

УДК 624.012. 035; 693.613.7

## МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ ТОРКРЕТУВАННЯМ, ЗА РІЗНИХ РІВНІВ НАВАНТАЖЕНЬ

*А. Мазурак, к.т.н., І. Ковалик, аспірант,  
В. Михайлечко, ст. викладач, П. Амброзьяк, аспірант  
Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Різноманітне поєднання причин необхідності підсилення, а також тип і стан будівельних конструкцій, зумовлюють використання різних способів підсилення. Монолітний бетон і залізобетон часто використовують для підсилення залізобетонних конструкцій влаштуванням обойм, сорочок і одного багатостороннього нарощування. Ці методи дають змогу істотно збільшити несучу здатність підсилюваних конструкцій, забезпечити належну стійкість до впливу агресивного середовища, відповідно, продовжити термін експлуатації.

Товщина шару залежить від ступеня підсилення чи ремонту і переважно не перевищує 300 мм. Мінімальну товщину за укладання бетону вібруванням приймають не менше ніж 70–80 мм, а в разі вкладання торкретуванням – не менше за 30–50 мм.

Теоретико-експериментальні дослідження залізобетонних конструкцій, які потребують ремонту чи підсилення, показали, що вони знаходяться у складному напружено-деформованому стані. Залежно від ділянки підсилення чи ремонту залізобетон може бути підданий деформаціям розтягу чи стиску, тобто на поверхнях старого і нового бетону будуть виникати зсувальні зусилля. Тому важливим стає процес забезпечення сумісної роботи шарів нового і старого бетону з урахуванням залишкових напружень до проведення підсилення чи ремонту [1; 3; 5; 6].

Технологія торкретування має суттєві переваги, зокрема можливість нанесення торкрет-бетону на будь-які поверхні, розташовані в будь-якій площині, завдяки високим адгезійним властивостям торкрет-бетону і його самонесучій здатності; хорошу адгезію (зчеплення) торкрет-бетону з поверхнею завдяки набризгу з високою швидкістю і під високим тиском (самоущільнення шару, що наноситься); можливість нанесення шарів різної товщини залежно від наявних конкретних умов і завдань; можливість армування торкрет-бетону (традиційна арматура або армування фіброю); можливість швидкого зведення несучої конструкції без використання форм (опалубки) і тривалих термінів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для підготовки і вивчення зазначеної проблеми було проаналізовано низку літературних джерел, в яких розглянуті різні методики дослідження залізобетонних елементів, у тому числі підсилені різними способами і матеріалами [1-3].

Дослідження залізобетонних конструкцій подані у працях Є.М. Бабича, А.Я. Барашикова, З.Я. Бліхарського, С.В. Бондаренко, О.І. Валового, О.Б. Голишева, В.Г. Кваші, Г.А. Молодченко, Л.А. Мурашко та інших. На основі

цих досліджень були розглянуті ефективні конструктивні рішення з ремонту чи підсилення залізобетонних конструкцій.

**Постановка завдання.** Наше завдання – оцінка несучої здатності, деформативності, тріщиностійкості підсилених залізобетонних елементів з урахуванням технології підсилення, розробка методики і проведення експериментальних досліджень підсилених ЗБЕ з урахуванням залишкових напружень до проведення підсилення.

**Проведення експериментальних досліджень.** Розрахунок і конструювання експериментальних балок проводили на основі аналізу літературних джерел, чинних норм і досвіду проведення експериментальних досліджень [2; 3].

Для відпрацювання методики було виготовлено три серії експериментальних залізобетонних балок розмірами (Lxhxb) 2300x200x80. Робочий проліт дослідних балок становив 2100 мм. Балки підсилювалися різними способами залежно від серії (рис. 1).

З метою визначення характеристик несучої здатності, деформативності, тріщиностійкості й виявлення впливу рівня навантаження на напружено-деформований стан підсилених експериментальних балок було проведено їх випробування на згин короткочасним зосередженим навантаженням у третинах прольоту зрізу. Рівень навантаження елементів за підсилення торкретуванням становив 0, 0,32, 0,45, 0,63 від руйнівного за текучістю арматури балок.

Навантаження дослідних зразків практично всіх серій відбувалось у два етапи. Перший етап навантаження – до підсилення, другий – після підсилення балок.

У першому етапі зразки, які доводили до проектного рівня (0,32–0,63), навантажували на стенді зосередженими силами в третині прольоту зрізу, за допомогою тяжів через траверсу і силові пружини з використанням різьбового пристрою [4]. Пружини і різьбові затяжки попередньо протаровані, а також з метою додаткового контролю за навантаженням використовувався важільний ключ з динамометром (рис. 2).

Навантаження прикладали ступенями  $\Delta F < 0,05F_{\max}$  з витримкою після кожного ступеня 25 хв. З них 15 хв. відводили для стабілізації деформацій – до знімання показів приладів, і 10 хв. – під час знімання показів.

Під час навантаження фіксували прогини балки, деформації бетону і арматури, проводили контроль за моментом утворення та розвитку тріщин. Процес розвитку тріщин визначали візуально, та за допомогою мікроскопа МПБ-2 фіксували величину.

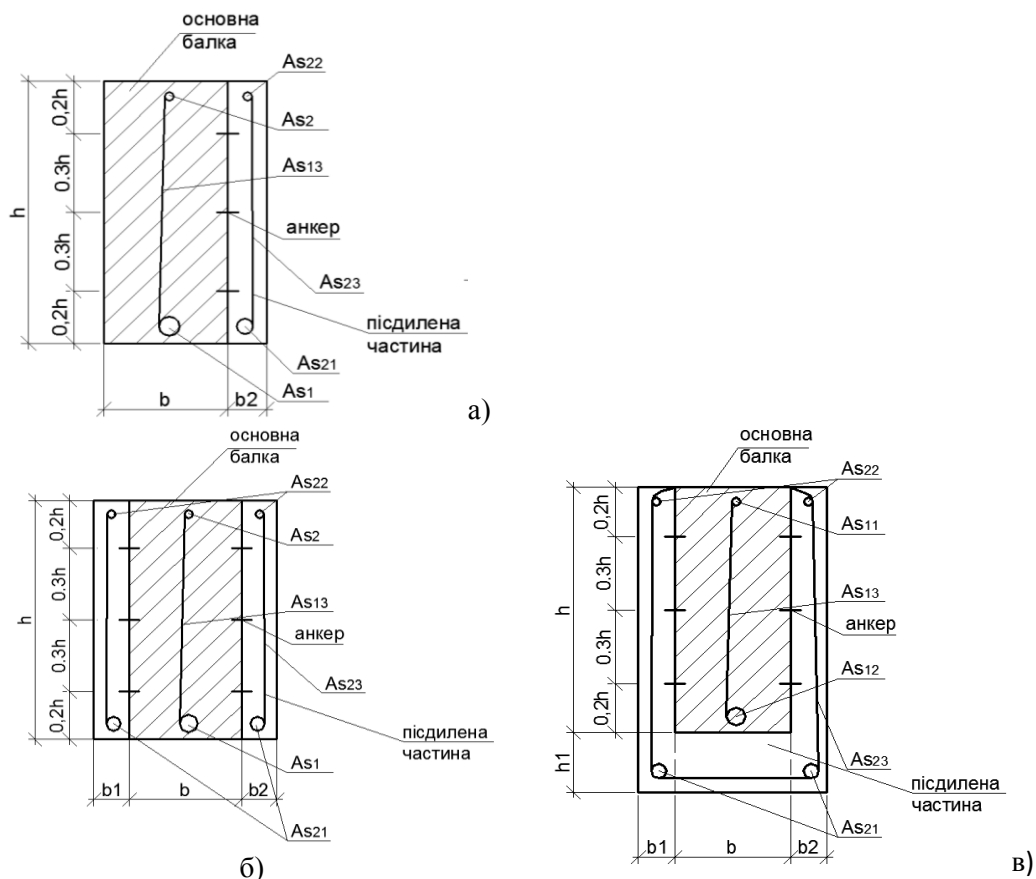


Рис. 1. Схеми підсилення дослідних зразків: а) серія -1; б) серія -2; в) серія -3.

Після періоду витримки (40–226 діб) і контролю за рівнем навантаження (підтягування різьбової затяжки), балку разом із пристроєм розміщували у зручному місці, влаштовуючи навколо ділянки підсилення (для серії 1, 2), рамне обмеження під кутом  $45^\circ$ , з метою запобігання краевого ефекту, і піддавали торкретуванню. Після дозрівання торкретбетону через три–п’ять діб підсилену балку обробляли й вирівнювали підрізкою її краї (рис. 3). Постійно наглядаючи за дослідними зразками, за 35–77 діб балки разом із пристроєм влаштовували на стенд.

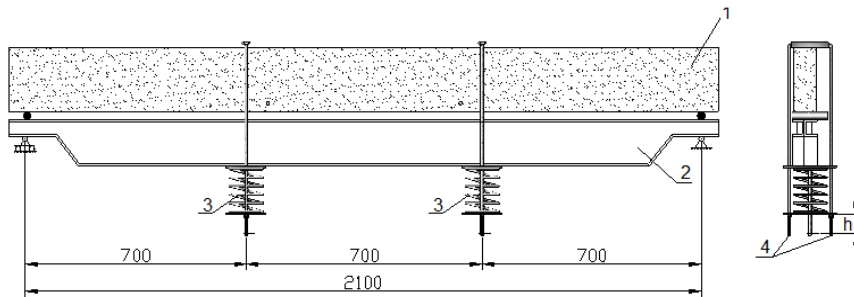


Рис. 2. Схема для створення навантаження на дослідну балку:  
 1 – залізобетонна підсилювана балка; 2 – металева траверса; 3 – пружина;  
 4 – різьбова затяжка.



Рис. 3. Підготовка підсиленої балки серії 1 після дозрівання бетону.

Другий етап досліджень відбувався безпосередньо на дослідному стенді (рис. 4).

Зосереджені сили прикладали за допомогою гідравлічного домкрата потужністю 250 кН та розподільчої траверси. Значення зусилля контролювали зразковим динамометром, а також двома кільцевими динамометрами, розташованими на опорах балок. При цьому один динамометр був рухомою опорою, спроможний переміщатися в горизонтальному напрямі, інший – нерухомий.

Навантаження прикладали ступенями  $\Delta F < 0,05F_{\max}$  до утворення тріщин і далі  $\Delta F < 0,1F_{\max}$  з витримкою після кожного ступеня 20 хв. З них 10 хв. відводили

для стабілізації деформацій – до знімання показів приладів, і 10 хв. – під час знімання показів.



Рис. 4. Дослідний стенд експериментальної балки серії 1.

Прогини балок вимірювали за допомогою трьох індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Індикатори кріпили на спеціальній металевій рамі, яка зберігала у процесі деформування балки свою геометричну вісь незмінною і була базисною лінією, від якої відраховували прогини. Незмінність базисної осі забезпечували точковим кріпленням на рівні нейтральної осі вище від опор.

Деформації розтягу і стиску бетону вимірювали за допомогою 8–10 шт мікроіндикаторів годинникового типу з поділками шкали 0,001 мм, на спеціальних компараторах, наклеєних на бокових гранях балки з базою 200 – 400 мм. По одному з кожного боку закріплювали на рівні 115 мм від верхньої грані балки, що дало змогу характеризувати розтягнуту зону бетону. Четвертий рівень – на відстані 100, третій – 60, другий – 20 мм у межах нейтральної осі, а також на верхній грані балки. Деформації бетону в зоні дії максимального згинального моменту за висотою перерізу вимірювали електричними тензодавачами з базою вимірювання 50 мм. Їх наклеювали «ланцюжками» за висотою перерізу по осях мікроіндикаторів і на зовнішній верхній грані балки.

Деформації арматури вимірювали також за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу. Їх фіксували на спеціальних тримачах, прикріплених до виносних стрижнів. Виносні стрижневі відводи були закріплені контактним зварюванням до поздовжньої робочої арматури, під час виготовлення каркасів.

Для виготовлення балок на виносні відводи були натягнуті гумові ущільнювачі, які після схоплення бетону в балках забирали, що забезпечило

утворення невеликих порожнин, створених навколо них на всю глибину захисного шару бетону, відповідно, вільне переміщення з робочою арматурою.

Під час випробувань проводили контроль за моментом тріщиноутворення і розвитком тріщин. З метою якісного спостереження за розвитком тріщин на торкретованій поверхні в багатьох балках поверхню фарбували три-чотири рази водоемульсійною густою фарбою або фінішною гіпсовою шпаклівкою. Момент тріщиноутворення визначали за допомогою мікроскопа МПБ-2. Додатковою інформацією появи тріщин були «стрибки» або «випадання» в показах тензодавачів нижньої зони, через які вона пройшла. За допомогою мікроскопа МПБ-2 вимірювали ширину розкриття тріщин. Процес проходження і фіксації розвитку тріщин відбувався після кожного ступеня навантаження, результати заносили в журнал випробувань.

**Висновки.** Запропонована методика дала змогу оцінити характеристики несучої здатності тріщиностійкості, деформативності підсилених торкретуванням балкових зразків з урахуванням залишкових напружень до підсилення.

#### **Бібліографічний список**

1. Бліхарський З. Я. Експериментально-теоретичні дослідження міцності залізобетонних балок, підсилені під навантаженням / З. Я. Бліхарський, Я. В. Римар, Д. І. Дубіжанський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" : теорія та практика будівництва. – 2007. – № 600. – С. 19-22.
2. Мазурак А. В. Несуча здатність попередньо напружених сталобетонних балок на ділянках дії поперечних сил : монографія / А. В. Мазурак, Ф. Є. Клименко, В. М. Барабаш. – Львів : ЛДАУ, 2000. – 161 с.
3. Методика експериментальних досліджень підсилені залізобетонних елементів за різних рівнів навантажень / А. В. Мазурак, В. М. Калітовський, І. В. Ковалик та ін. // Вісник Львівського національного аграрного університету : архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2011. – № 12. – С. 83 – 88.
4. Пат. на корисну модель № 74297 У Україна, МПК G01N 3/00. Пристрій для створення тривалого регульованого навантаження при дослідженні балочних елементів, підсилені торкретуванням / А. Мазурак, І. Ковалик, В. Михайлечко, В. Калітовський; заявник та власник пат. Львівський національний аграрний університет. – № u 2012 03720 ; заявл. 27.03.12 ; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.
5. Розрахунок міцності залізобетонних елементів підсилені за різних рівнів навантаження / А. В. Мазурак, Р. А. Шмиг, І. В. Ковалик, М. В. Садовий // зб. наук. пр. у 2-х кн. : Будівельні конструкції. – К. : ДП НДІБК, 2013. – Вип. 78, кн. 2. – С. 499–504.
6. Салійчук Л. В. Експериментальні дослідження та теоретичне обґрунтування міцності і анкерування в бетоні вкесієних стержневих анкерів при зсуві / Л. В. Салійчук // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону : Міжвід. наук.-техн. зб. – 2011. Вип. 74, кн. 2. – К. : ДП НДІБК, 2011. – С. 494-506.

**Мазурак А., Ковалик І., Михайлечко В., Амброзяк П. Методика експериментальних досліджень залізобетонних елементів підсиленних торкретуванням, за різних рівнів навантажень**

На підставі проведених експериментальних досліджень запропонована методика оцінки несучої здатності, деформативності і тріщиностійкості залізобетонних конструкцій, підданих підсиленню торкретуванням за різних рівнів навантаження.

**Ключові слова:** несуча здатність, деформативність, тріщиностійкість, міцність зчеплення, дослідні прилади, рівень навантаження.

**Mazurak A., Kovalyk I., Mihaylechko V., Ambroziak P. Methods experimental experimental study concrete elements reinforced concrete spraying at different levels of load**

On the basis of experimental studies of the technique of evaluating the bearing capacity, deformability and fracture toughness of reinforced concrete structures subjected to strengthen gunning at different load levels.

**Key words:** bearing capacity, deformability, fracture toughness, adhesion strength, research instruments, load level.

**Мазурак А., Ковалик І., Михайлечко В., Амброзяк П. Методика експериментальних досліджень залізобетонних елементів, усиленних торкретированием при разных уровнях нагружения**

На основании проведенных экспериментальных исследований предложена методика оценки несущей способности, деформативности и трещиностойкости железобетонных конструкций, подверженных усилению торкретированием при разных уровнях нагрузки.

**Ключевые слова:** несущая способность, деформативность, трещиностойкость, прочность сцепления, исследовательские приборы, уровень нагрузки.