

УДК 624.21

П.М.Коваль, Я.І.Ковальчик

Національна Академія Образотворчого Мистецтва та Архітектури
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИЩИННОСТІЙКОСТІ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У статті описана проблема впливу малоциклових навантажень на попередньо напружені конструкції прогонових будов мостів. Експериментально показано збільшення ширини розкриття максимальної нормальної тріщини в балкових попередньо напружених залізобетонних зразках при малоциклових навантаженнях з рівнями навантажень $\eta_{top}=0,6..0,75 P_{cr}$.

Ключові слова: попередньо напружений залізобетон, малоциклові навантаження, збільшення ширини розкриття максимальної нормальної тріщини.

Табл 3. Рис. 5.

П.Н.Коваль, Я.И.Ковальчик

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗОК

В статье описана проблема влияния малоциклических нагрузок на предварительно напряженные конструкции пролетных строений мостов. Экспериментально показано увеличение ширины раскрытия максимальной нормальной трещины в балочных предварительно напряженных железобетонных образцах при малоцикловых нагрузках с уровнями нагрузок $\eta_{top} = 0,6..0,75 P_{cr}$.

Ключевые слова: предварительно напряженный железобетон, малоцикловые нагрузки, увеличение ширины раскрытия максимальной нормальной трещины.

P.Koval, Y.Kovalchik

RESEARCH OF PRESTRESSED CONCRETE BEAMS CRACK RESISTANCE UNDER THE
ACTION OF LOW-CYCLE LOADS

This article describes the problem of low-cycle loads influence on prestressed bridge superstructures. The object of the research was a set of four prestressed concrete beams with geometric dimensions 2100x210x100mm. Reinforced concrete beams were tested under the pure bending scheme at the age of 850-1000 days. At twin beams B-1 and B-2 breaking load P_{cr} were defined for a single static load. For a low-cycle loads research for beams B-3 and B-4 a scheme of application loads in ten cycles with maximum stress levels of 0.6 and 0.75 P_{cr} was used. Levels of loads were appointed by the highway bridges cycle load parameters that are on average $\eta_{top}=0,6..0,8$. Increase the width of the crack opening at 0.6 P_{cr} taken into account with the mean width of it disclosure in the first cycle. The width increase of the crack opening at 0.75 P_{cr} was taken into account to the mean width of it opening at a similar load on B-1 and B-2. Experimentally was shown that on average, after seven cycles of loading and unloading to 0.6 P_{cr} , maximum, width of crack opening grew by 40.67% compared to the first cycle. After load increase for B-3 and B-4 to 0.75 P_{cr} average increase disclosure of maximum crack relatively to average value of opening at 0.75 P_{cr} for beams B-1 and B-2 is 36.47%. In this case, beams received some residual strains, since the next loading to lower level the value of crack opening does not return to previous values. On the tenth cycle during the loading (0.75 P_{cr}) mean of growth of crack width is 58.83%. All beams withstood tests of base ($N=10$ cycles), then by definition of destructive force P_{cr} all collapsed in sections due to destruction of normal concrete compressed zone.

Keywords: prestressed concrete, low-cycle load, increasing of the disclosure width of the maximum normal crack.

Вступ. Згідно діючих нормативних документів з проектування мостів [1,2,3], щоб забезпечити достатню довговічність мостів необхідно враховувати роботу конструкції на протязі всього проектного терміну експлуатації для сприйняття розрахункових навантажень та забезпечення необхідної вантажопідйомності. На експлуатаційний термін конструкцій впливає фізичне зношення матеріалів конструкцій внаслідок впливу зовнішніх факторів.

Одною з найпоширеніших причин утворення дефектів в конструкціях мостів є неврахування постійного росту інтенсивності транспортних потоків та ваги транспортних засобів. Потрібно переглянути існуючий підхід до врахування в розрахунках дії навантаження високого рівня при експлуатації для забезпечення необхідного терміну їх експлуатації [4].

Постановка проблеми. Зовнішні навантаження розділяються на постійні та змінні, а останні за характером дії можуть бути монотонно-змінними та циклічними (малоцикловими, періодичність повторення яких може сягати декількох десятків, сотень, а деколи й тисяч циклів, і багатоцикловими з періодичністю повторення більше, ніж 2×10^6 циклів). Особливе місце мають малоциклові навантаження високого рівня до $0,6..0,8 P_{cr}$, які суттєво знижують несучу здатність конструкції.

©П.М.Коваль, Я.І.Ковальчик

Залізобетонні конструкції схильні до крихкого руйнування, тобто до руйнування через розповсюдження дефектів типу тріщин. Процес руйнування при цьому не відбувається миттєво – від моменту утворення тріщини і до початку її критичного зростання минає певний час. Тому своєчасне виявлення таких дефектів є важливою задачею, і, разом з тим, складною проблемою[4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження тріщиностійкості попередньо напружених елементів при малоциклових навантаженнях проводили Бабич Є.М., Панчук Ю.М., Крусь Ю.О., Валовий О.І.[5,6,7,8] та інші. При дослідженні різних балок та плит з попередньо напруженим та змішаним армуванням були отримані дані про збільшення ширини розкриття тріщин при дії малоциклових навантажень високого рівня. Результати приросту ширини розкриття тріщин за даними різних досліджень суттєво відрізняються (рис. 5). Це свідчить про необхідність проведення експериментальних досліджень для уточнення впливу малоциклових навантажень на тріщиностійкість залізобетонних попередньо напружених конструкцій.

Метою роботи було експериментальне виявлення впливу малоциклових навантажень високого рівня на ширину розкриття тріщин попередньо напружених залізобетонних балок. Для цього використали схему прикладання малоциклових навантажень використану Полюгою Р.І. [9] для балок аналогічних розмірів із звичайною арматурою.

Об'єктом досліджень була серія з чотирьох попередньо напружених залізобетонних балок. Розміри залізобетонних балок були прийняті 2100×210×100мм. Залізобетонні балки випробувались у віці 850-1000 діб за схемою чистого згину (рис. 2б). Конструкція дослідних балок і схема армування приведена на рис. 2а.

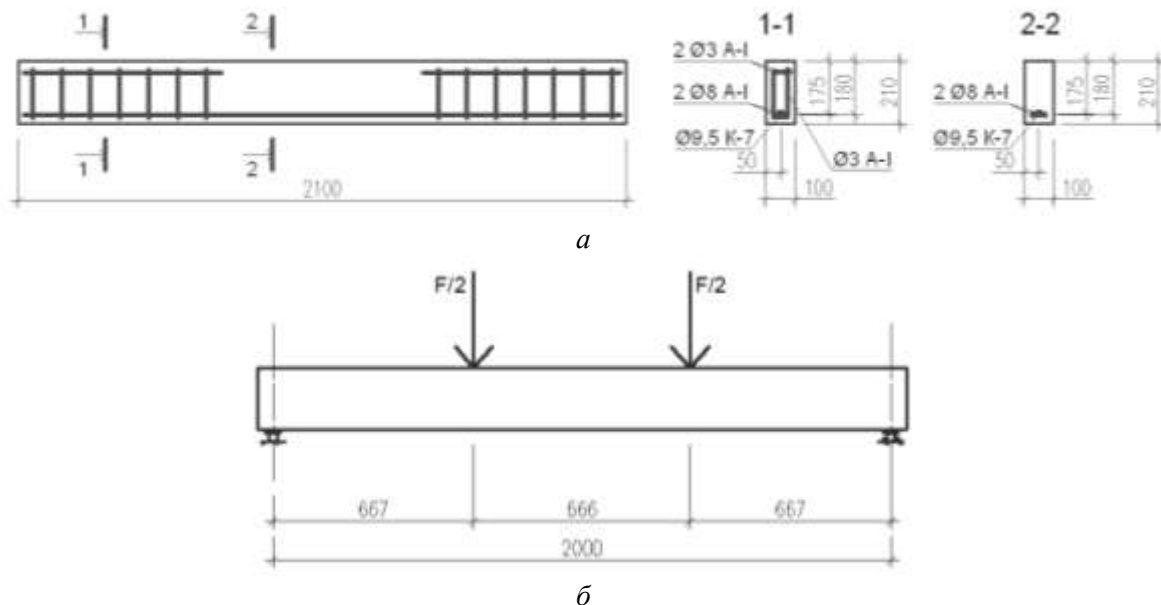


Рис. 1. а - Конструкція дослідних зразків балок, б – схема прикладання навантаження при малоциклических випробуваннях

Балки випробувались на стаціонарному силовому стенді. Навантаження через силорозподільчу траверсу передавалось на балку. Таким чином створювалась зона чистого згину, в межах якої досліджували напружено-деформований стан нормальних перерізів по висоті балки. Стенд позволяв вести візуальне спостереження за виникненням та поширенням тріщин на гранях балки. На стаціонарному стенді навантаження прикладалось десятитонним домкратом через силорозподільчу траверсу. Величина навантаження регулювалась за допомогою попередньо протарованого кільцевого динамометра. Його встановили між домкратом та опорною силовою траверсою стенду. Відліки за індикатором динамометра знімали відразу після досягнення необхідного рівня навантаження та контролювали на протязі всієї ступені. Ширину розкриття тріщин при випробуваннях визначали за допомогою мікроскопа МПБ-2 із ціною поділки 0,05 мм. Вимірювання проводили на кожній ступені навантаження з моменту появи тріщин.

Для випробування на малоциклові навантаження базою випробувань було прийнято число $N=10$ циклів (рис. 3). На балках-близнюках Б-1 і Б-2 при одноразовому статичному завантаженні були визначені значення руйнівного навантаження P_{cr} . Базовим рівнем навантаження, до якого

доводилися зразки Б-3 та Б-4, прийнято $0,6P_{cr}$. Для того, щоб моделювати довантаження конструкції до вищого рівня, після перших шести циклів з максимальним рівнем навантаження $0,6P_{cr}$, на сьомому і восьмому циклі рівень навантаження був доведений до $0,75P_{cr}$. Дев'ятий цикл був проведений з максимальним рівнем навантаження $0,6P_{cr}$, десятий – знову до $0,75P_{cr}$. Після бази випробувань балки були доведені до руйнування одноразовим прикладенням зусилля з фіксацією руйнівного навантаження. Рівні навантажень були призначені згідно параметрів циклів роботи автодорожніх мостів, які в середньому становлять $\eta_{top}=0,6...0,8$ [9]. Послідовність рівнів навантаження по циклах також визначена на основі спостережень руху великовантажних навантажень по автодорожніх мостах.

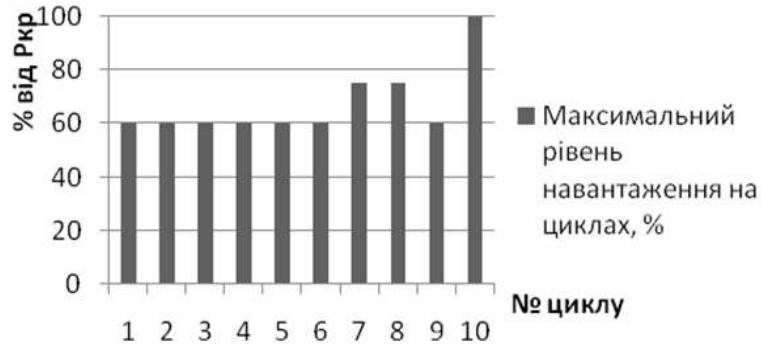


Рис. 2. Схема малоциклічних навантажень

Аналіз тріщиностійкості балок проводився наступним чином. Після кожної ступені навантаження кожного циклу замірялась ширина розкриття всіх нормальних тріщин на рівні попередньо напруженої арматури з визначенням тріщини з максимальним розкриттям (табл. 1). Теоретичне значення ширини розкриття тріщин на зазначених величинах навантаження вираховане згідно норм [1]. Після сумування заміряних значень визначалось процентне співвідношення збільшення ширини розкриття всіх тріщин балки та максимально розкритої тріщини відносно величини, отриманої на першому циклі навантаження (табл. 2). Приріст ширини розкриття тріщин при $0,6P_{cr}$ враховувався відносно ширини розкриття на першому циклі. Приріст ширини розкриття тріщин при $0,75P_{cr}$ враховувався відносно середнього значення ширини розкриття при аналогічному навантаженні на Б-1 та Б-2.

Таблиця 1

Максимальна ширина розкриття тріщин (мм) в балках

Серія балок		Розрахункова ширина розкриття максимальної тріщини при $0,6P_{cr}/0,75 P_{cr}$, мм	Цикл 1 ($0,6P_{cr}/0,75 P_{cr}$)	Цикл 7 ($0,6P_{cr}$)	Цикл 7 ($0,75P_{cr}$)	Цикл 8 ($0,75P_{cr}$)	Цикл 9 ($0,6P_{cr}$)	Цикл 10 ($0,75P_{cr}$)
Серія І	Б-1	a_{crc}^{exp} , мм	0,25/0,47	-	-	-	-	-
	Б-2	a_{crc}^{exp} , мм	0,21/0,38	-	-	-	-	-
	Б-3	a_{crc}^{exp} , мм	0,21/-	0,28	0,57	0,67	0,54	0,63
	Б-4	a_{crc}^{exp} , мм	0,25/-	0,30	0,59	0,71	0,58	0,72
	Середнє значення		-	0,23/0,425	0,29	0,58	0,69	0,56

Таблиця 2

Збільшення ширини розкриття у % всіх тріщин / максимально розкритої тріщини балок по циклах (відносно першого циклу)

Серія 1	Шифр	Збільшення ширини розкриття, %				
		Цикл 7 (0,6P _{cr})	Цикл 7 (0,75P _{cr})	Цикл 8 (0,75P _{cr})	Цикл 9 (0,6P _{cr})	Цикл 10 (0,75P _{cr})
	Б-3	31,48/33,33	102,94/ 138	118,16 / 219,05	38,14 / 157,14	126,44 / 200
	Б-4	37,42 / 48	106,44 / 96	124,93 / 184	39,83 / 132	133,12 / 188

Таблиця 3.

Збільшення ширини розкриття у % в залежності від рівня навантаження (відносно першого циклу з даним рівнем)

Серія 1	Шифр	Тріщина з макс.розкриттям		
		після 7-ми циклів з рівнем 0,6P _{cr}	після 7-ми циклів з рівнем 0,75P _{cr}	після 10-х циклів з довантаження до рівня 0,75P _{cr}
	Б-3	33,33	34,11	48,24
	Б-4	48	38,82	69,41
Сер. значення		40,67	36,47	58,83

Результати досліджень показують, що в середньому після семи циклів навантаження-розвантаження до рівня 0,6P_{cr} ширина розкриття максимально розкритої тріщини збільшилась в середньому на 40,67% у порівнянні з першим циклом (табл. 3). Після довантажень Б-3 та Б-4 до рівня 0,75P_{cr} середній приріст розкриття максимальної тріщини відносно середнього значення розкриття при 0,75P_{cr} для балок Б-1 та Б-2 становить 36,47 %. При цьому балки отримують деякі залишкові деформації, так як при наступному завантаженні до нижчого рівня величина розкриття тріщин не повертається до попередніх значень. На десятому при вантаженні (0,75P_{cr}) середнє збільшення розкриття тріщини становить 58,83%.

Згідно табл.1 величина ширини розкриття тріщин після семи циклів привантаження до 0,6P_{cr} становить в середньому 0,29мм, що більше розрахункового значення 0,27мм. А при восьмому та десятому циклі (0,75P_{cr}) – 0,69 та 0,675 мм, що перевищує розрахункове значення 0,47мм.

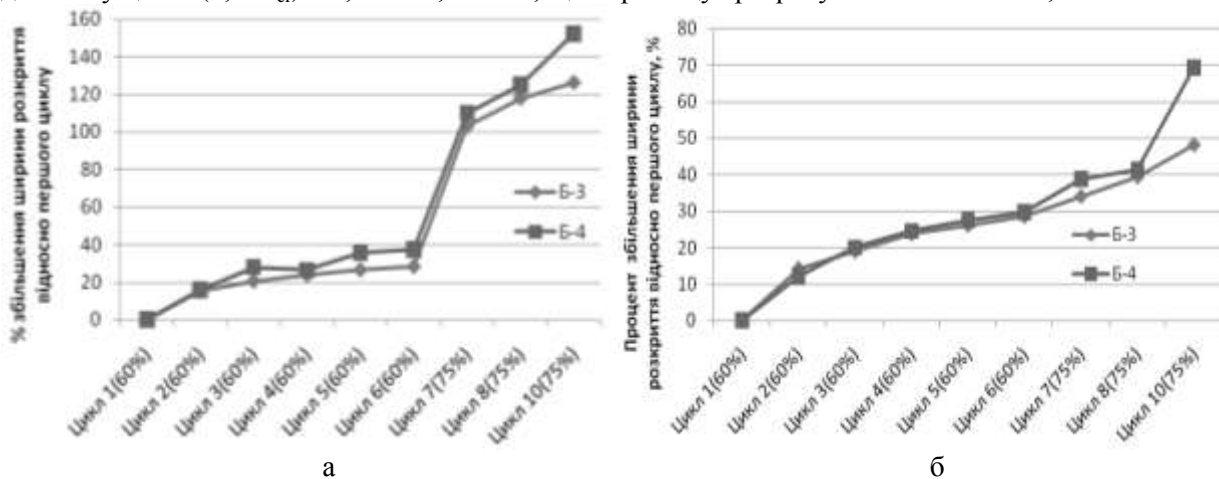


Рис. 3. Процент збільшення ширини розкриття тріщин в балках Б-3, Б-4: а – усіх тріщин балки, б - найбільшої тріщини.

На графіках на рис.4 чітко фіксується стабілізація розкриття тріщин до 7-го циклу а також подальше їх зростання при збільшенні граничного навантаження на циклі.

Слід зазначити, що всі тріщини в балці утворюються на першому циклі. При повторних завантаженнях відбувається лише їх розвиток без утворення нових. Утворення нових тріщин спостерігалось при збільшенні максимального навантаження на 7-му циклі та при монотонному

прикладанні навантаження до руйнування балок після 10-го циклу. Загалом якісна картини розвитку всіх тріщин по балках ідентична (рис. 4).

Всі балки витримали базу випробувань N , після чого при визначенні руйнівного зусилля R_{cr} всі руйнувались по нормальних перерізах внаслідок руйнування бетону стиснутої зони. Характер руйнування при малоциклових навантаженнях аналогічний характеру при одноразових навантаженнях балок цієї ж серії (рис. 5).



Рис. 4. Зруйновані балки

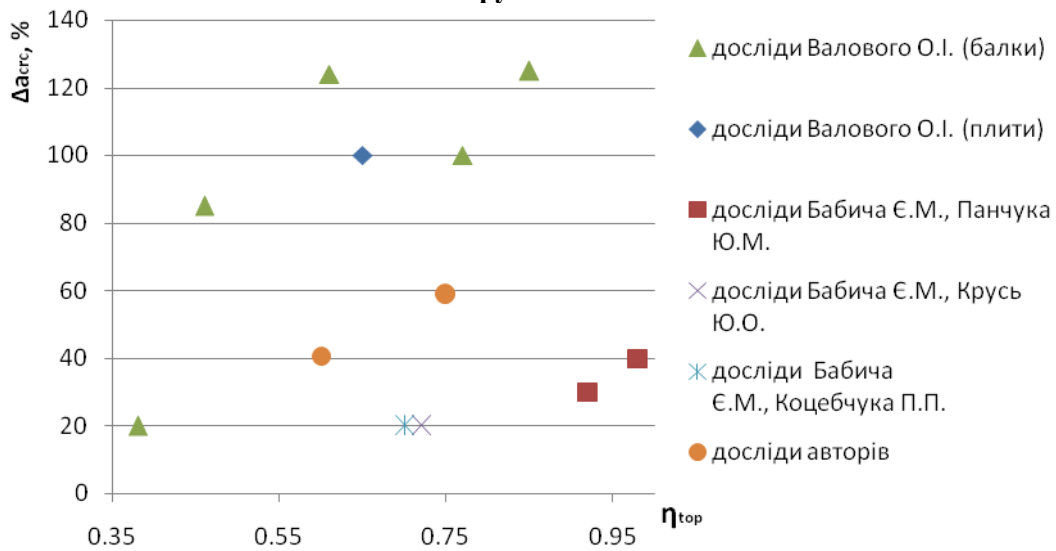


Рис. 5. Результати досліджень різними авторами збільшення ширини розкриття нормальних тріщин $\Delta a_{crs}, \%$ в залежності від рівня навантаження η_{top}

На графіку рис. 5 показано експериментальні результати досліджень збільшення ширини розкриття нормальних тріщин в попередньо напружених залізобетонних елементах при малоциклових навантаженнях різних.

Висновок:

Експериментально встановлено збільшення ширини розкриття тріщин при малоцикловому випробуванні залізобетонних балок зі змішаним армуванням. При 7 циклах завантаження до рівня $0,6R_{ct}$ максимальна ширина розкриття тріщин збільшилась на 40,67%, при навантаженні до рівня $0,75 R_{ct}$ при 10 циклах, максимальна ширина розкриття збільшилась на 58,83%.

1. Державні будівельні норми України. Мости та труби. Правила проектування. (ДБН В.2.3-14:2006) – Держбуд України, 2006. – 356с.
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. ДБН В.1.2 – 15:2009.-56с.
3. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування.(ДБН В.2.3-22:2009) – Держбуд України, 2009. – 52с
4. В.П. Еремеев, Й. Звара, Общие проблемы эксплуатации мостов, Автомобильные дороги, №2 1984.
5. Бабич Є.М., Панчук Ю.М. Робота залізобетонних балок зі змішаним армуванням за малоциклових навантажень високих рівнів // Проблеми теорії і практики залізобетону: Зб. наук. статей: - Полтава, 1997. - С. 30-32.
6. Бабич Є.М., Ю.О. Крись, Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень. Монографія. - Рівне, видавництво РДТУ, 1999.-119с.
7. Валовой А.И. Образование и раскрытие трещин в преднапряженных элементах при повторном нагружении // Бетон и железобетон. – 1988. - №12. – с. 6-7.
8. Валовой А.И. Работа преднапряженных плит при малоцикловом нагружении // Бетон и железобетон. – 1989. - №6. – С. 10-11.
9. Полюга Р.І. Тріщиностійкість залізобетонних балочних конструкцій автодорожніх мостів в умовах мало циклових навантажень: дис.. канд. наук Полюга Роман Ігорович. – Львів, НУ «Львівська політехніка», 2006. - 160с.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2014