

А. В. Мазурак, І. В. Ковалик, М. В. Садовий, В. О. Михайлечко, П. І. Амброзьяк
Львівський національний аграрний університет,
кафедра технології та організації будівництва

ОЦІНКА ДЕФОРМАТИВНОСТІ ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

© Мазурак А. В., Ковалик І. В., Садовий М. В., Михайлечко В. О., Амброзьяк П. І., 2015

Розглянуто проблему доцільності підсилення залізобетонних конструкцій з посиленням на досвіді використання різних способів підсилення, які подано в літературних джерелах. Проведено аналіз досліджень і публікацій з розрахунку деформацій бетону, арматури, величини прогинів підсилених залізобетонних балкових елементів. Враховано залежність впливу відносного рівня попереднього навантаження на деформації бетону й арматури, кривизни і прогинів залізобетонних зразків. Обґрунтовано ефективність використання торкрет-бетону за підсилення залізобетонних конструкцій. Запропоновано методику і проведено експериментальні дослідження випробуванням на згин серії підсилених залізобетонних зразків та другої серії у разі підсилення їх під навантаженням із урахуванням залишкових напружень до проведення підсилення. За результатами проведених досліджень подано значення деформацій у перерізах балок, а також прогинів. Запропонований алгоритм розрахунку кривизни, прогинів і деформацій у перерізах підсилених зразків. Відповідно проведена теоретична і експериментальна оцінка результатів прогинів підсилених зразків. Розбіжність дослідних і розрахункових значень сягає не більше ніж 10 %, тобто результат задовільний. Виникає необхідність підтвердити результат більшою кількістю зразків та відповідних результатів інших дослідників.

Ключові слова: напружено-деформований стан, згинальні залізобетонні елементи, деформаційна модель, запропонований алгоритм розрахунку, підсилення балок, методика досліджень, рівень навантаження, торкрет-бетон, деформації, прогини, графік залежності деформацій.

In the article problem of expedience strengthening reinforce-concrete constructions is considered with reference on experience the use different methods strengthening, which are presented in literary sources. The analysis researches and publications is conducted from the calculation deformations concrete, armature, size bendings the increased reinforce-concrete beam elements. Dependence influence relative level previous loading is taken into account on deformation concrete and armature, curvature and bendings reinforce-concrete standards. Grounded efficiency use shotkret at increased reinforce-concrete constructions. Offered method and experimental researches are conducted by a test on the bend series increased reinforce-concrete standards and second series at increased them on-loading recognition remaining tensions leadthrough strengthening. As a result of conducted researches the given values deformations are in the cuts of beams, and also bendings. The offered algorithm calculation curvature, bendings and deformations, is in the cuts the increased standards. The theoretical and experimental estimation results of bendings increased standards is accordingly conducted. Divergence experimental and calculation values arrives at not more than 10 %, that result is satisfactory. There is a necessity confirm result the greater amount of standards and proper results of other researchers.

Key words: tensely deformed the state, bend reinforce-concrete elements, deformation model, offered algorithm of calculation, strengthening of beams, method of researches, level of loading, shotkret, deformations, bendings, chart dependence of deformations.

Постановка проблеми

Необхідність підсилення будівельних конструкцій під час експлуатації виникає не тільки в разі реконструкції, але і з причини їх передчасного зношення в результаті непередбачених проектом змін технології виробництва, різноманітних пошкоджень і ін. Різноманітне поєднання причин необхідності підсилення, а також тип і стан будівельних конструкцій зумовлює використання різних способів підсилення. Тому важливим завданням у цьому плані є вибір ефективного способу підсилення. Методи підсилення залізобетонних конструкцій предметно описані в літературних джерелах і успішно застосовуються в будівництві [1; 5–7]. Спосіб і вид підсилення конструкції, що працює на згин чи позакцентровий стиск, вибирається залежно від ступеня міцності стиснутої чи розтягнутої зони перерізу і наявності пошкодження бетону чи арматури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню проблем підсилення залізобетонних конструкцій присвятили свої праці Є. М. Бабич, А. Я. Барашиков, З. Я. Бліхарський, О. Б. Голишев, О. І. Валовой, В. Г. Кваша, О. П. Кричевський, Г. А. Молодченко, Л. А. Мурашко, Й. П. Новаторський, Г. Н. Хайдуков, О. Л. Шагін і багато інших [2; 5; 8].

Залежність впливу відносного рівня попереднього навантаження на деформації бетону і арматури, кривизни і прогинів залізобетонних зразків вивчали С. В. Александровський, О. Я. Берг, З. Я. Бліхарський, Ф. Є. Клименко та інші [5; 6].

Вітчизняний та закордонний досвід застосування торкретування дає змогу зробити висновок про можливість його використання для ремонту як монолітних, так і збірних залізобетонних конструкцій. Методи торкретування дають можливість скоротити трудові витрати, наносити тонкі ремонтні шари бетону, забезпечити високу адгезію, тобто зчеплення бетонної суміші зі старим бетоном [1; 2].

Мета та завдання досліджень

Оцінити деформативність експериментальних балкових залізобетонних елементів, звичайних та підсилених. Виконати експериментальні дослідження і провести теоретичну оцінку напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів із урахуванням залишкових напружень до проведення підсилення. Перевірити запропонований алгоритм розрахунку кривизни і прогинів дослідних балок на основі деформаційної моделі.

Методика досліджень

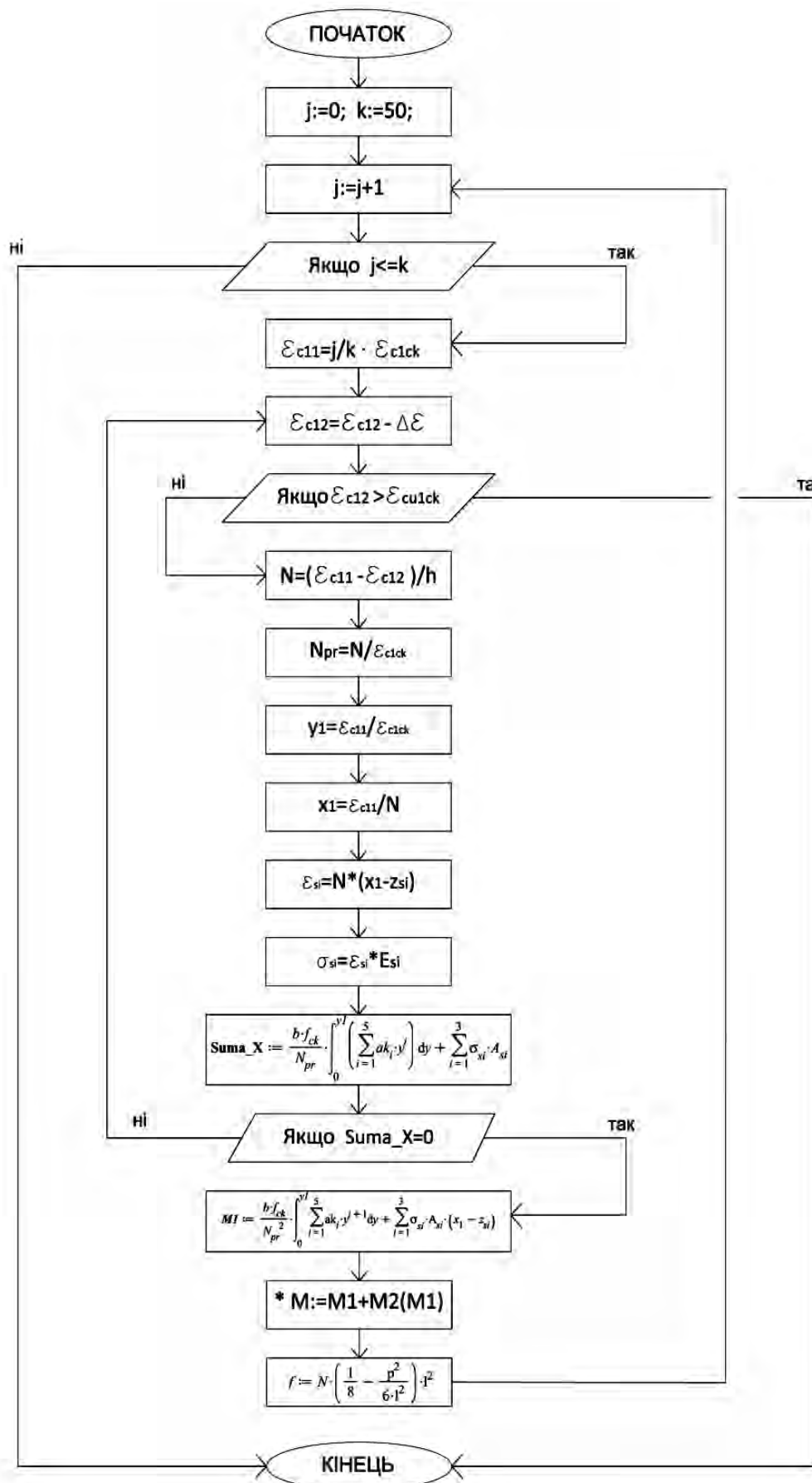
У цій роботі подано результати двох серій досліджень із 11 балкових елементів.

Серія 1 проведених досліджень складалася з восьми дослідних балок проектними розмірами ($L \times h \times b$) $1650 \times 150 \times 75$ (150), шість дослідних балок, виготовлених залізобетонними ($f_{cd} = 28,1$ МПа) за звичайною технологією (Б-1-1...6), з яких чотири піддані підсиленню технологією торкретування ($f_{cd} = 32,3$ МПа). У трьох елементах за підсилення на поверхні балки, у стиснутій зоні влаштовані короткі арматурні стрижні з кроком поперечної арматури (\varnothing 8 мм), які виступали з поверхні на 35 мм (Б-1-3пт, Б-1-4пт, Б-1-5пт). Інша балка підсилювалась без додаткових анкерів (Б-1-6пт). Наступні дві виготовлені з одного складу бетону й аналогічного армування технологією торкретування (Б-1-1т, Б-1-2т).

Серія 2 проведених досліджень складалася із трьох дослідних балок проектними розмірами $2300 \times 200 \times 80$ (120). Дослідні балки виготовлені залізобетонними ($f_{cd} = 23,5$ МПа) за звичайною технологією, піддані підсиленню нарощуванням технологією торкретування (Б-2...пт). Балки підсилювались за різних рівнів навантаження: 0,0; 0,3; 0,6 від руйнівного моменту, тому отримали відповідні позначення. В усіх випадках підсилення використовували адгезійне ґрунтування Koster SB – Naftemulsion та металеві об'єднувальні анкери (\varnothing 8 мм), які виступали з поверхні на 35 мм. Клас торкрет-бетону шару підсилення $f_{cd} = 28,3$ МПа.

Визначали характеристики напружено-деформованого стану підсилених залізобетонних елементів випробуванням їх на згин, короточасним прикладенням зусилля до верхньої грані в третинах прольоту балки. Під час навантаження фіксували прогини, деформації бетону і арматури балок, а також появу та розвиток тріщин [8]. Величину деформацій та прогинів визначали згідно з прийнятою методикою досліджень табл. 1.

Обчислюючи теоретичні величини у формули підставляли реальні значення міцності бетонів і арматури. Розрахунок деформацій і прогинів проводили за запропонованим алгоритмом рис. 1. з використанням чинних нормативних джерел [3; 4].



*Залежність M2(M1) встановлюють під час розрахунку балки за I групою граничних станів

Рис. 1. Розрахунок прогинів балки

Результати досліджень

Експериментальні величини деформацій бетону, арматури і прогини балок, які відповідають граничному стану-втраті несучої здатності за текучості арматури, наведені в табл. 1.

Графіки зміни деформацій арматури, бетону стиснутої зони і прогинів балок, випробуваних короткочасним навантаженням, а також підсилених за рівня навантаження до заданого проектного (0,0; 0,3; 0,6 M_u^{exp}), показано на рис. 2–6.

Таблиця 1

Деформації дослідних балок

Шифр балок	Експериментальні величини					Розрахункові величини				$f_{0,7}^{norm}$ $f_{0,7}^{exp}$
	деформацій $\epsilon \cdot 10^5$ при $0,7M_u^{exp}$		деформацій $\epsilon \cdot 10^5$ при $0,7M_u^{exp}$		прогинів, мм		деформацій $\epsilon \cdot 10^5$ при $0,7M_u^{norm}$		прогинів, мм при $0,7M_u^{norm}$	
	бетону підсилення	z_c	арматури підсилення	z_u	при $0,7M_u^{exp}$ $f_{0,7}^{exp}$	при M_u^{exp} f_l^{exp}	бетону підсилення	арматури підсилення		
		мм		мм					$f_{0,7}^{norm}$	
Б-1-1	65	15	177	120	4,70	12,4	72	142	5,01	1,06
Б-1-2	94	15	109	115	6,05	12,5	84	131	5,95	0,98
Б-1-1т	98	15	132	120	6,74	10,5	106	172	7,28	1,08
Б-1-2т	76	17	250	125	6,52	11,6	93	226	6,60	1,01
Б-1-3 пт	152	19	196	134	7,78	13,3	161	233	8,1	1,04
	95	19	280	134			105	252		
Б-1-4 пт	121	20	182	134	7,20	13,2	148	221	7,8	1,08
	88	20	268	135			95	238		
Б-1-5 пт	75	20	124	135	7,1	13,5	86	122	7,5	1,06
	71	19	155	125			82	176		
Б-1-6 пт	64	21	108	135	6,1	13,6	78	112	6,5	1,07
	62	19	147	120			72	168		
Б-2-0,0 пт	125	20	250	170	10,1	16,8	142	251	10,8	1,07
	93	20	247	170			84	292		
Б-2-0,3пт	134	20	288	170	10,6	17,4	168	271	11,4	1,08
	66	21	231	171			58	250		
Б-2-0,6пт	158	20	312	170	12,4	–	201	308	12,1	0,98
	38	19	195	169			29	210		

* z_c – відстань від верхньої грані балки до місця заміру деформації бетону; ** z_u – відстань від верхньої грані балки до центру поздовжньої арматури.

Аналізуючи результати проведених теоретико-експериментальних досліджень можна зробити висновок, що деформаційна модель і запропонований алгоритм розрахунку дають високу збіжність результатів, розрахунку прогинів до експлуатаційного рівня, під час підсилення їх зокрема і під навантаженням. Розходження між розрахунковими й експериментальними значеннями становить не більше ніж 8 % рис. 4–6.

Високу збіжність значень деформацій бетону і арматури в перерізах балок наглядно відображає приклад поданий на рис. 2, 3, а також результати табл. 1.

Вплив рівня навантаження, за якого підсилюють залізобетонні елементи, показує, що відбувається перерозподіл деформацій бетону й арматури між частинами зразка і цю закономірність належно відображає розрахунковий апарат. У разі підсилення балки Б-2-0,0 і Б-2-0,3 деформації різняться для бетонів на 6–29 % арматури 7–13 %, а для балки Б-2-0,6 вони вже відповідно становлять 20–60 % і 19–21 %. Аналогічний вплив рівня навантаження під час підсилення можна побачити за результатами прогинів у тих самих балках розбіжність сягає 19 %.

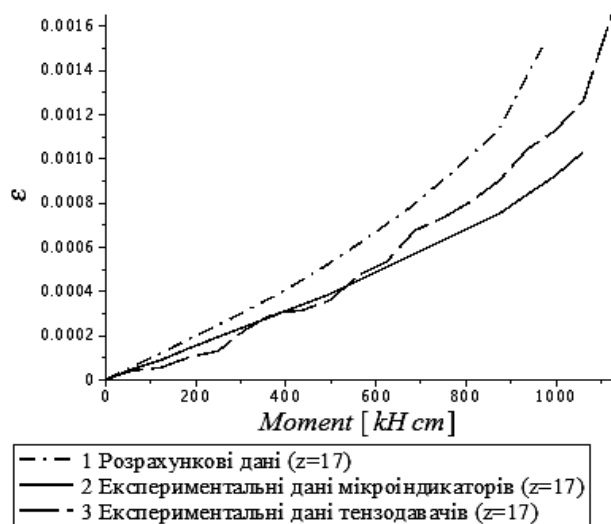


Рис. 2. Графік залежності деформацій торкрет-бетону від згинального моменту в балці Б-1-2м

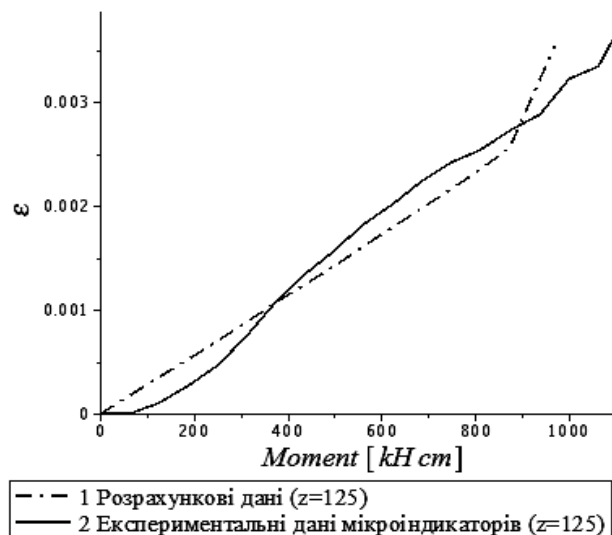


Рис. 3. Графік залежності деформацій арматури від згинального моменту в балці Б-1-2м

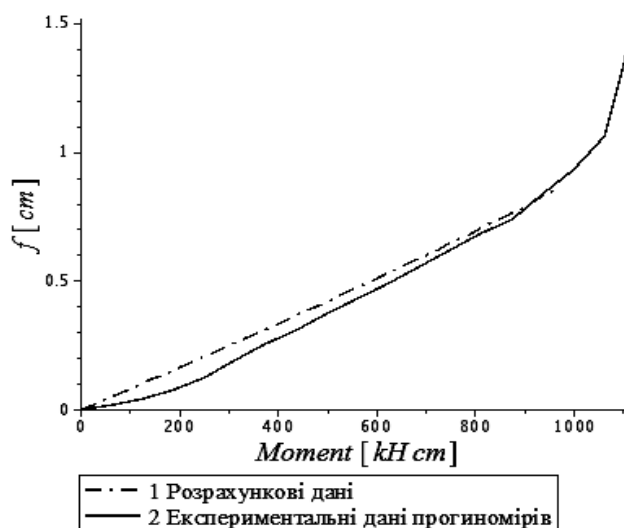


Рис. 4. Графік залежності прогину від згинального моменту в балці Б-1-2м

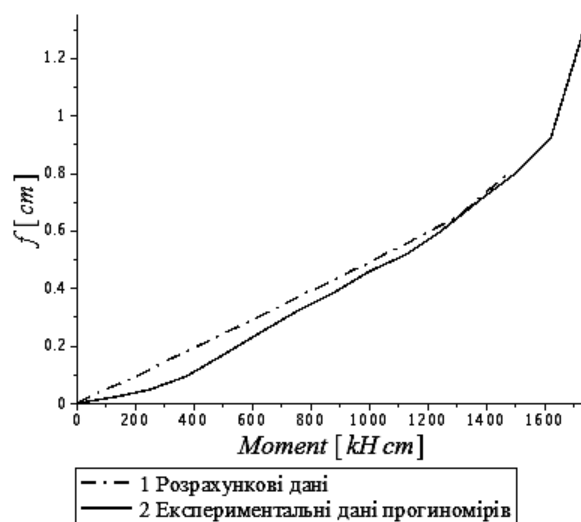


Рис. 5. Графік залежності прогину від згинального моменту в балці Б-1-6м

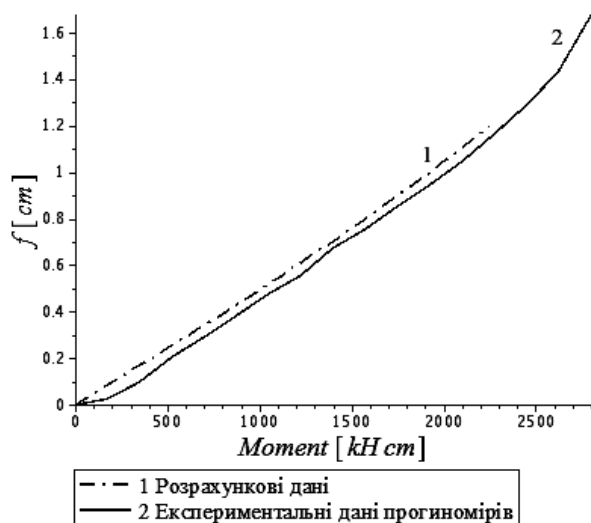


Рис. 6. Графік залежності прогину від згинального моменту в балці Б-2-0,0 м

Висновки

Аналіз проведених досліджень показує, що запропонована методика оцінки прогинів і деформацій (бетону, торкретбетону, арматури) в перерізі підсиленого залізобетонного елемента, до рівня експлуатаційних навантажень дає задовільний результат. Визначаючи прогини підсиленних залізобетонних елементів за різного рівня навантаження розбіжність становить не більше ніж 8 %.

У подальших дослідженнях необхідно розширити діапазон оцінки перерізів елементів і провести статистичний аналіз більшої кількості зразків.

1. Азимов Ф. И. Торкретные работы / Ф. И. Азимов. – М. : Стройиздат, 1979. – 71 с.
2. Бабиченко В. Я. Развитие технологии торкретирования и необходимость ее обеспечения нормативной базой / В. Я. Бабиченко, В. И. Снисаренко // Зб. наук. праць : у 2-х кн.: Будівельні конструкції. – К. : ДП НДІБК, 2013. – Вип. 78. – Кн. 2. – С. 385–390.
3. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – [Чинний від 2011-06-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 116 с. – (Національний стандарт України).
4. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Бліхарський З. Я. Підсилення залізобетонних балок нарощуванням арматури під навантаженням / З. Я. Бліхарський, Я. В. Римар // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : НУВГП, 2006. – Вип. 14. – С. 449–454.
6. Клименко Ф. Є. Прогини сталебетонних згинаних елементів з додатковою арматурою, встановленою за різних рівнів напруженого стану / Ф. Клименко, В. Барабаш, А. Крамарчук // Вісник ЛДАУ. Архітектура і с/г будівництво. – Львів, 2006. – № 7. – С. 44–54.
7. Мазурак А. В. Несуча здатність підсиленних залізобетонних балок / А. В. Мазурак, І. В. Ковалик, В. О. Михайлечко, М. В. Садовий, П. І. Амброзяк // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. – Львів, 2014. – № 781. – С. 129–134.
8. Мазурак А. В. Методика експериментальних досліджень залізобетонних балок виготовлених і підсиленних торкретуванням / А. В. Мазурак, В. М. Калітовський, М. Я. Юхим [та ін.] // Дороги і мости : зб. наук. пр. – К. : ДерждорНДІ, 2009. – Вип. 11. – С. 226–232.