

УДК 624.0.12.

МОМЕНТ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В БАЛКАХ, ВІДНОВЛЕНИХ ІН'ЄКЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

МОМЕНТ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В БАЛКАХ, ВОСТАНОВЛЕННЫХ ИН'ЕКЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

CRACK APPEARANCE IN BEAMS, RESTORED BY MEANS OF INJECTION METHODS

Лучко Й.Й., д.т.н., професор (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім.. академіка В.Лазаряна), **Гайда О.М. , асистент** (Національний університет «Львівська політехніка»)

Лучко Й.Й., д.т.н., професор (Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта им.. академика В.Лазаряна), **Гайда О.М.,** (Национальный университет «Львовская политехника»)

Luchko J.J., doctor of science, professor (Dnipropetrovsk National University of Railway Transport), **Gajda O.M.,** (Lviv Polytechnic National University)

В статті проаналізовано момент тріщиноутворення залізобетонних балок, відновлених за допомогою просочення ін'єкційними поліуретановими смолами. Проведено порівняння моментів тріщиноутворення цих балок до руйнування та після руйнування та відновлення з допомогою просочення. Показано, що моменти тріщиноутворення відновлених балок складають 85% від прогинів цих же балок, які піддавались навантаженню до просочення.

В статье проанализированы момент трещинообразования железобетонных балок, восстановленных с помощью пропитки инъекционными полиуретановыми смолами. Проведено сравнение моментов трещинообразования этих балок до и после разрушения и восстановления с помощью пропитки. Показано, что моменты трещинообразования восстановленных балок составляют 85% от прогибов этих же балок, при нагрузке до пропитки.

The paper analyzes the crack moments of reinforced concrete beams, restored by treatment injecting polyurethane resins. A crack moments comparison of the beams before and after the destruction and recovery is fulfilled. It is shown, that crack moments of restored beams conclude 85% of the crack moments of the same beams, which were loaded before injecting.

Ключові слова:

ін'єкційний матеріал, момент тріщиноутворення, просочення.
инъекционный материал, момент трещинообразования, пропитка.
injecting polyurethane resins, crack moments, saturation.

Актуальність проблеми. Проектні та технологічні помилки, експлуатаційні та природні впливи часто призводять до появи дефектів в залізобетонних конструкціях, втрати ними несучої здатності [1, 2.]. Водночас, часті зміни цільового призначення приміщень, реконструкція та перепланування призводять до значних змін у навантаженні та вимогах до конструкцій [3]. Часто такі задачі вдається вирішити за допомогою сучасних ін'єкційних матеріалів, просоченням та відновленням бетону та залізобетону. Так, наприклад, виконувалось посилення опор насосної станції «Опори» [1], посилення конструкцій готелю «Прикарпаття» [2], посилення залізобетонного каркасу житлового будинку в м. Києві на Чоколівському проспекті [3] та ін.

Просочення та відновлення бетону та залізобетону вивчало багато дослідників, результати яких узагальнено в численних монографіях [4 – 6] та ін. Є декілька способів підвищення міцності та тріщиностійкості існуючих або зруйнованих конструкцій, які розглянемо нижче.

Аналіз та постановка задачі. Втрата експлуатаційних характеристик залізобетонних конструкцій, спричинена їх старінням, недоліками експлуатації, технологічними помилками при виготовленні та ін. ставить перед інженерами задачі часткового та повного відновлення цих конструкцій в процесі їх експлуатації[1-3].

В працях [7-10] розглядається можливість розв'язання вище згаданої проблеми, тобто відновлення несучої здатності попередньо напружених та звичайних залізобетонних конструкцій за допомогою технології просочення ін'єкційними матеріалами на поліуретановій основі.

З цією метою була розроблена методика та програма експериментальних досліджень залізобетонних балок. Описана конструкція та технологія виготовлення зразків, програма експериментальних досліджень балкових елементів. [7]. Результати дослідження роботи балок на мало циклову втому наведені в [8].

На подальшому етапі повністю та частково зруйновані залізобетонні балки прямокутного перерізу відновлювались сучасними ін'єкційними технологіями. Конструкція та технологія відновлення дослідних зразків описані в [9].

Мета даної роботи дослідити ступінь відновлення зруйнованих та частково зруйнованих балок, встановити можливість підвищення несучої здатності нових конструкцій, та застосування ін'єкційних технологій та методів для відновлення міцності існуючих натурних об'єктів.

Опір утворенню нормальних тріщин. В процесі дослідження балок були отримані дані про зусилля, при яких утворюються повторні тріщини, нормальні до поздовжньої осі елементів, про розкриття вказаних тріщин і відстань між ними. Результати таких досліджень мають суттєвий інтерес через практичну повну відсутність експериментальних даних по тріщиностійкості залізобетонних згинаних елементів із трикомпонентних бетонів після відновлення їх несучої здатності просоченням.

В процесі дослідження поява тріщин фіксувалось за допомогою мікроскопа. Крім того, навантаження тріщиноутворень визначалась (при обробці експериментальних даних) за допомогою залежності деформацій бетону на рівні розтягнутої грані балки, деформацій розтягнутої арматури і прогинів балок від зусилля діючого на зразок.

Характерні графіки середніх відносних деформацій розтягнутої арматури і криві прогинів наведені в [10].

Характерні залежності деформації бетону розтягнутої грані для перерізів з тріщинами і між тріщинами (лінії 1 і 2) в залежності від рівня навантажень, мають типовий характер [10], крива деформації в перерізі з тріщиною має невеликий перелом в початковій стадії, який умовно приймався за навантаження тріщиноутворення. Графіки деформації в перерізі між тріщинами мають нахил до осі ординат відносно менший, ніж графіки для перерізів з тріщинами. Після появи перших тріщин деформації в перерізах між тріщинами з підвищенням навантаження дещо зменшуються, або практично не змінюються.

Повторне розкриття тріщин в зоні чистого згину відбувалась по осях існуючих тріщин від попереднього руйнування балок, та супроводжувалась, зміною показів індикаторів і прогиномірів. На графіках середніх прогинів відзначався незначний перелом.

В окремих працях [9,10,11], присвячених питанням тріщиноутворення в розтягнутій зоні залізобетонних елементів, відзначалось, що при візуальному визначенні моменту появи тріщин, навантаження тріщиноутворення отримуються дещо завищеними в порівнянні з знайденими на основі вимірів деформації бетону на рівні розтягнутої арматури.

В даних дослідах , як і в дослідах інших дослідників в якості фактично тріщиноутворюючого приймалось навантаження, при якому на рівні розтягнутої грані балок фіксувалися розриви.

При цьому в перерізах з тріщинами розрив відбувався по тілі ін'єкційного матеріалу та розвиток тріщини відбувався в межах існуючих тріщин від попереднього навантажування, що були склеєні при просоченні та відновленні несучої здатності.

Результати визначення умовних навантажень утворення нормальних тріщин наведені в табл.1. з якої видно, що отримані значення M_{cr} близькі між собою. Зі збільшенням міцності бетону опір утворенню нормальних тріщин

практично не міняється. Збільшення ж кількості розтягнутої арматури помітно на величину $M_{стг}$ не впливає.

З табл. 1. також видно, що навантаження тріщиноутворення у відновлених просоченням балках складає $0,9M_{стг}$ від навантаження тріщиноутворення при первинному навантаженні досліджуваних балок.

Перша серія балок, табл.1, (п.1-4)- не руйновані, з бетону класу В25 без попереднього напруження з просоченням верхньої зони. Моменти тріщиноутворення просочених балок (ОБЗ-1-0, ОБЗ-1-1) та не просочених (ОБЗ-1-2, ОБЗ-1-3) в даному досліді були близькими. Співвідношення моментів тріщиноутворення знаходиться на рівні 0,98. Впливу на момент тріщиноутворення просочення балок в даному випадку не чинить, відхилення між значеннями моментів тріщиноутворення знаходилось в межах 1-2 %, що швидше за все пояснюється неточностями досліді (неоднорідність бетону в різних балках, похибка в показках приладів під час експерименту і т.п).

Друга серія балок, табл.1, (п.5-7)- попередньо зруйновані, з бетону класу В25 без попереднього напруження з просоченням верхньої зони балки. Глибина просочення тіла бетону у верхній зоні балок становить в межах 1-5 мм. Під час просочення тріщини в зоні чистого згину заповнилися ін'єкційним матеріалом на 70% та відповідно на момент випробування були частково склесні. Моменти тріщиноутворення відновлених просоченням балок (1БЗ-1-1,1БЗ-1₃-2,1БЗ-1-3) склали 87-92% від моментів тріщиноутворення при попередньому випробуванні.

Третя серія балок табл.1, (п.8-13) – попередньо зруйновані, з бетону класу В25 з попереднім напруженням з просоченням верхньої та нижньої зони балки. Глибина просочення тіла бетону у верхній зоні балок становить в межах 1-5 мм. В нижній та верхній зонах балок відбулось заповнення та склеювання існуючих тріщин та дефектів. В результаті просочення відбулося суттєве відновлення несучої здатності просочених балок. Моменти тріщиноутворення відновлених просоченням балок (1БН- 1₃-1—1БН-1₃-6) склали 88-92% від моментів тріщиноутворення при попередньому випробуванні цих балок.

Четверта серія балок табл.1, (п.14-16) – попередньо зруйновані, з бетону класу В35 без попереднього напруження, з просоченням верхньої та нижньої зон балки. Глибина просочення тіла бетону у верхній зоні балок становить в межах 1-4 мм. В нижній та верхній зонах балок відбулось заповнення та склеювання існуючих тріщин та дефектів. В результаті просочення відбулося суттєве відновлення несучої здатності просочених зразків. Моменти тріщиноутворення відновлених просоченням балок (2БЗ-1-1—1БЗ-1-3) склали 86-91% від моментів тріщиноутворення при попередньому випробуванні цих балок.

Таблиця 1

Навантаження тріщиноутворення

№	Шифр балок	H , мм	b , мм	h_0 , мм	$M_2^{експ}$ $кН \cdot м$	$M_1^{експ}$ $кН \cdot м$	$M_2^{теор}$, $кН \cdot м$	M_{crc}^1 $кН \cdot м$	M_{crc}^2 $кН \cdot м$	$M_{crc}^{теор}$	$\frac{M_{crc}^2}{M_{crc}^1}$
Бетон В25 Нові балки без попереднього напруження											
1	0БЗ-1-0	21,8	12,5	17,4		10,73	9,4566	8,977			0,94
2	0БЗ-1-1	21,8	12,3	17,3		11,23	9,4566	8,977			0,99
3	0БЗ-1-2	21,9	12,2	17,4	10,10		9,3100	8,977			1,06
4	0БЗ-1-3	22,0	12,1	17,0	11,10		9,6254	8,977			1,01
Бетон В25 Попередньо зруйновані балки без попереднього напруження											
5	1БЗ-1-1	21,7	12,2	17,3	10,11	11,25	9,4568	8,977	1,19	1,25	0,90
6	1БЗ-1 ₃ -2	21,5	12,8	17,0	9,62	10,20	9,3134	8,977	1,09	1,14	0,94
7	1БЗ-1-3	21,8	12,4	17,6	10,12	11,40	9,6297	8,977	1,18	1,27	0,89
Бетон В25 Попередньо напружені попередньо зруйновані балки											
8	1БН-1 ₃ -1	22	12,6	17,2	9,42	10,71	9,4146	8,977	1,14	1,19	0,88
9	1БН-1 ₃ -2	22,2	12,4	17,4	9,32	10,86	9,5112	8,977	1,14	1,21	0,86
10	1БН-1 ₃ -3	22,3	12,7	17,3	9,97	11,16	9,4833	8,977	1,18	1,24	0,89
Бетон В35 Попередньо зруйновані балки без попереднього напруження											
14	2БЗ-1-1	21,9	12,3	17,4	10,87	12,60	9,796	9,386	1,29	1,34	0,86
15	2БЗ-1 ₃ -2	21,9	12,2	17,5	11,23	13,14	9,822	9,386	1,34	1,40	0,86
16	2БЗ-1-3	22,0	12,1	17,0	10,23	12,00	9,543	9,386	1,26	1,28	0,85
Бетон В35 Попередньо напружені попередньо зруйновані балки											
17	2БН-1 ₃ -1	21,7	11,9	17,0	10,21	12,45	9,528	9,386	1,31	1,33	0,82
18	2БН-1 ₃ -2	21,8	11,8	17,1	11,11	12,84	9,600	9,386	1,34	1,37	0,87
19	2БН-1 ₃ -3	21,9	12,0	17,4	11,00	12,96	9,781	9,386	1,32	1,38	0,85
Бетон В35 Попередньо напружені попередньо зруйновані балки з просоченням зони чистого згину											
20	2БН-1 ₃ -4	22,0	12,1	17,4	11,21	12,75	9,781	9,386	1,30	1,36	0,88
21	2БН-1 ₃ -5	22,1	12,3	17,7	10,97	12,90	9,975	9,386	1,29	1,37	0,85
22	2БН-1 ₃ -6	22,0	12,2	17,6	11,21	13,05	9,888	9,386	1,32	1,39	0,86

Примітки: $M_1^{експ}$ - дослідний руйнуючий момент нових балок; $M_2^{експ}$ - дослідний руйнуючий момент відновлених балок; $M_2^{теор}$ - руйнуючий момент балки з дослідними характеристиками бетону та арматури та реальними розмірами балок, порохований згідно СНиП 2.03.01-84; M_{crc}^1 - дослідний момент тріщиноутворення нових балок, M_{crc}^2 - дослідний момент тріщиноутворення відновлених балок, $M_{crc}^{теор}$ - експериментальний момент тріщиноутворення нових балок

П'ята серія балок табл.1, (пп.17-19) – попередньо зруйновані, з бетону класу В35 з попереднім напруженням, з просоченням верхньої та нижньої зон балки. Глибина просочення тіла бетону у верхній зоні балок становить в межах 1-4 мм. В нижній та верхній зонах балок відбулось заповнення та склеювання існуючих тріщин та дефектів. В результаті просочення відбулося суттєве відновлення несучої здатності просочених зразків.

Моменти тріщиноутворення відновлених просоченням балок (2БН-1₃-1—1БН-1₃-3) складали 87-91% від моментів тріщиноутворення при попередньому випробуванні цих балок.

Шоста серія балок – табл.1, (пп.20-22) – попередньо зруйновані, з бетону класу В35 з попереднім напруженням, з просоченням верхньої та нижньої зон балки між прикладеними силами на половині ділянки чистого згину балки в місцях руйнації бетону верхньої зони. Глибина просочення тіла бетону у верхній зоні балок становить в межах 1-5 мм. В нижній та верхній зонах балок відбулось заповнення та склеювання існуючих тріщин та дефектів. В результаті просочення відбулося суттєве відновлення несучої здатності просочених зразків. Моменти тріщиноутворення відновлених просоченням балок (2БН-1₃-4—1БН-1₃-6) складали 87-89% від моментів тріщиноутворення при попередньому випробуванні цих балок.

Висновки: Отже, на основі проведених випробувань та аналізу їх результатів досліджень можна відзначити, що можливо відновити тріщиностійкість балкових конструкцій на 85-90% за допомогою просочення сучасними ін'єкційними матеріалами та технологіями. В нижній та верхній зонах балок відбулось заповнення та склеювання існуючих тріщин та дефектів.

Характер руйнування зразків балок серій аналогічний до попереднього їх руйнування описаний в [12]. Існуючі тріщини в процесі навантаження повторно розкриваються при рівні навантаження для ненапружених балок – при 0,3 - 0,35 M_y , а для попередньо напружених балок 0,5 - 0,6 M_y .

Аналіз розкриття магістральних тріщин в зоні чистого згину балок показав що, як правило, вершини тріщин не заповнені ін'єкційним розчином на 2-10 мм. Це очевидно пов'язано з наявністю в вершині тріщин стисненого повітря та вологи, що не мають виходу та чинять опір просуванню ін'єкційного розчину. Це ув'язується із загальною теорією просочення та фільтрації бетонних та залізобетонних конструкцій [4-6].

В досліджах по випробуванню просочених та не просочених балок, що не зазнавали впливу попереднього навантаження, було показано, що значного підвищення тріщиностійкості балок шляхом просочення верхньої зони балок даним ін'єкційним матеріалом не спостерігалось.

На основі проведеного аналізу експериментальних результатів пропонується при розрахунках моменту тріщиноутворення балок, відновлених ін'єкційними методами, при посиленні, враховувати момент тріщиноутворення як для звичайних балок з понижаючим коефіцієнтом $k=0,85$.

1. Лучко Й.Й. Дослідження конструкцій басейну готелю «Прикарпаття» та пропозиції відновлення експлуатаційних характеристик споруди./ Й.Й.Лучко, Б.З.Парнета. – Зб.наук.пр. та діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій.-Львів; Каменярь.-2006.-№8.-С.59-78. 2. Лучко Й.Й. Обстеження фундаментів АВО газу на компресорній станції «Опори II» та їх посилення./ Й.Й.Лучко, Б.З.Парнета – Дороги і мости.- Київ. – 2007. – С.47-56. 3. Назаревич Б.Л. Технологія посилення монолітних залізобетонних конструкцій перекриття будівлі (Київ, Чоколівський бульвар, 42а)/ Б.Л. Назаревич, Й.Й. Лучко, Ю.І. Іваник// Зб.наук.праць Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій – Львів: Каменярь, 2012.- Вип.9 – С.376-385. 4.Бабушкин Д.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона/Д.И.Бабушкин– М., Стройиздат.1968. – 215 с. 5.Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде./ Г.П. Вербецкий– М.: Стройиздат, 1976. – 128 с. 6. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М.Москвин, Ф.М.Иванов, С.Н.Алексеев, Е.А. Гузев/ Под общ. Ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с. 7.Лучко Й.Й., Капітальний ремонт басейна гостиници"RIXOS" розположеной в г. Трускавець, Львовской обл./ Й.Й. Лучко, І.Г.Іваник, Б.Л.Назаревич, Т.Бартосік– Матеріали науково-технічної конференції Познаньської політехніки, Польща - 2006. С. 63-71. 8.Лучко Й.Й. Методика та програма експериментальних досліджень залізобетонних балок, армованих з'єднаною арматурою на мало циклову втому / Й.Й. Лучко, А.Я. Пенцак, О.М. Гайда // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. –О.: Зовнішрекламсервіс, 2010. – Вип.38. – С.414–425. 9. Лучко Й.Й. Міцність залізобетонних балок, що армовані з'єднаною арматурою /Й.Й. Лучко, А.Я. Пенцак, Б.З. Парнета // Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». –Рівне, 2012. – Вип.23 –С.299-304. 10.Отчет№77001746 «Исследовать прочностные и деформативные свойства мелкозернистого бетона и работу под нагрузкой сжатых и изгибаемых элементов из него и подготовить материалы для норм проектирования», 1979. 11.Лучко Й.Й. Уточнений розрахунок і дослідження напружено-деформованого стану балки при згині/ Й.Й. Лучко, І.М. Добрянський // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. –Д.: Вид-во Дніпропетр. Нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад.. В.Лазаряна, 2010. – Вип.33. –С.155–160. 12. Гайда О.М. Дослідження закриття тріщин в залізобетонних балкових елементах ін'єкційним методом./ О.М. Гайда, А.Я. Пенцак– Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури.-Одеса, 2012. – Вип.47. – С.23–29