

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.072.2/.7-033.37/.-036.5/.8

П. М. КОВАЛЬ^{1*}, О. Я. ГРИМАК², С. В. СТОЯНОВИЧ³

^{1*} Кафедра архітектурних конструкцій, Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, вул. Вознесенський узвіз, 20, Київ, Україна, 04053, тел. +38 (044) 272 19 70, ел. пошта koval_pm@meta.ua, ORCID 0000-0002-0040-5900

² Кафедра автомобільних доріг та мостів, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, тел. + 38 (032) 258 21 11, ел. пошта grymak5oleg@gmail.com, ORCID 0000-0002-0515-1663

³ Кафедра архітектурних конструкцій, Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, вул. Вознесенський узвіз, 20, Київ, Україна, 04053, тел. +38 (044) 272 19 70, ел. пошта serhiy_st1985@meta.ua, ORCID 0000-0002-1363-7356

ВРАХУВАННЯ ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ РОЗРАХУНКУ БЕТОННИХ БАЛОК, АРМОВАНИХ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ

Мета. Розробити пропозиції щодо врахування дії малоциклових навантажень при розрахунку бетонних балок, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою. **Методика.** Пропонується внести доповнення в розрахунки за другою групою граничних станів бетонних конструкцій, армованих базальтопластиковою арматурою, використавши результати експериментальних досліджень таких конструкцій. **Результати.** У формули для визначення прогинів і ширини розкриття тріщин введені коефіцієнти, визначені експериментально, які враховують дію циклічних навантажень різного рівня. Виконано порівняння експериментальних і теоретичних даних. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано врахування дії малоциклових навантажень при розрахунку бетонних конструкцій, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою. **Практична значимість.** Врахування дії малоциклових навантажень при розрахунку бетонних конструкцій, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою, забезпечить вищу надійність роботи таких конструкцій.

Ключові слова: малоциклові навантаження; бетонні балки; базальтопластикові арматури; прогини; ширина розкриття тріщин

Вступ

В сучасному будівництві широко використовується залізобетон, в ньому ефективно працюють бетон і сталеві арматури. Неметалева композитна арматура (НКА), яка не піддається корозії, має високу міцність на розтяг, діелектричні властивості, малу вагу, в останній час все частіше заміняє сталеву арматуру, особливо в будівлях та спорудах спеціального призначення. Її застосування для армування бетонних конструкцій стримується недостатнім дослідженням особливостей роботи таких елементів, обмеженим нормативним забезпеченням та малим досвідом експлуатації відповідних об'єктів.

Довговічність залізобетонних мостів, в залежності від конструкції, повинна складати 70-100 років згідно вимог норм. Але середній термін служби залізобетонних прогонових будов України не перевищує 47-50 років [1].

Перспективним напрямком у будівництві є використання неметалевої композитної арматури

у конструкціях транспортних споруд. В залізобетонних прогонових будовах мостів під час експлуатації відбувається карбонізація і хлоризація бетону, внаслідок чого сталеві арматури кородують, зменшується несна здатність і термін служби споруд. Використання неметалевої композитної арматури, яка не піддається корозії, дозволить суттєво знизити затрати на експлуатацію споруд та збільшити термін їх служби.

В Україні знаходяться значні поклади базальту, ряд заводів випускає високоякісну базальтопластикову арматуру. Виробництво такої арматури є менш шкідливим щодо впливу на навколишнє середовище у порівнянні із виробництвом сталевих арматур. Тому доцільно розробити науково-технічне і нормативне підґрунтя для використання в транспортному будівництві неметалевої композитної арматури, виготовленої із базальтових волокон.

Ґрунтовні дослідження механічних властивостей склопластикової та базальтопластикової арматури та її зчеплення з бетоном виконав

Солдатченко О. С. під керівництвом професора Клімова Ю. А. [2]. В цій роботі було також виконано експериментально-теоретичні дослідження напружено-деформованого стану згинаних бетонних елементів, армованих неметалевою арматурою; характер їх руйнування; їх міцність; жорсткість та тріщиностійкість. На основі цих досліджень розроблено методику розрахунку міцності, ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів таких елементів, яка була використана у нормативному документі [3].

В роботі [4] описано експериментальні дослідження бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою. Виконані дослідження показали, що несуча здатність балок із базальтопластиковою арматурою у 1,5 рази більша, ніж із сталевую. Зроблено висновок про ефективність використання базальтопластикової арматури в зв'язку з меншими затратами на виготовлення конструкцій та більшим терміном їх служби в агресивних середовищах у порівнянні із традиційною сталевую арматурою. Аналогічні результати отримані при дослідженні конструкцій із базальтопластиковою арматурою у роботах [5, 6, 7].

У США Міністерством транспорту у 1983 році була прийнята перша державна програма з дослідження і використання НКА «Застосування технології композитних матеріалів у проектуванні і будівництві мостів» [8]. Згідно цієї програми розроблено і реалізовано ряд проектів реконструкцій і будівництва мостів з НКА. В США і Канаді експлуатується біля 400 мостів, в яких використана НКА.

В Європі використання НКА у транспортному будівництві почалось у 1986 році в Німеччині, де був побудований автодорожній міст із застосуванням НКА. Арматура на основі скло-ролінгу була використана при будівництві дво-прольотного автодорожнього мосту та пішого-дного мосту у м. Дюсельдорфі [9].

У Канаді арматура з композитних матеріалів використовується для будівництва ряду автодорожніх мостів вже більше 20-ти років. У другій половині 90-х років тут були здані в експлуатацію 4 автодорожніх моста, при зведенні яких була використана композитна арматура (міст у м. Манітобі, та інші) [8]. На сьогоднішній день Канада займає лідируючі позиції в світі із застосування НКА при будівництві плит проїзної частини мостів. Відомо, що на конс-

трукції мостів діють постійні та тимчасові навантаження. Основними і найбільшими за вагою тимчасовими навантаженнями, на які розраховуються мости, є навантаження від транспортних засобів. В мостах є конструкції, які розраховуються на витривалість, тобто на багатоциклові навантаження 2×10^6 і більше циклів.

Коваль П. М. і Полюга Р. І. встановили, що крім багатоциклових навантажень на конструкції мостів діють малоциклові навантаження високого рівня [10, 11], які суттєво впливають на прогонові будови. До таких навантажень відносяться пропуск по мостам великовагових навантажень, натурні випробування та інші випадки циклічних навантажень мостів до відповідного високого рівня.

Дослідження залізобетонних балкових конструкцій показують, що малоциклові навантаження впливають на механічні та деформативні параметри конструкцій, процеси, які проходять при дії таких навантажень зумовлені нелінійністю деформування, мікротріщиноутворенням накопиченням залишкових деформацій, розущільненням бетону [12].

Під керівництвом П. М. Ковалю науковці Р. І. Полюга, С. В. Стоянович, Я. І. Ковальчик виконали дослідження роботи залізобетонних згинаних балкових елементів, що згинаються, на малоциклові навантаження високого рівня.

Р. І. Полюга випробував п'ять серій балок розміром $2100 \times 200 \times 100$ мм, армованих робочою арматурою $\varnothing 12$ мм класу А-III із бетону різного складу та міцності [11]. На основі результатів виконаних досліджень запропоновано ширину розкриття нормальних тріщин в залізобетонних елементах без попереднього напруження при дії малоциклових навантажень високого рівня визначати за формулою:

$$a_{cr} = \psi_{cyc} \frac{\sigma}{E} \psi \leq \Delta_{cr}, \quad (1)$$

де ψ_{cyc} – коефіцієнт, який враховує характер навантаження: при одноразовому навантаженні приймається $\psi_{cyc}=1,00$; при повторних коротко-часних малоциклових навантаженнях, рівень яких становить 60 % від руйнівного, $\psi_{cyc}=1,18$; якщо рівень становить 75 % від руйнівного, то $\psi_{cyc}=1,4$.

С. В. Стоянович досліджував натурні попередньо напруженні балки мостів довжиною 21 та 24 м [13]. Встановлено, що при дії малоцик-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

лових навантажень високого рівня фіброві деформації бетону балок збільшилися до 13,8 %, деформації канатної арматури – до 22,88 %, прогини – до 20,72 %. При натурних випробуваннях на повторні навантаження залізобетонних прогонових будов мостів зафіксовано збільшення прогинів балок на 3,38 %, деформацій бетону нижньої грані балок на 18,8 %. Дещо менший вплив малоциклових навантажень на прогини балок у складі прогонових будов у порівнянні з випробуваннями окремих балок пояснюється впливом просторової роботи та перерозподілом навантажень у прогоновій будові моста.

Я. І. Ковальчик дослідив попередньо напружені балки розміром 2100×210×100 мм, армовані канатами К-7, на дію малоциклових навантажень [14]. Запропоновано ширину розкриття нормальних тріщин в залізобетонних попередньо напружених елементах, що зазнають дії малоциклових навантажень, визначити за формулою:

$$a_{cr} = \psi_{cyc}^{crc} \frac{\sigma}{E} \Psi \leq \Delta_{cr}, \quad (2)$$

де ψ_{cyc}^{crc} – коефіцієнт, який враховує характер навантаження: при одноразовому навантаженні приймається $\psi_{cyc}^{crc} = 1,00$; при повторних короткочасних малоциклових навантаженнях, рівень яких становить 60 % від руйнівного, $\psi_{cyc}^{crc} = 1,41$; якщо рівень становить 75 % від руйнівного, то $\psi_{cyc}^{crc} = 1,59$.

На основі виконаних Я. І. Ковальчиком досліджень пропонується прогини f залізобетонних попередньо напружених елементів, які зазнають дії малоциклових навантажень, визначати за формулою:

$$f = \psi_{cyc}^f \sum \bar{M}(x) \frac{1}{\rho}(x) \Delta x, \quad (3)$$

де ψ_{cyc}^f – коефіцієнт, який враховує характер навантаження: при одноразовому навантаженні приймається $\psi_{cyc}^f = 1,00$; при малоциклових навантаженнях, рівень яких становить 60 % від руйнівного, $\psi_{cyc}^f = 1,12$; якщо рівень становить 75 % від руйнівного, $\psi_{cyc}^f = 1,67$.

Враховуючи, що малоциклові навантаження високого рівня суттєво впливають на деформативність та тріщиностійкість балкових залізобетонних елементів, що згинаються, доцільно дослідити на дію малоциклових навантажень і аналогічні бетонні елементи, армовані базальтопластиковою арматурою.

Мета

Розробити пропозиції щодо врахування дії малоциклових навантажень при розрахунку бетонних балок, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою.

Методика

При розробці методики розрахунку балкових базальтобетонних конструкцій мостів, що згинаються, за основу взято досвід розробки аналогічних нормативних документів для конструкцій з НКА за кордоном. Як свідчить огляд таких норм, вони базуються на підходах до розрахунку залізобетонних конструкцій із врахуванням особливостей матеріалів (НКА) та визначених експериментально особливостей роботи бетонних конструкцій, армованих НКА.

Вимоги до розрахунку залізобетонних конструкцій мостів викладені у ДБН В.2.3-14:2006 [15]. Механічні характеристики міцності базальтопластикової арматури приведені в ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 [3]. В настанові є також принципи розрахунку, правила конструювання і виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою.

Для забезпечення вимог безпеки базальтобетонні конструкції повинні мати такі початкові властивості, які з необхідним ступенем надійності для різних розрахункових ситуацій у процесі будівництва і експлуатації виключають можливість руйнування будь-якого характеру або порушення експлуатаційної придатності, пов'язаного із спричиненням шкоди для життя або здоров'я людини, майна або навколишнього середовища протягом всього проектного строку служби експлуатації відповідно до п. 4.2.1 ДБН В.2.3-22 [16].

Щоб забезпечити вимоги експлуатаційної придатності базальтобетонна конструкція повинна мати такі початкові властивості, які з належним ступенем надійності для різних розра-

хункових впливів запобігають утворенню або надмірному розкриттю тріщин, виникненню надмірних переміщень, коливань та пошкоджень, які ускладнюють нормальну експлуатацію.

Для забезпечення вимог довговічності базальтобетонна конструкція повинна мати такі початкові властивості, які б у встановлений термін експлуатації задовільняли вимоги з безпеки та експлуатаційної придатності з урахуванням впливу на геометричні характеристики конструкцій та механічні властивості матеріалів різних розрахункових впливів (тривала дія навантаження, багаторазово повторні навантаження, несприятливі кліматичні, технологічні впливи, зміни температури та вологості, зміни заморожування та відтавання, агресивні впливи тощо) відповідно до ДБН В.1.2-15 [17].

Для отримання експериментальних даних про напружено-деформований стан бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, авторами було досліджено 48 зразків балок на дію одноразових і малоциклових навантажень і виконано порівняльний аналіз отриманих результатів [18].

Результати

Експериментальними дослідженнями було встановлено, що малоциклові навантаження високого рівня не вплинули на несну здатність за згинальним моментом базальтобетонних і базальтофібробетонних балок. Тому в розрахунки за першою групою граничних станів таких конструкцій при дії на них малоциклових навантажень не потрібно вносити ніяких доповнень.

Як показали експериментальні дослідження, при дії малоциклових навантажень високого рівня в балкових базальтобетонних конструкціях, що згинаються, збільшується ширина розкриття тріщин і ростуть прогини. Тому доцільно внести доповнення в розрахунки таких конструкцій за другою групою граничних станів при дії малоциклових навантажень.

Ширину розкриття нормальних до поздовжньої осі тріщин a_{cr} у балкових базальтобетонних конструкціях мостів, що згинаються, при дії малоциклових навантажень пропонується визначати за формулою (3.85) ДБН В. 2.3 -14 [15] із врахуванням емпіричного коефіцієнта, що враховує дію циклічних навантажень:

$$a_{cr} = \Psi_{cyc}^{cr} \frac{\sigma}{E} \Psi \leq \Delta_{cr}, \quad (4)$$

де Ψ_{cyc}^{cr} – коефіцієнт, що враховує дію циклічних навантажень і приймається за табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта Ψ_{cyc}^{cr}

Коефіцієнт	Рівень малоциклового навантаження $0,6F_{cr}$	Рівень малоциклового навантаження $0,75F_{cr}$
Ψ_{cyc}^{cr}	1,12	1,5

Значення коефіцієнта Ψ_{cyc}^{cr} отримано із експериментальних даних дослідження базальтобетонних і базальтофібробетонних балок при дії малоциклових навантажень [18]. Оскільки приріст ширини розкриття тріщин в базальтобетонних і базальтофібробетонних балках був співставним, тому використані дані для спільної обробки результатів. В табл. 2 представлено збільшення ширини розкриття тріщин в балках у відсотках.

Таблиця 2

Збільшення ширини розкриття тріщин у відсотках в залежності від рівня навантаження (відносно першого циклу $0,6F_{cr}$)

Серія	Зразок	Приріст розкриття тріщини, %		Зразок	Приріст розкриття тріщини, %	
		Після 7 циклів з рівнем $0,6F_{cr}$	Після 10 циклів з рівнем $0,75F_{cr}$		Після 7 циклів з рівнем $0,6F_{cr}$	Після 10 циклів з рівнем $0,75F_{cr}$
		IV	IV-BO1		8,69	30,43
	IV-BO2	11,36	31,82	IV-BOф2	17,50	32,50
V	V-BO1	25,93	74,07	V-BOф1	6,25	56,25
	V-BO2	8,57	48,57	V-BOф2	13,33	66,67
VI	VI-BO1	5,88	52,94	VI-BOф1	10,00	70,00
	VI-BO2	8,57	54,29	VI-BOф2	9,68	48,39

В табл. 3 – експериментально визначені коефіцієнти збільшення ширини розкриття тріщин для кожної балки і усереднені дані для відповідних рівнів малоциклових навантажень.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 3

Експериментальні значення коефіцієнта $\Psi_{\text{сус}}^{\text{erc}}$

Серія	Рівень навантаження $0,6F_{\text{cr}}$		Рівень навантаження $0,75F_{\text{cr}}$	
	Балки БО	Балки БОф	Балки БО	Балки БОф
IV	1,10	1,19	1,31	1,34
V	1,17	1,10	1,61	1,61
VI	1,07	1,10	1,54	1,59
Сер. знач.	1,12		1,50	

Вплив малоциклових навантажень на прогини балкових базальтобетонних конструкцій мостів, що згинаються, враховується введенням у формулу (3.92) ДБН В.2.3 – 14 [15] коефіцієнта $\Psi_{\text{сус}}^f$:

$$f = \Psi_{\text{сус}}^f \sum \bar{M}(x) \frac{1}{\rho}(x) \Delta x, \quad (5)$$

де $\bar{M}(x)$ – значення згинального моменту в перерізі x від тимчасового навантаження, прикладеного в напрямку прогину f , що визначається; $\frac{1}{\rho}(x)$ – кривизна елемента в тому ж перерізі під тимчасовим навантаженням; Δx – довжина ділянки з постійним значенням $\bar{M}(x)$ і $\frac{1}{\rho}(x)$;

$\Psi_{\text{сус}}^f$ – коефіцієнт, що враховує дію циклічних навантажень і приймається за табл. 4.

Таблиця 4

Значення коефіцієнта $\Psi_{\text{сус}}^f$

Коефіцієнт	Рівень малоциклового навантаження $0,6F_{\text{cr}}$	Рівень малоциклового навантаження $0,75F_{\text{cr}}$
$\Psi_{\text{сус}}^f$	1,11	1,46

Значення коефіцієнта $\Psi_{\text{сус}}^f$ отримано із експериментальних даних дослідження базальтобетонних і базальтофіробетонних балок при дії малоциклових навантажень [18]. Приріст прогинів в базальтобетонних і базальтофіробетонних балках був співставним, тому ці дані були використані для спільної обробки результатів. В табл. 5 представлені експериментально визначені коефіцієнти збільшення про-

гинів для кожної балки і усереднені дані для рівнів малоциклових навантажень.

Виконано порівняння отриманих значень коефіцієнтів $\Psi_{\text{сус}}^{\text{erc}}$ і $\Psi_{\text{сус}}^f$ для базальтобетонних балок із аналогічними коефіцієнтами для залізобетонних балок. Балки таких самих розмірів на малоциклові навантаження випробовував Полюга Р. І. (арматура сталеву класу А-III) та Ковальчик Я. І. (попередньо напружена арматура канати К-7) У табл. 6 приведені коефіцієнти $\Psi_{\text{сус}}^{\text{erc}}$ і $\Psi_{\text{сус}}^f$ авторів, Полюги Р. І. та Ковальчика Я. І.

Таблиця 5

Експериментальні значення коефіцієнта $\Psi_{\text{сус}}^f$

Серія	Рівень навантаження $0,6F_{\text{cr}}$		Рівень навантаження $0,75F_{\text{cr}}$	
	Балки БО	Балки БОф	Балки БО	Балки БОф
IV	1,06	1,22	1,39	1,54
V	1,09	1,08	1,40	1,53
VI	1,12	1,12	1,47	1,46
Сер. знач.	1,11		1,46	

Таблиця 6

Коефіцієнти $\Psi_{\text{сус}}^{\text{erc}}$ і $\Psi_{\text{сус}}^f$ для балок із різною арматурою

Автор	Арматура	$\Psi_{\text{сус}}^{\text{erc}}$		$\Psi_{\text{сус}}^f$	
		$0,6F_{\text{cr}}$	$0,75F_{\text{cr}}$	$0,6F_{\text{cr}}$	$0,75F_{\text{cr}}$
Грибак О. Я.	Базальтопластикова	1,12	1,5	1,11	1,46
Полюга Р. І [6]	А-III	1,18	1,40	-	-
Ковальчик Я. І. [8]	Попередньо напружені канати	1,41	1,59	1,12	1,67

Як видно з представлених результатів балки із базальтопластиковою арматурою при дії малоциклових навантажень мають збільшення ширини розкриття тріщин і прогинів співрозмірне з балками із сталеву арматурою.

Виконано розрахунок прогинів і ширини розкриття тріщин дослідних зразків серії III при дії малоциклових навантажень за формулами ДБН В. 2.3-14 [15] і зроблено порівняння їх з

даними експериментальних досліджень. Як видно із рис. 1, відхилення експериментальних результатів від теоретичних даних становить до 15 % ... 22 %. Виконання розрахунків прогинів за формулою (3.92) ДБН В.2.3 – 14 [15] із врахуванням коефіцієнта ψ_{cyc}^f (5) і ширини розкриття тріщин за формулою (3.85) ДБН В. 2.3 - 14 [15] із врахуванням коефіцієнта ψ_{cyc}^{crc} (4) дає теоретичні результати, які значно ближчі до експериментальних, відхилення становить 2,5 % ... 8 %. Це свідчить, що дію малоцикло-вих навантажень на балкові базальтобетонні елементи, що згинаються, можна враховувати використанням формул (3.85) і (3.92) ДБН В.2.3 – 14 [15].

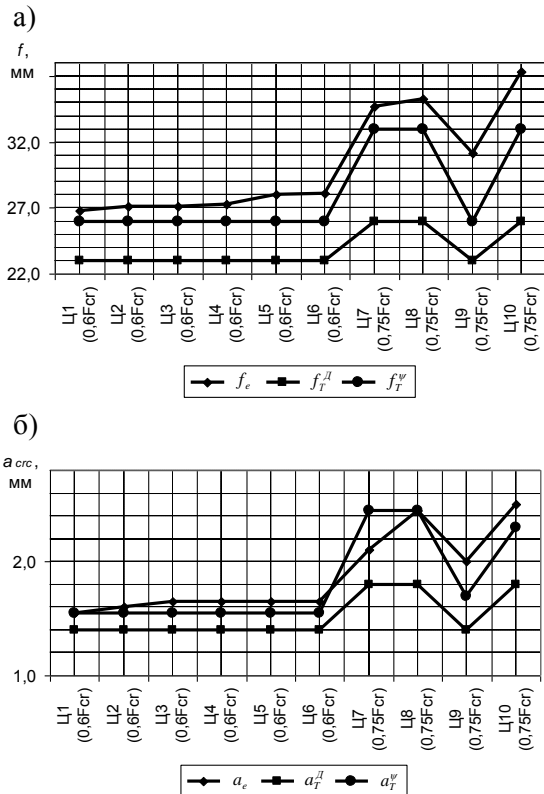


Рис. 1 Максимальні прогини (а) і ширина розкриття тріщин (б) по циклах для базальтобетонних балок серії III

На рис. 1 наведені такі позначки: f_e – середнє значення прогину за випробуванням двох балок; f_T^{II} – розрахункове значення прогину f згідно з ДБН В.2.3-14; f_T^V – розрахункове значення прогину f згідно з ДБН В.2.3-14 з врахуван-

ням ψ_{cyc}^f ; a_e – середнє значення максимальної ширини розкриття тріщин за випробуванням двох балок; a_T^{II} – розрахункове значення ширини розкриття тріщини a_{crc} згідно з ДБН В.2.3-14; a_T^V – розрахункове значення ширини розкриття тріщини a_{crc} згідно з ДБН В.2.3-14 з врахуванням ψ_{cyc}^{crc} .

Наукова новизна

Вперше запропоновано врахування дії малоцикло-вих навантажень при розрахунку бетонних конструкцій, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою.

Практична значимість

Врахування дії малоцикло-вих навантажень при розрахунку бетонних конструкцій, що згинаються, армованих базальтопластиковою арматурою дає можливість отримати теоретичні прогини і ширини розкриття тріщин, близькі до реальних, що забезпечить проектування таких конструкцій з вищою надійністю.

Висновки

1. Запропоновано при розрахунку ширини розкриття тріщин базальтобетонних балок враховувати дію малоцикло-вих навантажень високого рівня введенням коефіцієнта ψ_{cyc}^{crc} , який при повторних навантаженнях рівня $0,6F_{cr}$ приймається $\psi_{cyc}^{crc} = 1,12$, при рівні навантаження $0,75F_{cr}$ $\psi_{cyc}^{crc} = 1,5$.

2. Запропоновано при визначенні прогинів базальтобетонних балок враховувати дію малоцикло-вих навантажень високого рівня введенням коефіцієнта ψ_{cyc}^f , який при повторних навантаженнях рівня $0,6F_{cr}$ приймається $\psi_{cyc}^f = 1,11$, при рівні навантажень $0,75F_{cr}$ $\psi_{cyc}^f = 1,46$.

3. Порівняння теоретичних результатів, отриманих за запропонованою методикою розрахунку балкових базальтобетонних конструкцій мостів, що згинаються, за другою групою граничних станів, із експериментальними да-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ними показали хорошу схожимість, що підтверджує можливість використання запропонованої методики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Давиденко, О. О. Статичний прогноз технічного стану автодорожніх мостів України [Текст] / О. О. Давиденко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2016. – Вип. 10. – С. 4-12.
2. 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. 160 с.
3. 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. – 28 с.
4. Кустикова, Ю. О. Напряженно-деформированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях [Текст] / Ю. О. Кустикова, В. И. Римшик // Журнал промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №6. – С. 6-9.
5. Altalmas A., Refai A., Abed F. Bond degradation of basalt fiber-reinforced polymer (BFRP) bars exposed to accelerated aging conditions / Construction and Building Materials, 2015, №81, pp. 162-171.
6. Elgabbas F., Ahmed E., Benmokrane B. Development and characterization of basalt FRP reinforcing bars for concrete structures / The 7th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, 2014, pp. 1-6.
7. Elgabbas F., Vincent P., Ahmed E., Benmokrane B. Experimental Testing of Basalt-Fiber-reinforced Polymer Bars in Concrete Beams / Composites Part B: Engineering, Vol. 91, 15 april – 2016, pp. 205-218.
8. 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.
9. FIB Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures. – International Federation for Structural Concrete, 2007. 160 p.
10. Коваль, П. М. Робота автодорожніх мостів під дією малоциклових навантажень [Текст] / П. М. Коваль, Р. І. Полюга // Автошляховик України, – 2006. №3. – С. 34-37.
11. Полюга, Р. І. Тріщиностійкість залізобетонних балкових конструкцій автодорожніх мостів в умовах малоциклових навантажень [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Полюга Роман Ігорович. – Львів, 2006. – 160 с.
12. Дорофеев, В. С. Міцність та тріщиностійкість залізобетонних балкових конструкцій за дії малоциклових знакопостійних і знакозмінних навантажень високих рівнів [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карплюк, К. І. Албу, Ю. А. Сьоміна // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2016.. – Вип. 10. – С. 13-26.
13. Стоянович, С. В. Напружено-деформований стан збірно-монолітних попередньо напружених залізобетонних прогонових будов мостів [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.23.01 / Стоянович Сергій Володимирович. – Київ, 2013. – 197 с.
14. Ковальчик, Я. І. Міцність, тріщиностійкість та деформативність попередньо напружених балкових залізобетонних прогонових будов мостів [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Я. І. Ковальчик. – Київ, 2015. – 224 с.
15. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
16. ДБН В.2.3-22 -2009. Споруди транспорту. Мости і труби. Основні вимоги проектування [Текст].– Надано чинності 2009-11-11 – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
17. ДБН В.1.2-15:2009. Мости та труби. Навантаження та впливи [Текст].– Надано чинності 2010-03-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 66 с.
18. Коваль, П. М. Вплив малоциклових навантажень на роботу бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою [Текст] / П. М. Коваль, О. Я. Гримак // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2016. – Вип. 10. – С. 35-42.

П. М. КОВАЛЬ^{1*}, О. Я. ГРИМАК², С. В. СТОЯНОВИЧ³

^{1*} Кафедра архитектурных конструкций, Национальная академия изобразительного искусства и архитектуры, ул. Вознесенский спуск, 20, Киев, Украина, 04053, тел. +38 (044) 272 19 70, эл. почта koval_pm@meta.ua, ORCID 0000-0002-0040-5900

² Кафедра автомобильных дорог и мостов, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Степана Бандеры, 12, Львов, Украина, 79000, тел. + 38 (032) 258 21 11, эл. почта grymak5oleg@gmail.com, ORCID 0000-0002-0515-1663

³ Кафедра архитектурных конструкций, Национальная академия изобразительного искусства и архитектуры, ул. Вознесенский спуск, 20, Киев, Украина, 04053, тел. +38 (044) 272 19 70, эл. почта serhiy_st1985@meta.ua, ORCID 0000-0002-1363-7356

УЧЕТ ДЕЙСТВИЯ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ РАСЧЕТЕ БЕТОННЫХ БАЛОК, АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

Цель. Разработать предложения по учету действия малоцикловых нагрузок при расчете изгибаемых бетонных балок, армированных базальтопластиковой арматурой. **Методика.** Предлагается внести дополнение в расчеты по второй группе предельных состояний бетонных конструкций, армированных базальтопластиковой арматурой, используя результаты экспериментальных исследований таких конструкций. **Результаты.** В формулы для определения прогибов и ширины раскрытия трещин введены коэффициенты, полученные экспериментально, учитывающие действие циклических нагрузок различного уровня. Выполнено сравнение экспериментальных и теоретических данных. **Научная новизна.** Впервые предложено учет действия малоцикловых нагрузок при расчете изгибаемых бетонных конструкций, армированных базальтопластиковой арматурой. **Практическая значимость.** Учет действия малоцикловых нагрузок при расчете изгибаемых бетонных конструкций, армированных базальтопластиковой арматурой, обеспечит высокую надежность работы таких конструкций.

Ключевые слова: малоцикловые нагрузки; бетонные балки; базальтопластиковая арматура; прогибы; ширина раскрытия трещин

P. M. KOVAL^{1*}, O. YA. HRYMAK², S. V. STOYANOVICH³

^{1*} Department of Architectural Constructions, National Academy of Fine Arts and Architecture, Voznesenski Uzviz st., 20, Kyiv, Ukraine, 04053, tel. +38 (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" Stepan Bandera Str., 12, Lviv, Ukraine, 79000, tel. +38 (032) 258 21 11, e-mail grymak5oleg@gmail.com, ORCID 0000-0002-0515-1663

³ Department of Architectural Constructions, National Academy of Fine Arts and Architecture, Voznesenski Uzviz st., 20, Kyiv, Ukraine, 04053, tel. +38 (044) 272 19 70, e-mail serhiy_st1985@meta.ua, ORCID 0000-0002-1363-7356

TAKING INTO ACCOUNT THE ACTION OF LOW-CYCLE LOADS WHEN CALCULATING CONCRETE BEAMS REINFORCED BY BASALT-PLASTIC REINFORCEMENT

Purpose. To develop proposals for accounting for action of low-cycle loads in the calculation of bending of concrete beams reinforced with basalt-plastic reinforcement. **Methodology.** It is proposed to make an addition to the calculations of the second group of limit states of concrete constructions reinforced with basalt-plastic reinforcement, using the results of experimental studies of such structures. **Findings.** In the formulas for determining the deflections and the width of the crack opening, the coefficients obtained experimentally are introduced, taking into account the effect of cyclic loads of different levels. A comparison is made between the experimental and theoretical data. **Originality.** For the first time, it was suggested to take into account the effect of low-cycle loads when calculating bent concrete structures reinforced with basalt-plastic reinforcement. **Practical value.** Accounting for the action of low-cycle loads in the calculation of bent concrete structures reinforced with basalt-plastic reinforcement will ensure high reliability of the operation of such structures.

Keywords: low-cycle loads; concrete beams; basalt-plastic bars; deflections; crack opening width

REFERENCES

1. Davydenko O. O. Statychnyi prohnoz tekhnichnoho stanu avtodorozhnykh mostiv Ukrainy [Static forecast of the technical road of the motor roads of Ukraine]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2016, issue 10, pp. 4-12.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

2. Soldatchenko O. S. Mitsnist, zhorstkist ta trishchynostiikist zghynalnykh konstruktzii zi skloplastykovoiu i bazaltoplastykovoiu kompozytnoiu armaturoiu. Diss. [Strength, rigidity and fission of flexural structures with fiberglass and basalt-plastic composite reinforcement]. Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury. Kyjiv, 2012. 160 p.
3. DSTU-N B V.2.6-185:2012. Nastanova z proektuvannja ta vygotovlennja betonnykh konstrukcij z nemetalevoju kompozytnuju armaturoju na osnovi bazaljtio- i sklorovinghu [Guidelines for the design and manufacture of concrete structures with non-metallic composite reinforcement based basalto- and roving]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2012.
4. Kustykova Yu. O., Rymshyk V. Y. Napriazhenno-deformirovannoe sostoianye bazaltoplastykovoi armatury v zhelezobetonnykh konstruktsiyakh [Stress-strain state of basalt-plastic reinforcement in reinforced concrete structures]. *Zhurnal promyshlennoe y hrzhdanskoe stroytelstvo – Journal of Industrial and Civil Engineering*, 2014, №6, pp. 6-9.
5. Altalmas A., Refai A., Abed F. Bond degradation of basalt fiber-reinforced polymer (BFRP) bars exposed to accelerated aging conditions. *Construction and Building Materials*, 2015, №81, pp. 162-171.
6. Elgabbas F., Ahmed E., Benmokrane B. Development and characterization of basalt FRP reinforcing bars for concrete structures. *The 7th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*, 2014, pp. 1-6.
7. Elgabbas F., Vincent P., Ahmed E., Benmokrane B. Experimental Testing of Basalt-Fiber-reinforced Polymer Bars in Concrete Beams. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 91, 15 april 2016, pp. 205-218.
8. 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.
9. FIB Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures. – International Federation for Structural Concrete, 2007. 160 p.
10. Koval P. M., Poliuha R. I. Robota avtorozhnikh mostiv pid diieiu malo tsyklovykh navantazhen [Work of road bridges under the influence of low cycle loads]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy Publ.*, 2006, №3. pp. 34-37.
11. Poliuha R. I. Trishchynostiikist zalizobetonnykh balkovykh konstruktzii avtorozhnikh mostiv v umovakh malotsyklovykh navantazhen Diss. [Flexibility of reinforced concrete structures of road bridges in conditions of low cycle loads] Lviv, 2006. 160 p.
12. Dorofieiev V. S., Karpluk V. M., Albu K. I., Somina Yu. A. Mitsnist ta trishchynostiikist zalizobetonnykh balkovykh konstruktzii za dii malotsyklovykh znakopostiinykh i znakozminnykh navantazhen vysokyykh rivniv [Strength and crack resistance of reinforced concrete structures for the effect of low-cycle sign-constant and sign-loaded high-level loads]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2016, issue 10, pp. 13-26.
13. Stoianovych S. V. Napruzhenno-deformovanyi stan zbirno-monolitnykh poperedno napruzhenykh zalizobetonnykh prohonovykh budov mostiv. [Stress-deformed state of prefabricated monolithic pre-stressed reinforced concrete runways of bridges]. Kyjiv, 2013. 197 p.
14. Kovalchuk Ya. I. Mitsnist, trishchynostiikist ta deformatyvny stan poperedno napruzhenykh balkovykh zalizobetonnykh prohonovykh budov mostiv. Diss. [Strength, crack resistance and deformability of pre-stressed beam reinforced concrete runways of bridges]. Kyjiv, 2015. 224 p.
15. DBN V.2.3-14-2006. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannja* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyjiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
16. DBN V.2.3-22 -2009. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymoghy proektuvannja* [State Standard V.2.3-22-2009. Constructions of transport. Bridges and pipes. Basic design requirements]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 73 c.
17. DBN V.1.2-15:2009. *Mosty ta truby. Navantazhennja ta vplyvy* [Bridges and pipes. Loads and effects]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 66 p.
18. Koval P. M., Hrymak O. Ya. Vplyv malotsyklovykh navantazhen na robotu betonnykh balok, armovanykh bazaltoplastykovoiu armaturoiu [Influence of low-cycle loads on the work of concrete beams reinforced with basalt-plasticized reinforcement]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2016, issue 10, pp.35-42.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н, проф. А. С. Дехтяр, д.т.н., проф. А. В. Радкевич

Надійшла до редколегії 18.09.2018.

Прийнята до друку 22.10.2018.