

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.072.2.012.45

П. М. КОВАЛЬ^{1*}, О. Я. ГРИМАК²

^{1*} Кафедра архітектурних конструкцій, Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, вул. Вознесенський узвіз, 20, Київ, Україна, 04053, тел. +038 (044) 272 19 70, ел. пошта koval_pm@meta.ua, ORCID 0000-0002-0040-5900

² Кафедра «Автомобільні дороги та мости», Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, тел. + 038 (032) 258 21 11, ел. пошта grymak5oleg@gmail.com, ORCID 0000-0002-0515-1663

ВПЛИВ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА РОБОТУ БЕТОННИХ БАЛОК, АРМОВАНИХ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ

Мета. Встановлення впливу малоциклових навантажень на зміну напружено-деформованого стану бетонних балок, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було досліджено 48 бетонних і базальтофіробетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, на дію одноразових і малоциклових навантажень за схемою чистого згину на силовому стінді. **Результати.** Отримано експериментальні дані про напружено-деформований стан бетонних та базальтофіробетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, при дії одноразових та малоциклових навантажень. Виконано порівняльний аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень. Встановлено, що малоциклові навантаження не зменшують несну здатність бетонних балочних елементів, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою, але вони викликають збільшення прогинів і ріст ширини розкриття тріщин. **Наукова новизна.** Вперше отримано експериментальні дані щодо напружено-деформованого стану, тріщиностійкості і прогинів балочних елементів, що згинаються при дії малоциклових навантажень. **Практична значимість.** Отримані експериментальні результати дають можливість розробити рекомендації з розрахунку прогинів і ширини розкриття тріщин бетонних балок, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою при дії малоциклових навантажень. В перспективі ці результати будуть використані при комплексному обґрунтуванні можливості використання бетонних елементів, армованих базальтопластиковою арматурою, в конструкціях транспортних споруд, які розраховуються на витривалість.

Ключові слова: малоциклові навантаження; бетонні балки; базальтопластиковою арматура; базальтофіробетон

Вступ

Більшість транспортних споруд збудовані та споруджуються в даний час із залізобетону. Так в Україні залізобетонні мости становлять 95,7 % від загальної кількості залізничних, автодорожніх і міських мостів [2]. Але залізобетонні мости мають суттєві проблеми в експлуатації. Так в державному стандарті України [1] встановлені такі проектні терміни служби мостів залежно від конструкцій: 70 років для збірних, 80 – для збірно-монолітних та 100 – для монолітних. Але реальні терміни служби залізобетонних конструкцій мостів в Україні не перевищують 40-50 років [3]. Як свідчить аналіз зарубіжної інформації, аналогічні проблеми є і в інших країнах. Так в роботі [12] вказується, що середній життєвий цикл залізобетонних

мостів Японії, встановлений міністерством фінансів, становить 60 років. Основною причиною невідповідності фактичних термінів мостів із залізобетонними конструкціями проектним термінам служби є корозія арматури, яка викликає втрату несучої здатності споруди [2,3].

Відомо, що сталеві арматури при дії зовнішнього середовища кородує, втрачаючи частину свого перерізу. В залізобетонних елементах від корозії вона захищена бетоном, який створює лужне середовище. Конструкції мостів експлуатуються в складних умовах, вони знають дії агресивного середовища, тому в їх залізобетонних елементах проходить карбонізація і хлоризація бетону, який втрачає при цьому захисні функції, розкриваються тріщини, відбуваються виколи і пошкодження захисного

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

шару бетону. В результаті цих процесів сталеві арматура, яку не захищає бетон, починає кородувати і технічний стан споруди суттєво погіршується.

Підвищити довговічність транспортних споруд дозволяє використання неметалевої арматури для армування їх бетонних конструкцій. В Україні під керівництвом професора Клімова Ю. А. було проведено комплекс експериментальних досліджень неметалевої композитної арматури на основі базальто- і склоровінігу та бетонних балок, армованих такою арматурою. В результаті досліджень [6] визначені фізико-механічні характеристики такої арматури, вивчено зчеплення неметалевої арматури з бетоном, особливості роботи бетонних елементів, що згинаються, армованих неметалевою арматурою, при дії одноразових навантажень. Базуючись на цих дослідженнях була розроблена Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінігу [5].

Але сфера застосування цього стандарту не поширюється на конструкції, що розраховуються на витривалість. Відомо, що в транспортних спорудах є конструкції, які не розраховуються на витривалість згідно вимог діючих норм на проектування, а є конструкції, які треба розраховувати на витривалість. Тому в даний час є можливість проектувати ряд бетонних конструкцій транспортних споруд, армованих неметалевою арматурою, згідно вимог Настанов [5]. Для того, щоб проектувати бетонні конструкції транспортних споруд, армованих неметалевою арматурою, які працюють на витривалість, необхідно провести дослідження роботи таких елементів на циклічні навантаження та розробити відповідні норми з розрахунку.

Діапазон використання композитного армування бетону досить великий. Цікавим є використання для армування системи, яка складається з органічних високоміцних волокон у вигляді сітки і стабілізованої неорганічної матриці, призначеної для з'єднання цієї сітки з бетоном. Застосування такого армування, як показали дослідження [4], суттєво збільшило міцність, жорсткість і тріщинотійкість балок.

Варто відмітити що за кордоном запроєктовано і збудовано різні споруди, в тому числі мости, які мають несучі конструкції із бетону, армованого неметалевою арматурою [8,11], во-

ни успішно експлуатуються ряд років. Науковці різних країн працюють над проблемою використання неметалевої арматури для армування бетонних конструкцій. За результатами їх досліджень та експериментального будівництва були прийняті нормативні документи з проектування конструкцій з неметалевою композитною арматурою в США [7], Канаді [9,10], Японії [14], Європейському Союзі [13].

Мета дослідження

Встановлення впливу малоциклового навантаження на зміну напружено-деформованого стану бетонних балок, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою.

Методика дослідження

Дослідними зразками були балки перерізом 100×200 мм і довжиною 2100 мм (рис. 1), які виготовлялися із бетону класу В40. Каркаси балок складаються з одного стержня робочої арматури діаметру 4; 6; 8; 10; 12 та 13 мм базальтопластикової арматури АНПБ (див. рис. 1). В крайніх третинах прогону було забезпечено поперечне армування арматурою $\varnothing 6$ мм класу А-1 довжиною 180 мм. Крок поперечних стержнів становив 100 мм, загальна кількість стержнів поперечної арматури – 16 шт. Верхнє армування виконане стержнями $\varnothing 6$ мм класу А-1 довжиною 730 мм в крайніх третинах прогону. Коефіцієнт армування поперечного перерізу конструкції ($\rho_{f,tot}$) становить 0,00073; 0,00158; 0,00286; 0,00446; 0,00649; 0,0077.

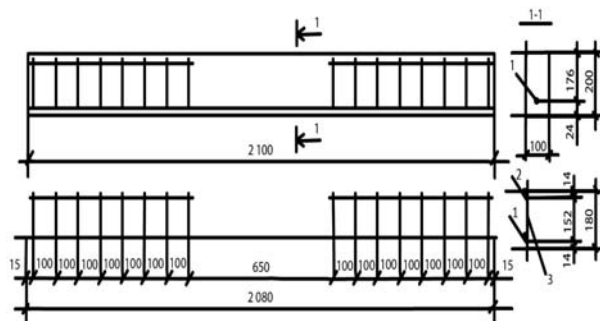


Рис.1 Конструкція базальтобетонних балок:
1 – 1 \varnothing (4; 6; 8; 10; 12; 13) АНПБ; 2 – 2 \varnothing 6А-1; 3 – 16 \varnothing 6А-1

Всього було досліджено 48 балок, з них: 12 – базальтобетонних балок марки Б на статичні навантаження; 12 – базальтобетонних балок марки Б на малоциклові навантаження; 12 – базальтофібробетонних балок марки Бф на стати-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

чні навантаження; 12 – базальтофіробетонних балок марки Бф на малоциклові навантаження. Дослідні балки були розбиті на 6 серій (I, II, III, IV, V, VI) в залежності від коефіцієнту армування ($\rho_{f, tot}$). В залежності від виду навантажен-

ня зразки було розбито на підсерії – 1 (одноразові навантаження) і 2 (малоциклові навантаження). Дані про склад експериментальних досліджень наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Програма експериментальних досліджень бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою

Серія	Робоча арматура Коефіцієнт армування	Одноразові навантаження		Малоциклові навантаження	
		Маркування зразків	Кількість балок	Маркування зразків	Кількість балок
I	1Ø4АНПБ 0,00073	I-Б1	2	I-Б1 М	2
		I-Б2		I-Б2 М	
		I-Бф1	2	I-Бф1 М	2
		I-Бф2		I-Бф2 М	
II	1Ø6АНПБ 0,00158	II-Б1	2	II-Б1 М	2
		II-Б2		II-Б2 М	
		II-Бф1	2	II-Бф1 М	2
		II-Бф2		II-Бф2 М	
III	1Ø8АНПБ 0,00286	III-Б1	2	III-Б1 М	2
		III-Б2		III-Б2 М	
		III-Бф1	2	III-Бф1 М	2
		III-Бф2		III-Бф2 М	
IV	1Ø10АНПБ 0,00446	IV-Б1	2	IV-Б1 М	2
		IV-Б2		IV-Б2 М	
		IV-Бф1	2	IV-Бф1 М	2
		IV-Бф2		IV-Бф2 М	
V	1Ø12АНПБ 0,00649	V-Б1	2	V-Б1 М	2
		V-Б2		V-Б2 М	
		V-Бф1	2	V-Бф1 М	2
		V-Бф2		V-Бф2 М	
VI	1Ø13АНПБ 0,0077	VI-Б1	2	VI-Б1М	2
		VI-Б2		VI-Б2 М	
		VI-Бф1	2	VI-Бф1 М	2
		VI-Бф2		VI-Бф2 М	

Випробування здійснювали на силовому стенді (рис. 2) двома зосередженими силами, розташованими в третинах прогону за схемою чистого згину. Фіброві деформації бетону по

висоті балки в середині прогону заміряли індикаторами з ціною поділки 0,001 мм на базі 200 мм та тензорезисторами на базі 50 мм у комплекті з вимірювальним приладом АВД 4М.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Прогини балок і осадки опор вимірювали прогиномірами Аістова ПА06. Ширину розкриття тріщини визначали за допомогою мікроскопа МПБ-2 і з ціною поділки 0,05 мм.



Рис. 2. Дослідження напружено-деформованого стану конструкцій, що згинаються, армованих композитною арматурою

Базою для оцінки роботи дослідних зразків балок на малоциклові навантаження були дані, отримані при випробуваннях аналогічних балок, випробуваних на одноразові навантаження.

Для випробування на малоциклові навантаження базою випробувань було прийнято число $N=10$ циклів (рис. 3). На балках-близнюках при одноразовому статичному завантаженні були визначені значення руйнівного навантаження R_{cr} . Базовим рівнем навантаження, до якого доводилися зразки, прийнято $0,6R_{cr}$.

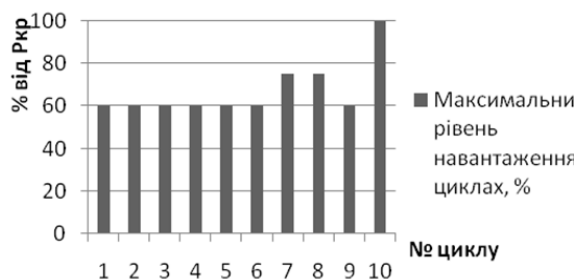


Рис. 3. Схема малоциклових навантажень

Для того, щоб моделювати довантаження конструкції до вищого рівня, після перших шести циклів з максимальним рівнем навантаження $0,6R_{cr}$, на сьомому і восьмому циклі рівень навантаження був доведений до $0,75R_{cr}$.

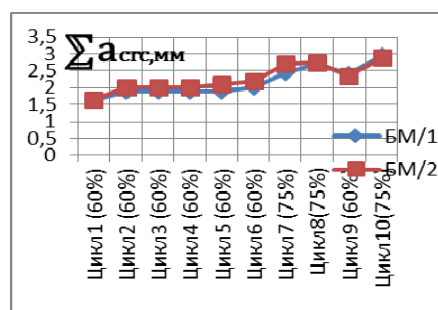
Дев'ятий цикл був проведений з максимальним рівнем навантаження $0,6R_{cr}$, десятий – знову до $0,75R_{cr}$. Після бази випробувань балки були доведені до руйнування одноразовим прикладенням зусилля з фіксацією руйнівного навантаження. Рівні навантажень були призначені

згідно параметрів циклів роботи автодорожніх мостів, які в середньому становлять $\eta_{top}=0,6\dots 0,8$. Послідовність рівнів навантаження по циклах також визначена на основі спостережень руху великовантажних навантажень по автодорожніх мостах.

Результати досліджень

За результатами випробувань балок на малоциклові навантаження були побудовані графіки збільшення ширини розкриття тріщин та графіки збільшення прогинів балок по циклам завантаження. Приклади таких графіків для балок близнюків серії III приведені на рис. 4.

a)



б)

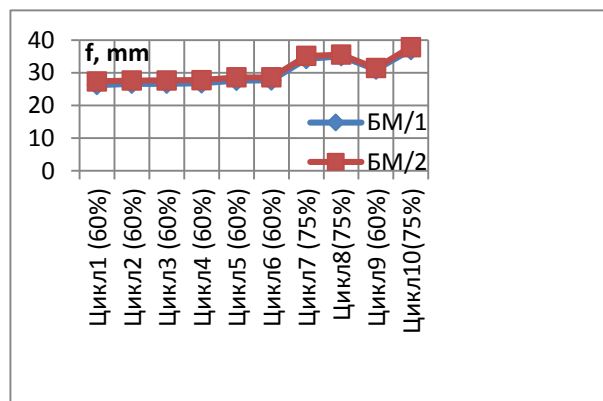


Рис. 4. Графіки: збільшення максимальної ширини розкриття тріщини (а) та графіки збільшення прогинів (б) балок серії III при малоциклових навантаженнях

Отримано експериментальні дані щодо руйнівних навантажень, моментів утворення тріщин, тріщин і прогинів, а також визначено характер руйнування для бетонних балок із різним коефіцієнтом армування базальтопластиковою арматурою (табл. 2).

Варто відмітити що всі балки витримали базу випробувань N , після чого були доведені до руйнування із фіксацією руйнівного зусилля.

Результати експериментальних досліджень базальтобетонних згинаних елементів на дію малоциклових навантажень

Серія	Маркування зразків	Руйнівне навантаження M_u , кНм	Момент утворення тріщин M_{cr} , кНм	Прогин f при M_u , мм	Характер руйнування
I	I-Б1 М	2,67	2,67	0,89	Розрив арматури розтягнутої зони
	I-Б2 М	2,83	2,83	0,74	
II	II-Б1 М	3,83	3,17	1,78	Розрив арматури розтягнутої зони
	II-Б2 М	5	3	1,71	
III	III-Б1 М	9,3	2,67	36,93	Розрив арматури розтягнутої зони та роздріб. бетону стиснутої зони
	III-Б2 М	9,3	2,67	37,83	
IV	IV-Б1 М	12	3,33	39,42	Розрив арматури розтягнутої зони роздріб. бетону стиснутої зони
	IV-Б2 М	12	3	40,55	
V	V-Б1 М	11,3	3	35,63	Роздрібнення бетону стиснутої зони
	V-Б2 М	12	2,87	36,87	
VI	VI-Б1 М	14,67	3,33	36,38	Роздрібнення бетону стиснутої зони
	VI-Б2 М	12,67	3,33	38,24	

При прикладанні малоциклових навантажень із рівнем навантаження $0,6P_{cr}$ спочатку спостерігалось збільшення прогинів і зростала ширина розкриття тріщин, але далі деформації стабілізувались і ріст прогинів і ширини розкриття тріщин призупинявся. При збільшенні рівня циклічних навантажень до $0,75P_{cr}$ знову збільшувались прогини і зростала ширина розкриття тріщин, що і відображається на відповідних графіках (див. рис. 4).

Важливим є те, що прикладання циклічних навантажень із рівнем навантаження $0,6P_{cr}$ і $0,75P_{cr}$, яке відповідає реальним рівням малоциклових навантажень на автодорожні мости, не призвело до руйнування балок від малоциклової втоми. Руйнівні навантаження для балок, що були випробуванні малоцикловими навантаженнями, за своєю величиною були близькі до руйнівних навантажень для балок, випробуваних одноразовими навантаженнями.

Наукова новизна

Вперше отримано експериментальні дані щодо напружено-деформованого стану, тріщиностійкості і прогинів балочних елементів, що згинаються при дії малоциклових навантажень.

Практична значимість

Отримані експериментальні результати дають можливість розробити рекомендації з розрахунку прогинів і ширини розкриття тріщин бетонних балок, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою при дії малоциклових навантажень. В перспективі ці результати будуть використані при комплексному обґрунтуванні можливості використання бетонних елементів, армованих базальтопластиковою арматурою, в конструкціях транспортних споруд, які розраховуються на витривалість.

Висновки

В результаті досліджень встановлено, що малоциклові навантаження рівнів $0,6P_{cr}$ і

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$0,75P_{cr}$ не зменшують несучу здатність бетонних балочних елементів, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою. Але такі малоциклові навантаження викликають збільшення прогинів і ріст ширини розкриття тріщин, що необхідно врахувати при розрахунку бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002 Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються ; надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
2. Коваль, П. М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України [Текст] / П. М. Коваль // Дороги і мости. – 2003. – С. 15-22.
3. Лантух-Лященко, А. И. Стратегия управления ресурсом железобетонных автодорожных мостов [Текст] / А. И. Лантух-Лященко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 95-100.
4. Мельник, І. В. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з поздовжньою арматурою класу А 500С, підсилених композитною системою RUREDIL X MESH GOLD [Текст] / І. В. Мельник, Р. З. Добрянський, Р. І. Канафозький, Н. Б. Давидовський // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 39. – С. 104-109.
5. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу [Текст]. – Надано чинності 2014-04-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012.
6. Солдатченко, О. С. Міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинальних конструкцій зі склопластиковою і базальтопластиковою композитною арматурою [Текст] : дис. к-та техн. наук : 05.23.01 / Солдатченко Олександр Сергійович ; Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2012. – 196 с. – Бібліогр.: с. 142-160.
7. ACI 440.1R-06 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars: ACI 440.1R-06 – ACI Committee 440, American Concrete Institute, 2006. – 44 p.
8. Adel ElSafti, Brahim Benmokrahe, Sami Rizkalla. Degradation Assessment of Internal Continuous Fiber Reinforcement in Concrete Environment: Materials Research Report – University of North Florida. – UNF Projekt Contract No. BDK 82 № 977 – 05. – 2013. – 398 p.
9. CAN/CSA-S806-02, “Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers”, Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (May 2002).
10. CAN/CSA-S6-06 “Canadian Highway Bridge Design Code” Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (December 2006)
11. Gscheider, Alfred. Anwendungsbeispiele fuer das vAnfragschwei – Ben nach dem Ellira – Verfahren. “SchwiBtechnik” (Oster) №10. – 2012. – P. 113-115.
12. Matsumoto, T. Survival analysis on bridges for modeling bridge replacement and evaluating bridge performance [Text] / T. Matsumoto. S. S. Beng // Proceeding Japan-Taiwan international workshop on urban regeneration. Maintenance and green material. – 2005. – P. 23-36.
13. Purpose and justification for new design standards regarding the use of fibre-reinforced polymer composites in civil engineering, support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes, EUR 22864 EN – 2007.
14. Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforced Materials, Concrete Engineering Series 23, ed. by A. Machida, Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, Japan, 1997.

П. Н. КОВАЛЬ^{1*}, О. Я. ГРЫМАК²

^{1*} Кафедра архитектурных конструкций, Национальная академия строительства и архитектуры, ул. Вознесенский спуск, 20, Киев, Украина, 04053, тел. +038 (044) 272 19 70, эл. почта koval_pm@meta.ua, ORCID 0000-0002-0040-5900

² Кафедра «Автомобильные дороги и мосты», Национальный университет «Львовская политехника», Степана Бандеры, 12, Львов, Украина, 79000, тел. + 038 (032) 258 21 11, эл. почта grymak5oleg@gmail.com, ORCID 0000-0002-0515-1663

ВЛИЯНИЕ МАЛОЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РАБОТУ БЕТОННЫХ БАЛОК, АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛТОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

Цель. Определение влияния малоциклических нагрузок на изменение напряженно-деформированного состояния изгибаемых бетонных балок, армированных базальтопластиковой арматурой. **Методика.** Для достижения поставленной цели было исследовано 48 бетонных и базальтофибробетонных балок, армированных базальтопластиковой арматурой, на воздействие одноразовых и малоциклических нагрузок по схеме чистого изгиба на силовом стенде. **Результаты.** Получены экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии бетонных и базальтофибробетонных балок, армированных базальтопластиковой арматурой, при воздействии одноразовых и малоциклических нагрузок. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов экспериментальных исследований. Установлено, что малоциклические нагрузки не уменьшают несущую способность изгибаемых бетонных балочных элементов, армированных базальтопластиковой арматурой, но они вызывают увеличение прогибов и рост ширины раскрытия трещин. **Научная новизна.** Впервые получены экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии, трещиностойкости и прогибах при воздействии малоциклических нагрузок. **Практическая значимость.** Полученные экспериментальные результаты дают возможность разработать рекомендации по расчету прогибов и ширины раскрытия трещин изгибаемых бетонных балок, армированных базальтопластиковой арматурой при воздействии малоциклических нагрузок. В перспективе эти результаты будут использованы при комплексном обосновании возможности использования бетонных элементов, армированных базальтопластиковой арматурой, в конструкциях транспортных сооружений, работающих на выносливость.

Ключевые слова: малоциклические нагрузки, бетонные балки, базальтопластиковая арматура, базальтофибробетон

P. M. KOVAL^{1*}, O. YA. HRYMAK²

^{1*}Department of architectural constructions, National Academy of Fine Arts and Architecture, 20 Voznesenskyi Uzviz st., Kyiv, Ukraine, 04053, tel. +038 (044) 272 19 70, e-mail koval_pm@meta.ua, ORCID 0000-0002-0040-5900

² Department of Roads and Bridges, National University "Lviv Polytechnic", 12 Stepan Bandera St., Lviv, Ukraine, 79000, tel. + 038 (032) 258 21 11, e-mail grymak5oleg@gmail.com, ORCID 0000-0002-0515-1663

IMPACT OF LOW-LOADING CYCLES ON CONCRETE BEAMS, STRENGTHENED BY BASALT-PLASTIC BARS

Purpose. Investigation of influence of low-loading cycles on change of stress-strain state of bended concrete beams, strengthened by basalt-plastic bars. **Methodology.** The effect of one-off and low-loading cycles of pure bending force on the stand research of 48 concrete and basalt-fiber concrete beams strengthened by basalt-plastic bars has been investigated to achieve this aim. **Findings.** The experimental data on the mode of deformation of ordinary concrete as same as basalt-fiber concrete beams strengthened by basalt-plastic bars under the action of on-off and low-loading cycles were obtained. Comparative analysis of the experimental results were conducted. It was found that low-loading cycles do not reduce the carrying ability of bended concrete beams strengthened by basalt-plastic bars, but they increase deflections width and crack tip opening displacement. **Originality.** For the first time experimental data for concrete beams' strengthened by basalt-plastic bars deformation mode, crack resistance and deflection under the action of low loading cycles was obtained. **Practical value.** The experimental results make it possible to develop the guidance on the calculation of width deflections and crack tip opening displacement of bended concrete beams strengthened by basalt-plastic bars under action of low-loading cycles. In the future these results will be used in complex substantiation of the possibility of using concrete elements, reinforced with basalt-plastic bars in the construction of transport facilities, which are calculated on endurance.

Keywords: low-loading cycles, concrete beams, basalt-plastic bars, basalt-fiber concrete

REFERENCES

1. DSTU-N B.V.2.3-23-2013. *Sporudy transportu. Nastanova z otsinyuvannya i prognozuvannya tehnicnogo stanu avtodorozhnih mostiv* [State Standard B.V.2.3-23-2013. Transport constructions. Guidance evaluation and forecasting technical condition of road bridges]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2013. 49 p.
2. Kovalj P. M. Kharakterystyka tekhnichnogho stanu isnujuchykh mostiv Ukrainy [Description of the technical state of the existing bridge Ukraine]. *Doroghy i mosty – Road and bridge*, 2003, pp. 15-22.
3. Lantukh-Lyashchenko, A. I. Strategiya upravleniya resursom zhelezobetonnykh avtodorozhnykh mostov [Resource management strategy of concrete highway bridges]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, Issue 3, pp. 95-100.
4. Meljnyk I. V., Dobrjanskyj R. Z., Kanafoc'kyj R. I., Davydovs'kyj N. B. Eksperymentaljni doslidzhennja zalizobetonnykh balok z pozdovzhnjoju armaturoju klasu A 500S, pidsylenykh kompozytnoju systemoju RUREDIL X MESH GOLD [Experimental study of reinforced concrete beams with longitudinal reinforcement Class A 500C reinforced composite system RUREDIL X MESH GOLD]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 39, pp. 104-109.
5. DSTU-N B V.2.6-185:2012. *Nastanova z proektuvannja ta vygotovlennja betonnykh konstrukcij z nemetalevoju kompozytnoju armaturoju na osnovi bazal'ito- i sklorovinghu* [Guidelines for the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based bazalto- and roving]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2012.
6. Soldatchenko O. S. Micnistj, zhorstkistj ta trishhynostijkistj zghynalnykh konstrukcij zi skloplastykovoju i bazal'itoplastykovuju kompozytnoju armaturoju [The strength, hardness and fracture toughness bending designs with fiberglass and composite reinforcement bazaltoplastykovoyu]. Kyjiv, 2012. – 196 p.
7. ACI 440.1R-06 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars: ACI 440.1R-06 – ACI Committee 440, American Concrete Institute, 2006. 44 p.
8. Adel ElSafti, Brahim Benmokrahe, Sami Rizkalla. Degradation Assessment of Internal Continuous Fiber Reinforcement in Concrete Environment: Materials Reseach Report. University of Nort Florida. UNF Projekt Contract No. BDK 82 № 977. 05, 2013. 398 p.
9. CAN/CSA-S806-02, “Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers”, Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (May 2002)
10. CAN/CSA-S6-06 “Canadian Highway Bridge Design Code” Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (December 2006)
11. Gscheider Alfred. Anwendungsbeispiele fur das vAnfragschwei – Ben nach dem Ellira – Verfahren. “SchwiBtechnik” (Oster) № 10, 2012, pp. 113-115.
12. Matsumoto T., Beng S. S. Survival analysis on bridges for modeling bridge replacement and evaluating bridge performance. Proceeding Japan-Taiwan international workshop on urban regeneration. Maintenance and green material, 2005, pp. 23-36.
13. Purpose and justification for new design standards regarding the use of fibre-reinforced polymer composites in civil engineering, support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes, EUR 22864 EN, 2007.
14. Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforced Materials, Concrete Engineering Series 23, ed. by A. Machida, Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, Japan, 1997.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н, проф. Б. Г. Демчиною (Україна), д.т.н., проф. Д. О. Банников (Україна).

Надійшла до редколегії 25.11.2016.

Прийнята до друку 26.12.2016.