

к.т.н., доцент **Мазурак А. В.**,
асистент **Ковалик І. В.**,
ст. викл. **Михайлечко В. О.**,

Львівський національний аграрний університет, Дубляни

ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНІСТІ ПОХИЛИХ ДО ПОЗДОВЖНЬОЇ ОСІ ПЕРЕРІЗІВ ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В статті розглянуто теоретико-експериментальні дослідження несучої здатності похилих до поздовжньої осі підсилених залізобетонних елементів.

Ключові слова: несуча здатність, елементи похилі до поздовжньої осі, підсилена залізобетонна балка.

In the article the theoretical and experimental study of bearing capacity inclined to the longitudinal axis reinforced concrete elements.

Keywords: bearing capacity, elements inclined to the longitudinal axis, reinforced concrete beam.

Постановка проблеми. Сучасне будівництво вимагає ефективного будівельного виробництва, підвищення якості проектних рішень, раціонального використання нових конструкцій і матеріалів типових уніфікованих рішень, обґрунтованих відповідним експериментом. Проблема досліджень залізобетонних елементів похилих до поздовжньої осі розглядалась багаторазово з висунанням великої кількості пропозицій щодо розрахунку, які відрізняються і окремими положеннями проектування і принципово різними підходами. Це призводить до використання недосконалих власних чи класичних методів розрахунку, що в одних випадках спричинює перевитрату матеріалів і ускладнення армування, а в інших – незабезпечує надійність проектованих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час досліджень залізобетонних елементів похилих до поздовжньої осі було висунуто велику кількість пропозицій щодо розрахунку, які відрізняються не лише окремими положеннями і кількісними співвідношеннями, а й принциповим підходом. В зв'язку з цим на наших теренах пройшла адаптацію не одна принципова схема

розрахунку залізобетонних конструкцій, яка дала результати, що відрізняються між собою.

Аналізуючи розвиток теорій роботи залізобетонних елементів похилих до поздовжньої осі, можна виокремити основні напрями, де: використовувалася формула Журавського та розрахунок проводився із використанням основ опору матеріалів.

Фермова аналогія Е. Мерша, котра передбачає повне сприйняття арматурою розтягуючих, а бетоном стискаючих зусиль. У розрахунках залізобетонні балки розглядалися як ферми. Вони розділялися на два пояси – стиснутий і розтягнутий.

Підходи Ф. Леонгардта представлені механізмами дії внутрішніх зусиль у балці після утворення тріщин повинен визначатися не тільки умовами рівноваги, а й деформативністю матеріалів.

М. Боришанський і О. Гвоздев запропонували дві схеми руйнування похилого перерізу, в яких дія згинального моменту M і поперечної сили V розглядалися окремо. Руйнування відбувається, коли несуча здатність бетону та всієї арматури, котра перетинає тріщину, вичерпана. На основі даних пропозицій розрахунок похилих перерізів був включений у нормативні документи СНиП 2.03.01-84*.

О.С. Залесов і Ю.А. Климов запропонували розглядати розподіл деформацій залізобетонного елемента похилого до поздовжньої осі, як дисково- зв'язкову систему із жорстких бетонних дисків (блоків), з'єднаних між собою податливими зв'язками.

Великий об'єм досліджень в питанні роботи залізобетонних конструкцій похилого до поздовжньої осі, зробили такі вчені Національного університету “Львівська політехніка”, такі як: Л.О. Дорошкевич, Б.М.Ониськів, Г.М. Гладішев.

Останніми роками проблему розглядали в роботах Алієва Р.Д., Артем'єва А. Е., Ашрабова А.А., Бабича Є.М., Барашикова А.Я., Бачинського,

М.С.Боришанського, В.Я., Васильєва П.І., Гвоздева О.О., Генієва Г.А., Дорофеєва В.С., Зайцева Ю.В., Залєсова О.С., Ільїна О.Ф., Карпенко М.І., Карпюка В.М., Клімова Ю.А., Митрофанова В.П., Пірадова О.Б., Пірадова К.А., Шеховцова І.В. Л.О. Дорошкевича, Б.М.Ониськіва, Г.М. Гладішева, Мазурака А.В., Боднарчука Т.Б. та ін.

Розрахунок з підсилення залізобетонних перерізів похилих до поздовжньої осі стало актуальним сьогодні, у зв'язку із введенням нових нормативних документів [5,6], тому таку проблему активно досліджує ряд науковців [1, 2, 3, 4].

Постановка мети і задач досліджень. Метою даної роботи є оцінка підсилених залізобетонних балочних елементів за несучою здатністю похилих перерізів з врахуванням способів підсилення. Завданням даної роботи є розробка методики експериментальних досліджень залізобетонних підсилених елементів а також проведення аналізу теоретико - експериментальних досліджень підсилених залізобетонних балок за різними методиками.

Методи досліджень. Проведення експериментальних досліджень по визначенню несучої здатності похилих перерізів проводили на основі 5 серій залізобетонних балок в кількості 23 штук.

Початковими етапами досліджень було визначення характеристик міцності бетону визначали випробуванням еталонних призмових і циліндричних зразків на стиск та арматурних стержнів на розтяг.

Дослідження залізобетонних балкових елементів полягав в визначенні несучої здатності похилих перерізів у непідсилених балок. Дослідні зразки піддавали впливу зосередженого навантаження, при кроці завантаження рівному 1/10 від руйнівного розрахункового навантаження із прикладанням до нього механічного навантаження гідравлічним домкратом потужністю 250 кН. Досягнення границі текучості арматури чи розкриття тріщин приймались за контрольні для всіх балкових зразків, які піддавались підсиленню відповідно по

наступних серіях. Процес дослідження балок виконували за статичною схемою – балка на двох опорах, прольотом $L=2100$ мм. (рис.1, 2).

Наступним етапом роботи було проведення підсилення перерізів вісімнадцяти дослідних балок.

Основним методом підсилення було нанесення підсилюючого шару бетону чи торкретбетону, який наносили на бокову поверхню основних балок (із одно, двох чи трьох сторін), в залежності від варіанту зразка, які показані на рис.3, та додатковий плоский чи П-подібний арматурний каркас.

Запропонована методика досліджень і розміщення вимірювальних приладів дозволили одержати необхідні дані для оцінки несучої здатності, балок похилих до поздовжньої осі.

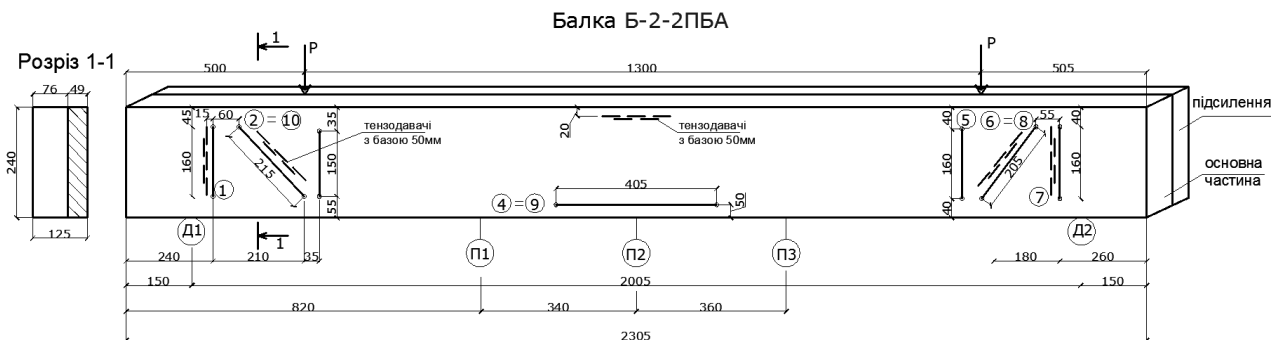


Рис.1 Схема розміщення вимірювальних приладів на дослідній балці Б-2-2ПБА, де: 1...10 - мікроіндикатори годинникового типу; Д1,Д2 – кільцеві динамометри; П1,П2,П3 - прогиноміри

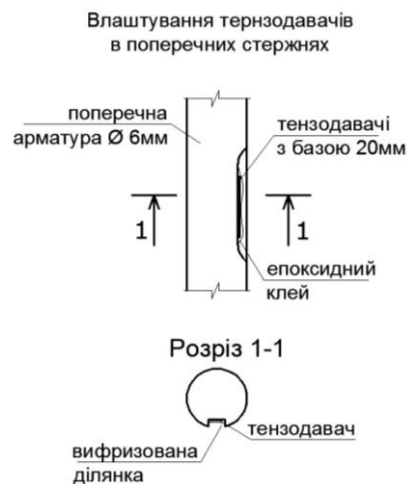


Рис.2 Влаштування тензодавачів в попередньо підготовлені отвори в поперечних стержнях

Перша серія складалася з 2 непідсилених залізобетонних зразків (Б-1-1, Б-1-2) та 2 зразків, які піддавались підсиленню (Б-1-3П, Б-1-4П) підсилені звичайним бетоном та металевими анкерами. Армування головних балок проводили плоскими арматурними каркасами з робочою повздожньою арматурою $\varnothing 22$ А400С, верхньою арматурою $\varnothing 10$ А400С, та поперечною арматурою $\varnothing 6$ А240С. Підсилення зразків першої серії проводили металевим каркасом з повздожньою робочою арматурою $\varnothing 12$ А400С, верхньою арматурою $\varnothing 6$ А240С та поперечною арматурою $\varnothing 6$ А240С. Поперечна арматура $\varnothing 6$ мм класу А240С, в основних балках встановлювалася з кроком 225 мм, а в елементах підсилення встановлювалася з кроком 120 мм. Міцність бетону дослідних балок складала $f_{ck} = 19,08$ МПа, бетон підсилення $f_{ck} = 17,95$ МПа.

Друга серія складалася з 1 непідсиленого залізобетонного зразка (Б-2-1) та 6 зразків, які піддавались підсиленню. Із них 2 зразки (Б-2-2ПБ_А, Б-2-3ПБ_А) підсилені звичайним бетоном та металевими анкерами (А – анкери $\varnothing 5$ мм), зразки (Б-2-4ПТ_{А,Г}, Б-2-5ПТ_{А,Г}, Б-2-6ПТ_{А,Г}, Б-2-7ПТ_{А,Г}) підсилені торкретуванням із використанням адгезійного грунтування (Г – адгезійне грунтування SB – Naftemulsion) та металевих об'єднуючих анкерів. Армування головних балок проводили плоскими арматурними каркасами з робочою повздожньою арматурою $\varnothing 16$ А400С, верхньою арматурою $\varnothing 10$ А400С, та поперечною арматурою $\varnothing 6$ А240С. Підсилення зразків другої серії проводили металевим каркасом з повздожньою робочою арматурою $\varnothing 12$ А400С, верхньою арматурою $\varnothing 6$ А240С та поперечною арматурою $\varnothing 6$ А240С. Поперечна арматура $\varnothing 6$ мм класу А240С, як в основних балках, так і елементах підсилення встановлювалася з кроком 120 мм. Міцність бетону дослідних балок складала $f_{ck} = 27,74$ МПа, бетон підсилення $f_{ck} = 19,5$ МПа та торкретбетон підсилення $f_{ck} = 31,00$ МПа.

Третя серія зразків складалася з 1 непідсиленого залізобетонного зразка (Б-3-1) та 4 зразків, які піддавались підсиленню. Зразки (Б-3-2ПТ_{А,Г}, Б-3-3ПТ_{А,Г}, Б-

3-4ПТ_{А,Г}, Б-3-5ПТ_{А,Г}) підсилені торкретбетоном із двох сторін. В усіх випадках підсилення використано адгезійне грунтування Koster SB –Haftemulsion та металеві об'єднуючі анкери. Армування головних балок проводили аналогічно до зразків першої серії плоскими арматурними каркасами. Підсилення зразків третьої серії проводили металевим каркасом з повздовжньою робочою арматурою Ø12 A400C, верхньою арматурою Ø6 A240C та поперечною арматурою Ø6 A240C, по обидві сторони головної балки. Поперечна арматура Ø6 мм класу A240C, як в основних балках, так і елементах підсилення встановлювалася з кроком 120 мм. Міцність бетону дослідних балок складав $f_{ck} = 20,48$ МПа, торкретбетон підсилення $f_{ck} = 19,9$ МПа.

Четверта серія зразків складалася з 1 непідсиленого залізобетонного зразка (Б-4-1) та 2 зразків, які піддавались підсиленню. Із них 2 зразки (Б-4-2ПТ_{А,Г}, Б-4-3ПТ_{А,Г}) підсилені «сорочкою» методом торкретування. В усіх випадках підсилення використано адгезійне грунтування Koster SB –Haftemulsion та металеві об'єднуючі анкери. Армування головних балок проводили аналогічно до зразків першої та другої серії плоскими арматурними каркасами. Підсилення зразків проводили металевим каркасом з повздовжньою робочою арматурою Ø12 A400C, верхньою арматурою Ø6 A240C та поперечною арматурою Ø6 A240C каркасами виготовлених в П-подібному вигляді для підсилення «сорочкою», схема армування показана на рис. 1в. Поперечна арматура Ø6 мм класу A240C, як в основних балках, так і елементах підсилення встановлювалася з кроком 120 мм. Міцність бетону дослідних балок складав $f_{ck} = 20,48$ МПа, бетон підсилення $f_{ck} = 19,9$ МПа.

Пята серія складалася з 4 зразків, які піддавались односторонньому підсиленню. Чотири зразки (Б-5-1П, Б-5-2П, Б-5-3П, Б-5-4П) підсилені звичайним бетоном та металевими анкерами. Армування головних балок проводили плоскими арматурними каркасами з робочою повздовжньою арматурою Ø16 A400C, верхньою арматурою Ø10 A400C, та поперечною арматурою Ø6 A240C. Підсилення зразків п'ятої серії проводили металевим

каркасом з поздовжньою робочою арматурою $\varnothing 12$ A400C, верхньою арматурою $\varnothing 6$ A240C та поперечною арматурою $\varnothing 6$ A240C. Поперечна арматура $\varnothing 6$ мм класу A240C, як в основних балках, так і елементах підсилення встановлювалася з кроком 120 мм. Міцність бетону дослідних балок складала $f_{ck} = 18,24$ МПа, бетон підсилення $f_{ck} = 12,5$ МПа та торкретбетон підсилення $f_{ck} = 31,00$ МПа. На рис. 3 показані основні схеми підсилення поперечного перерізу експериментальних зразків.

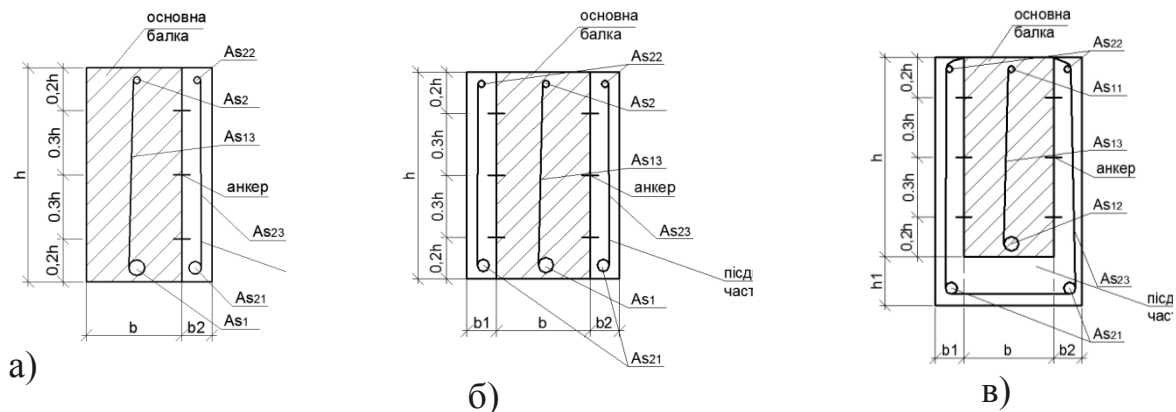


Рис.3 Схеми підсилення бокової поверхні дослідних зразків:

а) першої серії: Б-1-3П_А, Б-1-4П_А; Б-2-4ПТ_{А,Г}, Б-2-5ПТ_{А,Г}, Б-2-6ПТ_{А,Г}, Б-2-7ПТ_{А,Г}; Б-5-1П_А, Б-5-2П_А, Б-5-3П_А, Б-5-4П_А б) другої серії: Б-3-2ПТ_{А,Г}, Б-3-3ПТ_{А,Г}, Б-3-4ПТ_{А,Г}, Б-3-5ПТ_{А,Г}; в) третьої серії: Б-4-2ПТ_{А,Г}, Б-4-3ПТ_{А,Г};

Результати досліджень. Проведений аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень підсилених залізобетонних балок, значення яких подані в табл.1.

Аналізуючи виконані дослідження з експериментальними балками в залежності від кроку, діаметру прийнятої поперечної та поздовжньої арматури, класу бетону, плеча прикладання зосередженої сили, зробили аналіз теоретичного та дослідного матеріалу. Для цього детально розглядали окремо кожен серію дослідних балок. В роботі розрізняли фізичне руйнування балок (внаслідок руйнування чи сколювання бетону, текучості поздовжньої арматури, втрати зчеплення арматури з бетоном, розриву арматури - що унеможливило подальше навантаження балки) і несучу здатність, яка дорівнює навантаженню, при якому напруження хоча б в одному хомуті перевищувала межу текучості.

Таблиця 1

Експериментальні та розрахункові значення несучої здатності похилих перерізів підсилених залізобетонних елементів

Шифр балок	Результ. дослідних балок V_{Rd} , кН	Теор. результ. отримані за ДБН В.2.6-98:2009 V_{Rd} , кН	Теор. результ. отримані за СНиП 2.03.01-84* V_{Rd} , кН	Теор. результ. отримані за америк. норм. АСІ 318-95	Теор. результ. отримані за методикою Л.Дорошкевича	Віднош. ДБН та Дослід. балки $\frac{\text{Дос.балк.} - \text{ДБН.}}{\text{Дос.балк.}}$	Віднош. СНиП та дослід. балки $\frac{\text{Дос.балк.} - \text{СНиП}}{\text{Дос.балк.}}$	Віднош. між АСІ та дослід. балки $\frac{\text{Дос.балк.} - \text{АСІ}}{\text{Дос.балк.}}$	Віднош. між теор. значеннями Дорошкєв/ та дослід./ балками $\frac{\text{Дос.балк.} - \text{Дорошкєв}}{\text{Дос.балк.}}$
I серія									
Б-1-1	45,0	17,25	39,81	55,2	30,7	61%	11%	22%	31%
Б-1-2	52,5	17,25	39,81	55,2	30,7	67%	24%	5%	41%
Б-1-3П _A	68,0	49,6	64,3	73,6	54,9	27%	5%	8%	19%
Б-1-4П _A	68,5	49,6	64,3	73,6	54,9	28%	5%	7%	20%
II серія									
Б-2-1	62,5	27,66	58,9	64,7	40,8	56 %	6%	4%	34%
Б-2-2ПБ _A	107,9	55,32	98,2	107,1	71,4	48 %	9%	1%	29%
Б-2-3ПБ _A	107,4	55,32	98,2	107,1	71,4	48%	9%	1%	28%
Б-2-4ПТ _{A,Г}	109,0	55,32	102,4	107,1	71,4	49%	6%	2%	35%
Б-2-5ПТ _{A,Г}	109,9	55,32	102,4	107,1	71,4	49%	7%	3%	36%
Б-2-6ПТ _{A,Г}	109,5	55,32	102,4	107,1	71,4	48%	7%	2%	35%
Б-2-7ПТ _{A,Г}	111,1	55,32	102,4	107,1	71,4	50 %	7%	4%	37%
III серія									
Б-3-1	58,7	27,66	53,6	60,8	40,6	53 %	9 %	4%	28%
Б-3-2ПТ _{A,Г}	140,3	82,98	132,0	138,6	102,3	41%	6 %	1%	27%
Б-3-3ПТ _{A,Г}	141,9	82,98	132,0	138,6	102,3	42%	7 %	3%	27%
Б-3-4ПТ _{A,Г}	142,4	82,9	132,0	138,6	102,3	42%	7 %	2%	28%
Б-3-5ПТ _{A,Г}	143,1	82,9	132,0	138,6	102,3	42%	8 %	3%	29%
IV серія									
Б-4-1	58,6	27,66	53,5	60,7	41,1	53 %	9 %	4%	30%
Б-4-2ПТ _{A,Г}	148,6	83,74	134,2	144,2	103,1	44%	10 %	3%	31%
Б-4-3ПТ _{A,Г}	149,8	83,74	134,2	144,2	103,1	44%	10 %	3%	32%
V серія									
Б-5-1П _A	83,2	60,25	77,5	86,3	70,2	27%	7%	4%	16%
Б-5-2П _A	84,5	60,25	77,5	86,3	70,2	29%	8%	2%	17%
Б-5-3П _A	83,9	60,25	77,5	86,3	70,2	28%	8%	2%	16%
Б-5-4П _A	85,0	60,25	77,5	86,3	70,2	29%	9%	3%	17%

В результатах досліджень залізобетонних зразків всіх серій, в яких для підсилення було вибрано звичайний бетон та забезпеченням сумісної роботи старого і нового бетону проводили металевими анкерами, можна було спостерігати часткове розшарування між шарами бетону в вигляді поздовжніх тріщин при рівні 0,75- 0,8 від руйнівного значення на приопорних ділянках зразків. В усіх інших зразках які були підсилені торкретбетоном із використанням металевих анкерів та адгезійного ґрунтування розшарування між шарами основного та посилюваного бетону не проходило.

Незважаючи на несиметричність підсилення зразки першої, другої та п'ятої серії, результати теоретичних розрахунків у всіх випадках показали задовільні результати.

Провівши теоретико-експериментальні дослідження несучої здатності елементів похилих до поздовжньої осі за різними методиками прийнятими в різних нормативних документах можна побачити, що за діючими нормами теоретичні значення в порівнянні із експериментальними створюють великий запасом міцності у межах від 56% для звичайних балок, і 41-50% для балок із підсиленням. Фермова модель розрахунку ДСТУ Б В.2.6-156:2010 занижує несучу здатність, оскільки не враховує внесок у несучу здатність розтягнутого бетону. Проаналізувавши результати розрахунку експериментальних зразків інших авторів, які займаються дослідженням несучої здатності елементів похилих до поздовжньої осі, значення отримані ними також показують заниження розрахункової несучої здатності 45-60%.

Значення отримані за СНиП показали більшу збіжність результатів в межах 6-9% для зразків без підсилення та 6-10% для зразків із підсиленням. Варто відмітити що отримані значення показують високу статистичну збіжність, яка на високому рівні описує несучу здатність конструкцій.

Отримані значення за розрахунком Л.Дорошкевича дали збіжність результатів в межах 34% для зразків без підсилення та 36% для зразків із підсиленням.

Результати американських нормативних документів АСІ 318-95 показали збіжність результатів в межах 4-22% для зразків без підсилення та 1-8% для зразків із підсиленням, проте значення показують перевищення експериментальних даних над теоретичними, що свідчить про неможливість точно визначення реальної кінцевої несучої здатності.

Висновки. За результатами теоретико-експериментальних досліджень несучої здатності перерізів похилих до поздовжньої осі, можна побачити значну переоцінку між теоретичними значеннями похилих перерізів за новим ДБН В.2.6.-98:2009 над реальними результатами отриманими під час випробування дослідних зразків в лабораторних умовах, що становить 41-56%, при використанні розрахунку ДСТУ Б В.2.6-156:2010 доцільно враховувати внесок бетону у загальну міцність залізобетонних елементів похилих до поздовжньої осі.

Результати розрахунку отриманих за методикою СНиП 2.03.01-84*, як не підсилених так і підсиленних балок має задовільну збіжність з експериментальними значеннями в межах 6-10%.

При використанні американських нормативних документів АСІ 318-95 збіжність результатів становить 1-22%.

На нашу думку, потрібне проведення експериментальних досліджень залізобетонних елементів, та порівняння їх з методикою розрахунку, яка буде враховувати всі складові напруженого стану конструкції, так як на даний момент методики діючих нормативних документів створює значну переоцінку несучої здатності.

Література

1. Бабич Є. М. Методика випробування підсиленних за похилими перерізами згинальних залізобетонних елементів при мало циклових навантаженнях високого рівня / Є. М. Бабич, С. В. Мельник // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: Міжвід наук-техн зб К. : ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74, кн.1. – С.172-179.

2. Барашиков А. Я. Экспериментальні дослідження згинаних залізобетонних елементів, підсилених різними способами / А. Я. Барашиков, О. П. Сумак, Б. А. Боярчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівель і споруд : зб. наук. пр. – Рівне : РДТУ, 2000. – №5 . – С. 294-297.

3. Міцність та деформативність залізобетонних балок, підсилених після впливу агресивного середовища / З. Я. Бліхарський, Р. В. Вашкевич, Р. Є. Хміль та ін. // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: Міжвід наук-техн зб К. : ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74, кн.2. – С.28-35.

4. Гольшев А. Б. Проектирование усиленных железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / А. Б. Гольшев, И. Н. Ткаченко. – К. : Логос, 2001. – 172 с.

5. 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).

6. 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).

7. АСІ 318-95