

УДК 624.072.2

Гримак О.Я., аспірант
Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ БАЗАЛЬТОБЕТОННИХ ТА БАЗАЛЬТОФІБРОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. У статті описані дослідження впливу малоциклових навантажень на базальтобетонні та базальтофібробетонні згинальні елементи. Експериментально показано збільшення ширини розкриття максимальної нормальної тріщини в балкових базальтобетонних та базальтофібробетонних зразках при малоциклових навантаженнях з рівнями навантажень $\eta_{top}=0,6...0,75 R_{ср}$ у порівнянні з одноразовими навантаженнями.

Ключові слова: базальтопластикові арматури, базальтобетонні балки, базальтофібробетонні балки, малоциклові навантаження, ширина розкриття тріщини.

Вступ. Згідно діючих нормативних документів з проектування мостів[1,2,3], щоб забезпечити достатню довговічність мостів необхідно враховувати роботу конструкції протягом 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. Тому перспективним є використання для армування бетонних конструкцій мостів композитної арматури, яка має високу корозійну стійкість.

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 прогонових будов мостів дії малоциклових навантажень 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 $0,6...0,8 R_{ср}$, які суттєво знижують несучу здатність конструкції.

Базальтобетонні та базальтофібробетонні 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 в процесі експлуатації споруди є важливою задачею, і, разом з тим, складною проблемою[4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню роботи бетонних і залізобетонних конструкцій при дії малоциклових навантажень присвячено ряд робіт [5, 6 та інші]. В цих роботах представлені експериментальні результати випробувань дослідних зразків на дію одноразових і малоциклових навантажень, приведені дані щодо впливу малоциклових навантажень на ріст тріщин, відносних деформацій і прогинів та на несну здатність конструкцій. На основі експериментальних даних розроблені пропозиції з розрахунку залізобетонних конструкцій на дію малоциклових навантажень.

В роботі Полюги Р.І. виконано значний обсяг експериментально-теоретичних досліджень роботи залізобетонних конструкцій мостів при дії малоциклових навантажень. Автор запропонував враховувати при розрахунку транспортних споруд вплив малоциклових навантажень високого рівня.

Базальтобетонні та базальтофібробетонні конструкції використовується у будівництві, але у діючому нормативному документі щодо їх розрахунку [8] не враховується особливість їх роботи при дії малоциклових навантажень. Тому актуальною є задача експериментального дослідження роботи базальтобетонних та базальтофібробетонних балок при дії малоциклових навантажень високого рівня.

Метою роботи було експериментальне виявлення впливу малоциклових навантажень високого рівня на ширину розкриття тріщин базальтобетонних та базальтофібробетонних балок. Для цього використали схему прикладання малоциклових навантажень використану Полюгою Р.І. [7] для балок аналогічних розмірів із сталеву арматурою.

Основні результати дослідження. Дослідними зразками були балки поперечного перерізу 100x200мм і довжиною 2100мм (рис.1), які виготовлялися із бетону класу В40.

Каркаси балок складаються з одного стержня робочої арматури діаметру 4; 6; 8; 10; 12 та 13мм базальтопластикової арматури АНПБ довжиною 2100мм (рис.1). В крайніх третях прольоту було забезпечено поперечне армування арматурою \varnothing 6мм класу А-1 довжиною 180мм. Крок поперечних стержнів становив 100мм, загальна кількість стержнів поперечної арматури - 16 шт. Верхнє армування виконане стержнями \varnothing 6мм класу А-1 довжиною 730мм в

крайніх третіх прольоту. Коефіцієнт армування поперечного перерізу конструкції становить 0,00073; 0,00158; 0,00286; 0,00446; 0,00649; 0,0077.

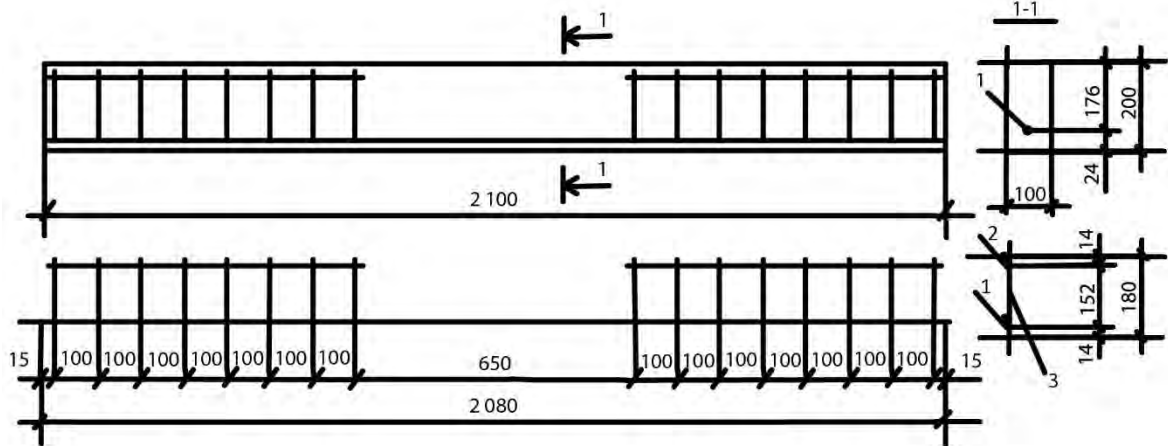


Рис. 1. Конструкція базальтобетонних балок:

1 - 1Ø(4; 6; 8; 10; 12; 13) АНПБ; 2 - 2Ø6А-1; 3 - 16Ø6А-1

Всього було досліджено 12 базальтобетонних балок марки (Б) та 12 базальтофібробетонних балок марки(Бф). Дослідні балки були розбиті на 6 серій (I, II, III, IV, V, VI) в залежності від сумарного коефіцієнту армування ($\rho_{f,tot}$). Дані про склад експериментальних досліджень наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Серія	Шифр	Коефіцієнт армування, $\rho_{f,tot}$	Кі-сть балок, шт.	Поздовжнє армування	Момент руйнування $M_{cr}(сер)$ кНм	Момент утворення тріщини $M_{cr}(сер)$ кНм
I	4Б	0,00073	2	1Ø4 АНПБ	2,75	2,75
	4Бф		2	1Ø4 АНПБ	2,92	2,92
II	6Б	0,00158	2	1Ø6 АНПБ	4,42	3,09
	6Бф		2	1Ø6 АНПБ	4,79	3,42
III	8Б	0,00286	2	1Ø8 АНПБ	8,25	2,67
	8Бф		2	1Ø8 АНПБ	8,5	3,67
IV	10Б	0,00446	2	1Ø10 АНПБ	12	3,17
	10Бф		2	1Ø10 АНПБ	12,5	3,17
V	12Б	0,00649	2	1Ø12 АНПБ	11,65	2,94
	12Бф		2	1Ø12 АНПБ	14,34	3,75
VI	13Б	0,0077	2	1Ø13 АНПБ	13,67	2,33
	13Бф		2	1Ø13 АНПБ	13,84	3,33

Базальтобетонні балки випробовувались у віці 50-100 діб за схемою чистого згину (рис.2). Випробування здійснювали на силовому стенді двома зосередженими силами, прикладеними в третинах прольоту. Навантаження здійснювали 12-ти тонним гідравлічним домкратом через силорозподільчу траверсу. Стенд дозволяв вести візуальне спостереження за виникненням та

поширенням тріщин на гранях балки. Рівень навантаження контролювали тарованим динамометром, встановленим під розподільчою траверсою. 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.

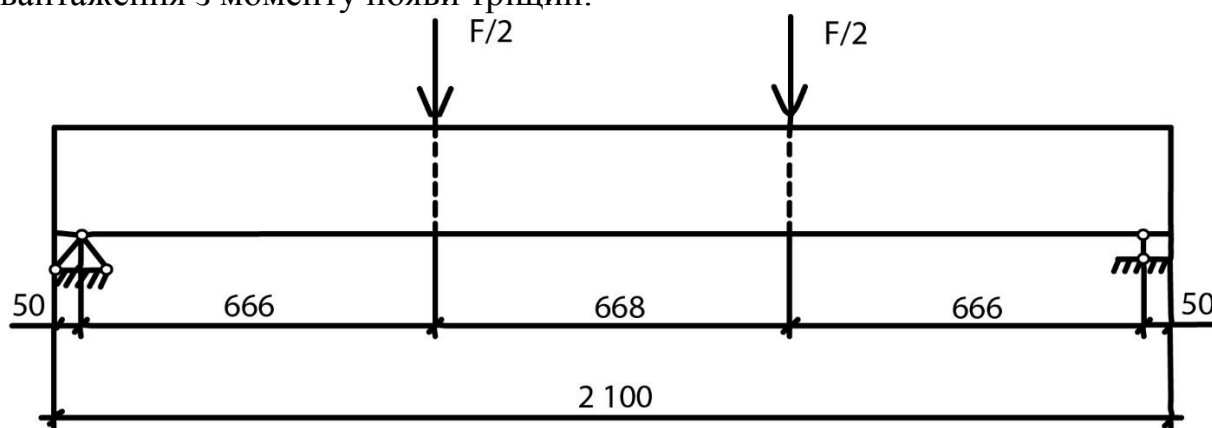


Рис. 2. Схема прикладання навантаження при одноразових та малоциклических випробуваннях

Для випробування на малоциклові навантаження базою випробувань було прийнято число $N=10$ циклів (рис. 3).

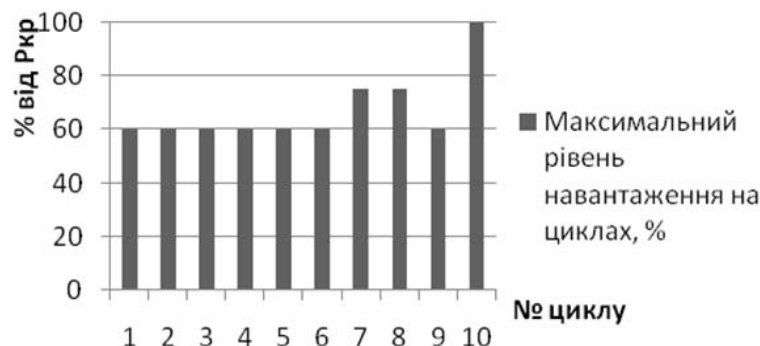


Рис. 3. Схема малоциклових навантажень

На балках-близнюках при одноразовому статичному завантаженні були визначені значення руйнівного навантаження P_{cr} . Базовим рівнем навантаження, до якого доводилися зразки Б та Бф, 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 чого балки були доведені до руйнування збільшенням зусилля з фіксацією руйнівного навантаження. Рівні навантажень були призначені згідно параметрів циклів роботи автодорожніх мостів, які в середньому становлять $\eta_{top}=0,6\dots 0,8$ [9]. Послідовність рівнів навантаження по циклах також визначена

на основі спостережень руху великовантажних навантажень по автодорожніх мостах, у роботі [7].

Аналіз тріщиностійкості балок проводився наступним чином. Після кожної ступені навантаження кожного циклу замірялась ширина розкриття всіх нормальних тріщин на рівні базальтопластикової арматури з визначенням тріщини з максимальним розкриттям (табл. 2). 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. 3). У таблиці 2 представлені результати випробувань щодо балок, які зруйнувалися від розриву арматури в розтягнутій зоні та роздроблення бетону стиснутої зони.

Таблиця 2

Максимальна ширина розкриття тріщин (мм) в балках

Серія балок	Шифр		Цикл 1 (0,6P _{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})
III	8Б (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	1,625	2,15	2,575	2,725	2,375	2,925
	8Бф (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	1,425	1,775	2,05	2,325	1,9	2,375
IV	10Б (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	2,25	2,475	2,7	2,75	2,6	2,95
	10Бф (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	2	2,375	2,525	2,625	2,425	2,675
V	12Б (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	1,725	1,875	2,225	2,45	2,05	2,65
	12Бф (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	1,55	1,725	2,125	2,45	2,025	2,5
VI	13Б (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	1,725	1,85	2,25	2,5	2,025	2,65
	13Бф (сер.зн.)	$a_{crc}^{exp}, мм$	1,525	1,75	2,225	2,3	2,025	2,425

Результати досліджень показують, що в базальтобетонних балках серії III-8Б в середньому після семи циклів навантаження-розвантаження до рівня 0,6P_{cr} максимальна ширина розкриття тріщин збільшилась від 1,625мм до 2,15мм у порівнянні з першим циклом, а у базальтофібробетонних балках цієї ж серії від 1,425мм до 1,775мм. Після двох перевантажень до рівня 0,75P_{cr} у базальтобетонних балках це значення збільшилось до 2,725мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,325мм. При цьому балка отримує значні залишкові деформації, так як при наступному завантаженні до нижчого рівня величина розкриття тріщин не повертається до попередніх значень. Так, максимальна ширина розкриття тріщин у базальтобетонних балках становить 2,375мм, а у базальтофібробетонних 1,9мм. При повторному завантаженні до

рівня $0,75R_{сг}$ відбувається подальший ріст тріщин, ширина розкриття їх збільшується відповідно у базальтобетонних балках до 2,925мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,375мм.

Таблиця 3

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

Серія	Шифр					
		після 7-ми циклів з рівнем $0,6R_{сг}$	після 7-ми циклів з рівнем $0,75R_{сг}$	після 8-ми циклів з рівнем $0,75R_{сг}$	після 9-ти циклів з рівнем $0,6R_{сг}$	після 10-х циклів з довантаження до рівня $0,75R_{сг}$
III	8Б (сер.зн.)	36,95/35	63,59/58,48	77,05/70	52,24/42,87	86,03/86,21
	8Бф (сер.зн.)	34,16/24,57	58,42/42,17	71,47/63,24	44,69/33,5	74,52/66,69
IV	10Б (сер.зн.)	22,37/10,04	50,71/20,00	56,59/22,23	36,79/15,61	64,78/31,12
	10Бф (сер.зн.)	16,4/18,75	37,48/26,25	49,74/31,25	29,16/21,25	55,39/33,75
V	12Б (сер.зн.)	18,99/17,25	49,96/42,06	57,72/51,9	31,8/25,66	75,14/61,32
	12Бф (сер.зн.)	11,9/9,79	44,4/37,29	57,21/53,54	29,4/26,04	61,48/61,46
VI	13Б (сер.зн.)	24/7,22	56,21/30,41	67,78/44,87	43,18/17,35	76,18/53,61
	13Бф (сер.зн.)	15,5/9,84	57,36/44,3	62,51/50,97	34,33/32,9	68,72/59,19

В базальтобетонних балках серії IV-10Б в середньому після семи циклів навантаження-розвантаження до рівня $0,6R_{сг}$ максимальна ширина розкриття тріщин збільшилась від 2,25мм до 2,475мм у порівнянні з першим циклом, а у базальтофібробетонних балках цієї ж серії від 2мм до 2,375мм. Після двох перевантажень до рівня $0,75R_{сг}$ у базальтобетонних балках це значення збільшилось до 2,75мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,625мм. При цьому балка отримує значні залишкові деформації, так як при наступному завантаженні до нижчого рівня величина розкриття тріщин не повертається до попередніх значень. Так, максимальна ширина розкриття тріщин у базальтобетонних балках становить 2,6мм, а у базальтофібробетонних 2,425мм. При повторному завантаженні до рівня $0,75R_{сг}$ відбувається подальший ріст тріщин, ширина розкриття їх збільшується відповідно у базальтобетонних балках до 2,95мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,675мм.

Встановлено, що в базальтобетонних балках серії V-12Б в середньому після семи циклів навантаження-розвантаження до рівня $0,6R_{сг}$ максимальна ширина розкриття тріщин збільшилась від 1,725мм до 1,875мм у порівнянні з

першим циклом, а у базальтофібробетонних балках цієї ж серії від 1,55мм до 1,725мм. Після двох перевантажень до рівня 0,75Рсг у базальтобетонних балках це значення збільшилось до 2,45мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,45мм. При цьому балка отримує значні залишкові деформації, так як при наступному завантаженні до нижчого рівня величина розкриття тріщин не повертається до попередніх значень. Так, максимальна ширина розкриття тріщин у базальтобетонних балках становить 2,05мм, а у базальтофібробетонних 2,025мм. При повторному завантаженні до рівня 0,75Рсг відбувається подальший ріст тріщин, ширина розкриття їх збільшується відповідно у базальтобетонних балках до 2,65мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,5мм.

В базальтобетонних балках серії VI-13Б в середньому після семи циклів навантаження-розвантаження до рівня 0,6Рсг максимальна ширина розкриття тріщин збільшилась від 1,725мм до 1,85мм у порівнянні з першим циклом, а у базальтофібробетонних балках цієї ж серії від 1,525мм до 1,75мм. Після двох перевантажень до рівня 0,75Рсг у базальтобетонних балках це значення збільшилось до 2,5мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,3мм. При цьому балка отримує значні залишкові деформації, так як при наступному завантаженні до нижчого рівня величина розкриття тріщин не повертається до попередніх значень. Так, максимальна ширина розкриття тріщин у базальтобетонних балках становить 2,025мм, а у базальтофібробетонних 2,025мм. При повторному завантаженні до рівня 0,75Рсг відбувається подальший ріст тріщин, ширина розкриття їх збільшується відповідно у базальтобетонних балках до 2,65мм, а у базальтофібробетонних балках до 2,425мм.

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 тріщини в балках утворюються як і на першому циклі так і при повторних завантаженнях. Всі балки витримали базу випробувань N . Характер руйнування при малоциклових навантаженнях аналогічний характеру при одноразових навантаженнях балок цієї ж серії

Висновки.

Експериментальні дослідження базальтобетонних та базальтофібробетонних балок показали, що у порівнянні з одноразовими навантаженнями малоциклові навантаження високого рівня $\eta_{top}=0,6...0,75$ Рсг викликають у згинаних елементах збільшення ширини розкриття тріщин. Для врахування впливу таких навантажень необхідно розробити пропозиції до розрахунку мостів із використанням отриманих експериментальних результатів.

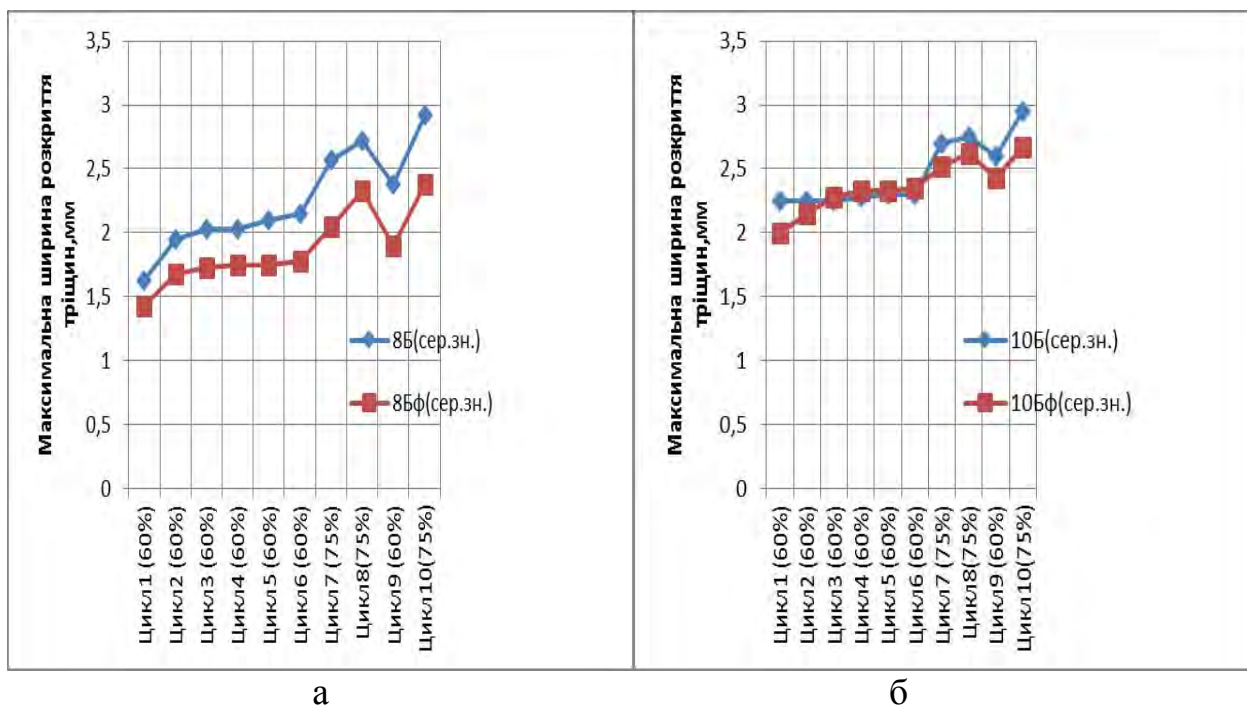


Рис. 4. Графіки середніх значень максимальної ширини розкриття тріщин в балках серії III-8Б-а; IV-10Б-б

Список використаних джерел

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. Крусь, Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень. Монографія. - Рівне, видавництво РДТУ, 1999.-119с.
7. 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.
8. ДСТУ – Н Б.В.2.6 – 185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевого композитною арматурою на основі базальтового – і склоровінгу. – 2012. – с.28.

АННОТАЦИЯ

В статье описана проблема влияния малоциклических нагрузок на базальтобетонные и базальтофибробетонные гибочные элементы. Экспериментально показано увеличение ширины раскрытия максимальной нормальной трещины в балочных базальтобетонных и базальтофибробетонных образцах при малоцикловых нагрузках с уровнями нагрузок $\eta_{\text{top}} = 0,6 \dots 0,75 R_{\text{cr}}$ по сравнению с одноразовыми нагрузками.

Ключевые слова: базальтопластиковая арматура, базальтобетонные балки, базальтофибробетонные балки, малоцикловые нагрузки, ширина раскрытия трещины.

ABSTRACT

In this article described the problem of influence the malotsyklovyh loads bazaltobetonnii and bazaltofibrobetonnii structures spans of bridges. The experimentally to shown the increase of maximum opening width of normal cracks in beam bazaltobetonnnyh and bazaltofibrobetonnnyh samples at malotsyklovyh loads of stress levels $\eta_{\text{top}} = 0,6 \dots 0,75 R_{\text{cr}}$ compared with disposable loading.

Keywords: fittings, beams, joists, load width crack width.