у зоні чистого згину порівняно з результатами розрахунку із використанням характеристичних і розрахункових характеристик матеріалів.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення досліду було виготовлено вісім сталобетонних балок, в яких зчеплення проводиться за рахунок зовнішньої стрічкової арматури, яка закріплена в бетоні у вигляді U-подібних анкерів, приварених до листа. Для зменшення абсолютної похибки використовували балки-близнюки, які виготовляли з одного замісу бетону. Такий підхід дав змогу отримати якісний вихідний матеріал для проведення експерименту. Балки мали переріз  $120 \times 240$  мм, розрахунковий прогін – 2400 мм.

Прийняті такі умовні позначення: Б – балка; л – присутня стрічкова (листова) арматура; с – присутня високоміцна стрижнева арматура; перша римська цифра вказує на серію балок, друга – на порядковий номер. Балки в межах однієї серії однакові.

Конструкція арматурних каркасів показана на рис. 1.

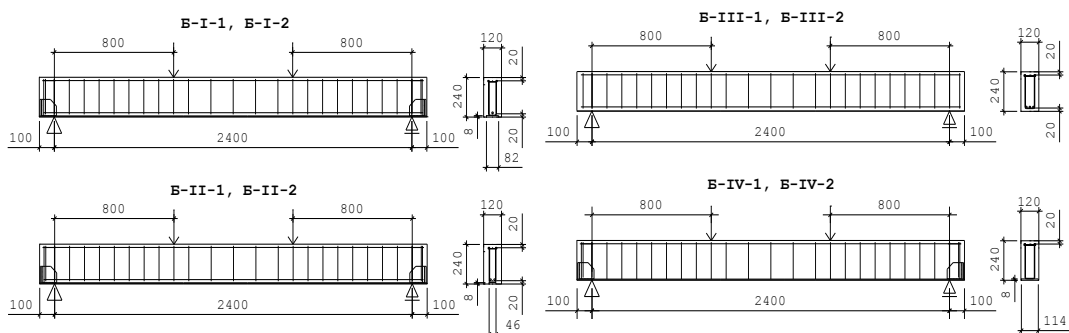


Рис. 1. Конструкція каркасів дослідних зразків.

Клас бетону встановлювали після випробовування бетонних кубиків розміром 150×150 мм. та призм 100×100×400 мм. Встановлено, що характеристична міцність бетону відповідала класу С30/40 – С35/45. Розрахункову міцність приймали з врахуванням коефіцієнта надійності  $\gamma_c$ , який для важкого бетону дорівнює 1,3.

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

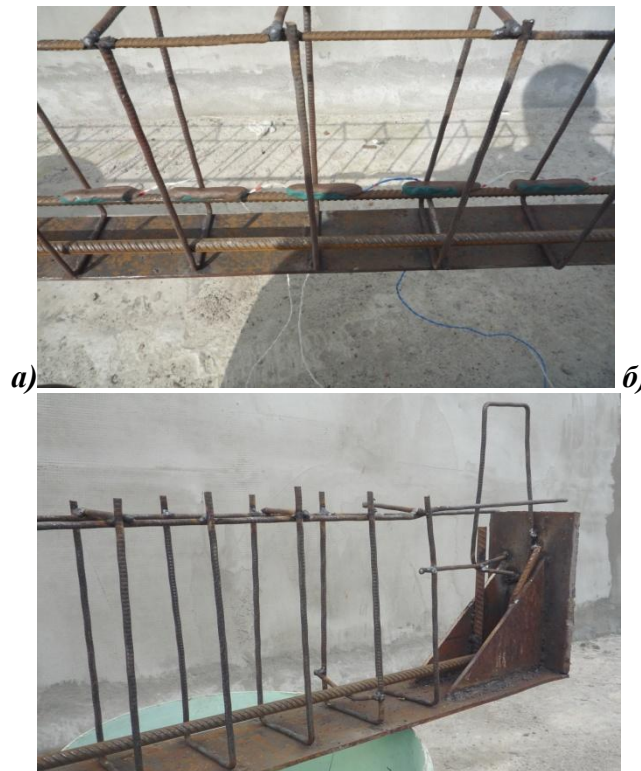


Рис.2. Каркаси сталебетонних дослідних балок із зчепленням стрічкової арматури з бетоном: а) вигляд у зоні чистого згину; б) вигляд приопорної ділянки.

Заповнювачі на 1 м<sup>3</sup>: щебінь гранітний фракції 5–20 мм, пісок з модулем зернистості 2,2, усі заповнювачі чисті без домішок. Витрата матеріалів на 1м<sup>3</sup> бетонної суміші: цемент – 498,0 кг; пісок – 676,0 кг; щебінь – 1178,3 кг; вода – 166 л; суперпластифікатор НК-1(ВМ) – 2,47 кг (2,12 л). Ущільнення бетонної суміші – вібраційне. Кожна серія складалася з двох однакових балок – основної й дублюючої. Для всіх балок поперечна

арматура прийнята зі стрижнів  $\varnothing 5$  класу А-240С, встановлених з кроком 70 мм в зоні дії поперечних сил. Робочою поздовжньою арматурою розтягнутої зони слугувала гладка стрічкова арматура зі сталі С275 товщиною  $t = 8$  мм, що має зчеплення з бетоном, і арматура періодичного профілю  $\varnothing 10$  мм класу А-1000. Виготовлені балки різнилися співвідношенням стрічкової і стрижневої арматури.

Фізико-механічну характеристику дослідних балок наведено в табл. 1.

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	$B_s \times t_s$ , мм	82x8	46x8	-	114x8
	$f_{yk}$ , МПа	287	287	-	287
	$f_{yd}$ , МПа	273	273	-	273
	$E_p \times 10^5$ , МПа	2,05	2,05	-	2,05
	Марка	C275	C275	-	C275
Арматура розтягнутої зони – стрижнева поздовжня	$\varnothing$ , мм	1 $\varnothing$ 10	2 $\varnothing$ 10	3 $\varnothing$ 10	-
	$f_{yk}$ , МПа	1080	1080	1080	-
	$f_{yd}$ , МПа	900	900	900	-
	$E_p \times 10^5$ , МПа	1,85	1,85	1,85	-
	Клас	A 1000	A 1000	A 1000	-
Арматура стисненої зони – стрижнева поздовжня	$\varnothing'$ , мм	8	8	8	8
	$f_{yk}'$ , МПа	594,5	594,5	594,5	594,5
	$f_{yd}'$ , МПа	495	495	495	495
	$E_p' \times 10^5$ , МПа	2,05	2,05	2,05	2,05
	Клас	A 400C	A 400C	A 400C	A 400C
Арматура стрижнева поперечна	$\varnothing$ , мм	5	5	5	5
	$f_{vwd}$ , МПа	296	296	296	296
	$E_p \times 10^5$ , МПа	2,05	2,05	2,05	2,05
	Клас	A 240C	A 240C	A 240C	A 240C

Коефіцієнт надійності  $\gamma_s$  для арматури класу А1000 згідно з ДБН В.2.6: 2009 становив 1,2; для стрічкової арматури С275 прийнятий  $\gamma_s = 1,05$ .

Характеристику дослідних балок наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики дослідних зразків

Позначення балок		Блс-I-1	Блс-II-1	Бс-III-1	Бл-IV-1
		Блс-I-2	Блс-II-2	Бс-III-2	Бл-IV-2
Параметри перерізу балки	ширина $b$ , мм	120	120	120	120
	висота $h$ , мм	235	236	238	235
	площа $A$ , см <sup>2</sup>	282	283	286	282
Арматура розтягнутої зони – стрічкова поздовжня класу С275					
площа $A_s$ , см <sup>2</sup>		6,56	3,68	-	9,12
Арматура розтягнутої зони – стрижнева поздовжня					
Кількість та діаметр стержнів $\varnothing_s$ , мм		1 $\varnothing$ 10 А1000	2 $\varnothing$ 10 А1000	3 $\varnothing$ 10 А1000	-
площа $A_s$ , см <sup>2</sup>		0,785	1,570	2,355	-
$f_{yk} \cdot A_s$ , стрижня		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%

Особливістю було те, що за різного відсотка армування робочою арматурою – від 0,89% до 3,45% – всі дослідні зразки запроєктовані рівномісними, тобто руйнівне навантаження для них згідно з розрахунком міцності було однаковим. Це забезпечувалося різним співвідношенням площ між стрічковою арматурою зі сталі С275 і стрижневою високоміцною класів А1000.

Розроблені та виготовлені моделі сталобетонних балок і запропонована методика їх виготовлення передбачали отримання експериментального матеріалу для висвітлення картини напружено-деформованого стану нормального перерізу в прогоні балки від початку завантаження аж до руйнування й дали змогу простежити зміну міцності нормальних перерізів залежно від відсотка армування високоміцною арматурою.

Досліджувані балки завантажували поетапно – по 10% від руйнівного, обчисленого за ДБН В.2.6: 2009, – за допомогою гідравлічного домкрата потужністю 1000 кН. Через розподільну traversу зусилля прикладали до верхньої грані балки у вигляді двох зосереджених сил, прикладених симетрично відносно середини балки на відстані від опор 1/3 прогону. Витримка завантаження на кожному ступені складала 30 хв., після чого знімали покази приладів. Завантаження контролювали показниками

опорних реакцій, які вимірювали двома кільцевими динамометрами. Останні слугували одночасно рухомою і нерухомою опорами.

У роботі експериментальних сталобетонних балок із комбінованим армуванням було виділено такі стадії:

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

Результати досліджень наведені в табл. 3. Характер руйнування дослідних зразків показано на рис. 3.

Таблиця 3

Результати експериментальних досліджень сталобетонних балок із стрічковою арматурою, що має зчеплення з бетоном, і стрижневою класу А-1000

Позначення балок	Дослідне значення $M_{др1}$ за плинності стрічкової арматури, кНм	$M_{др1}$ за ДБН В.2.6-98:2009 за плинності стрічкової арматури, кНм	Прогин балки перед початком плинності стрічкової арматури, мм	Прогин балки за ДБН В.2.6-98:2009 перед початком плинності стрічкової арматури, мм	Несуча здатність (плинність високоміцної арматури, руйнування стиснутої зони бетону)			Несуча здатність з використанням коефіцієнтів надійності $\gamma_s, \gamma_c$ для матеріалів	
					Дослідне значення $M_{др2}$ , кНм	За ДБН В.2.6-98:2009 $M_{др2}^{ДБН \max}$ , кНм	$(M_{др2} - M_{др2}^{ДБН \max}) / M_{др2}$ , %	За ДБН В.2.6-98:2009 $M_{др2}^{ДБН}$ , кНм	$(M_{др2} - M_{др2}^{ДБН}) / M_{др2}$ , %
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



Рис. 3. Характер руйнування дослідних балок.

Виокремимо залізобетонні балки серії БС-III, армовані лише високоміцною стрижневою арматурою, та сталобетонні БЛ-IV зі стрічковим армуванням, які слугували своєрідними еталонами і використані для порівняння результатів випробувань балок із комбінованим армуванням.

Оскільки у цих зразків був один вид робочої арматури, то після стадії, "поява тріщин в розтягнутій зоні" настала стадія "досягнення межі плинності в робочій арматурі".

Настання плинності стрічкової арматури відбувається швидше, ніж високоміцної. Це супроводжувалося збільшенням приросту деформацій та прогинів.

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

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

Оскільки розрахунок міцності згинаних конструкцій ведеться за граничним станом, то в основу подальшого аналізу покладений "граничний момент"  $M_{dr2}$ , що відповідає початку плинності у високоміцній стрижневій 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%). Плинності стрічкової арматури вдалося досягти за навантажень  $M_{dr1} = 42,7$  кНм та 43,6 кНм. Плинність високоміцної арматури настала за згинального моменту  $M_{dr2} = 51,52$  кНм для балки Блс – I – 1 та 52,64 кНм – для Блс – I – 2. Теоретичним розрахунком передбачено значення руйнівного моменту  $M_{\text{max}}^{\text{ДБН}} = 51,38$  кНм,  $M^{\text{ДБН}} = 46,39$  кНм. Отже, запас міцності за використання розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає 10,0 – 11,9%.

Балка Блс – II – 1, Блс – I – 2: (міцність бетону на стиск  $f_{ck, \text{prism}} = 28,1$  МПа, відношення  $(f_{yk, A1000} A_{s, A1000}) / (f_{yk, \text{стрічк}} A_{s, \text{стрічк}}) = 61,9\% / 38,1\%$ ; відсоток армування балки становив 1,97%). Плинності стрічкової арматури вдалося досягти за навантаження  $M_{dr1} = 31,1$  кНм. Плинність високоміцної арматури настала за згинального моменту  $M_{dr2} = 55,2$  кНм, для балки Блс – II – 1 та 52,40 кНм – для Блс – II – 2. Теоретичним розрахунком передбачалося значення руйнівного моменту  $M_{\text{max}}^{\text{ДБН}} = 52,10$  кНм,  $M^{\text{ДБН}} = 46,95$  кНм. Отже, запас міцності за використання розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає 10,4 – 14,9%.

Балка Блс – III – 1, Блс – III – 2: міцність бетону на стиск  $f_{ck, \text{prism}} = 28,1$  МПа, відношення  $(f_{yk, A1000} A_{s, A1000}) / (f_{yk, \text{стрічк}} A_{s, \text{стрічк}}) = 100\% / 0\%$ ; відсоток армування балки становив 0,89%). Плинності стрічкової арматури



не спостерігали. Плинність високоміцної арматури настала за згинального моменту  $M_{dr2} = 55,36$  кНм для балки Блс – III – 1 та  $57,04$  кНм – для Блс – III – 2. Теоретичним розрахунком передбачене значення руйнівного моменту  $M_{\max}^{\text{ДБН}} = 52,85$  кНм;  $M^{\text{ДБН}} = 47,82$  кНм. Отже, запас міцності за використання розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає  $13,6 - 16,2\%$ .

Балка Блс – IV – 1, Блс – IV – 2: (міцність бетону на стиск  $f_{ck, \text{prism}} = 29,9$  МПа, відношення  $(f_{yk, A1000} A_s, A1000) / (f_{yk, \text{стрічк}} A_s, \text{стрічк}) = 0\% / 100\%$ ; відсоток армування балки становив  $3,45\%$ ). Плинності стрічкової арматури вдалося досягти за навантаження  $M_{dr1} = 51,49$  кНм для балки Блс – IV – 1 та  $50,57$  кНм – для Блс – IV – 2. Теоретичним розрахунком передбачене значення руйнівного моменту  $M_{\max}^{\text{ДБН}} = 50,25$  кНм,  $M^{\text{ДБН}} = 49,79$  кНм. Отже, запас міцності за використання розрахункових характеристик матеріалів для цієї серії складає  $0,6 - 3,3\%$ .

Із результатів досліджень випливає, що чинний нормативний документ ДБН В.2.6-98:2009, за використання характеристичних значень міцності матеріалів, дає змогу 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, в яких більший відсоток високоміцної арматури порівняно з розрахунком за використання коефіцієнтів надійності для матеріалів  $\gamma_s, \gamma_c$  мають більший запас міцності. Зокрема у сталобетонних балках, в яких високоміцна арматура відсутня, запас міцності становив до  $3,3\%$ . У балках, де відсоток армування високоміцними стрижнями становив  $31,2\%$ , залишок міцності був у межах  $10,0-11,9\%$ . За відсотка високоміцної арматури  $61,9\%$  запас міцності складав  $10,4-14,9\%$ . У залізобетонних балках, армованих лише високоміцними стрижнями класу А1000, залишок міцності становив  $13,6-16,2\%$ .

### **Висновки**

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

2. Балки з комбінованим армуванням, в яких більший відсоток високоміцної арматури порівняно з розрахунком за використання коефіцієнтів надійності для матеріалів  $\gamma_s, \gamma_c$  мають більший запас міцності.

3. За наявності високоміцної стрижневої арматури фізичне руйнування балок настає не під час плинності листової арматури, а після плинності високоміцної стрижневої арматури з наступним руйнуванням

стиснутої зони бетону, що дає змогу обчислювати несучу здатність балок з умовною межею плинності саме високоміцної арматури і повністю використати її міцнісні характеристики.

4. Із збільшенням відсотка армування сталобетонних балок високоміцною стрижневою арматурою зростає несуча здатність.

#### **Бібліографічний список**

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

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

3. Клименко Ф. Є. Міцність сталобетонних балок, армованих арматурою класу А-III, А-V в поєднанні з стрічковою, що працює без зчеплення з бетоном / Клименко Ф. Є., Ільницький Б. М., Бобало Т. В. // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 602. – С. 100–104.

4. Клименко Ф. Є. Міцність та деформативність сталобетонних балок, армованих арматурою класу А-400, Ат-800 в поєднанні з стрічковою, що працює без зчеплення з бетоном / Клименко Ф. Є., Ільницький Б. М., Бобало Т. В. // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2008. – № 627. – С. 129–134.

5. Бобало Т. В. Порівняння результатів експериментального дослідження сталобетонних балок із комбінованим армуванням з результатами розрахунку за діючими національними нормами / Бобало Т. В. // Вісник Львівського національного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2012. – №13. – С. 34–43.

6. Бобало Т. В. Особливості роботи сталобетонних балок армованих стрижневою високоміцною арматурою різних класів / Бобало Т. В., Блихарський З. Я., Ільницький Б. М., Крамарчук А. П. // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” : Теорія і практика будівництва – 2011. – № 697. – С. 35–48.

#### **Бобало Т., Блихарський З., Ільницький Б., Крамарчук А. Міцність сталобетонних балок із комбінованим армуванням порівняно з розрахунком за ДБН В.2.6:2009**

Подано порівняння результатів проведеного лабораторного випробовування сталобетонних елементів із комбінованим армуванням із результатами розрахунку за нормативним документом ДБН В.2.6:2009 за методикою КНУБА. Наведено порівняння результатів розрахунку з використанням характеристичних і розрахункових характеристик матеріалів.

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

**Bobalo T., Blikharskyi Z., Pnytskyi B., Kramarchyk A. Strength of beams of steel concrete with mixed re-enforcement in comparison payments for dbn v.2.6: 2009**

In the article filed comparison of the results of laboratory testing of these elements with the results of the calculation of regulatory document DBN V.2.6:2009 KNUBA the methodology and results of the calculation are compared with the characteristic and design characteristics of materials.

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

**Бобало Т., Блихарский З., Ильницкий Б., Крамарчук А. Прочность сталобетонных балок с комбинированым армированием по сравнению с расчетом по ДБН В.2.6: 2009**

Представлены сравнения результатов проведенного лабораторного испытания сталобетонных элементов с комбинированным армированием с результатами расчета по нормативным документам ДБН В.2.6:2009 по методике КНУБА. Приведено сравнение результатов расчета с использованием характеристических и расчетных характеристик материалов.

**Ключевые слова:** сталобетонные балки, железобетонные конструкции, смешанное армиование, внешнее армиование, напряженно деформированное состояние.