

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**Гримак Олег Ярославович**

УДК 624.072.2; 691.328.4

**«МІЦНІСТЬ, ДЕФОРМАТИВНІСТЬ І ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ  
БЕТОННИХ БАЛКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ МОСТІВ  
ІЗ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ»**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Львів 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, професор  
**Коваль Петро Миколайович,**  
Національна академія образотворчого  
мистецтва і архітектури  
Міністерства культури України,  
завідувач кафедри  
архітектурних конструкцій

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Лапенко Олександр Іванович,**  
Національний авіаційний університет,  
завідувач кафедри  
комп'ютерних технологій будівництва

кандидат технічних наук, доцент  
**Фамуляк Юрій Євгенович,**  
Львівський національний аграрний університет,  
завідувач кафедри  
технології і організації будівництва

Захист відбудеться «02» квітня 2019 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, буд. 6 (II-й навчальний корпус), ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, буд. 1.

Автореферат розісланий «28» лютого 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17



П. Ф. Холод

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасному будівництві широко використовується залізобетон, в ньому ефективно працюють бетон і сталева арматура. Неметалева композитна арматура, яка має високу міцність, діелектричні властивості, малу вагу, не піддається корозії, 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.

Актуальними задачами є проведення досліджень конструкцій, армованих базальтопластиковою арматурою, та розробка нормативних документів, які б забезпечували можливість використання такої арматури у будівництві.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Тема дисертації є складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри автомобільних доріг та мостів Національного університету «Львівська політехніка» і виконувалась в рамках тем "Розробити рекомендації з проектування базальтобетонних конструкцій мостів і труб" (номер держреєстрації 0112U003779) та «Провести дослідження та розробити методику розрахунку бетонних конструкцій мостів, армованих базальтопластиковою арматурою на дію малоциклових навантажень» (номер держреєстрації 0115U005137), розроблених на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодору).

**Мета роботи та завдання дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає у експериментально-теоретичному дослідженні роботи під навантаженням бетонних і фібробетонних згинаних елементів, армованих композитною базальтопластиковою арматурою.

Для досягнення поставленої мети здобувачем вирішувались такі **завдання**:

- експериментально дослідити напружено-деформований стан, характер руйнування, міцність, ширину розкриття нормальних тріщин і прогини балкових згинаних базальтобетонних елементів з різними відсотками армування;
- виконати експериментальні дослідження впливу на роботу балкових згинаних базальтобетонних елементів базальтової фібри;
- провести експериментальні дослідження впливу малоциклових навантажень високого рівня на ширину розкриття нормальних тріщин та прогинів балкових згинаних базальтобетонних елементів;
- перевірити можливість використання методики розрахунку залізобетонних згинаних елементів за ДБН В. 2.3–14:2006, а також за ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 «Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і скло- ровінгу» для аналогічних розрахунків базальтобетонних елементів;
- розробити рекомендації з розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів згинаних базальтобетонних конструкцій мостів при дії малоциклових навантажень високого рівня;

– встановити параметри випромінювання акустичної емісії згинаними базальтобетонними конструкціями при утворенні тріщин під час дії одноразових та малоциклових навантажень.

**Об'єкт дослідження** – робота бетонних і фібробетонних елементів, армованих базальтопластиковою арматурою, при дії одноразових та малоциклових навантажень.

**Предмет дослідження** – напружено-деформований стан, міцність, ширина розкриття нормальних тріщин і прогини згинаних балкових бетонних та фібробетонних елементів, армованих базальтопластиковою арматурою, при дії одноразових та малоциклових навантажень.

**Методи дослідження** – сучасні методи експериментальних досліджень, методи теорії залізобетону та розрахунку конструкцій за граничними станами, метод акустичної емісії, метод скінчених елементів, порівняння та аналіз результатів експериментальних досліджень та теоретичних даних.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

– отримані нові експериментальні дані напружено-деформованого стану, характеру руйнування, міцності, ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів балкових згинаних базальтобетонних елементів;

– вперше отримані експериментальні дані впливу на роботу балкових згинаних базальтобетонних елементів мікроармування бетону базальтовою фіброю;

– вперше отримані експериментальні дані впливу малоциклових навантажень високого рівня на ширину розкриття нормальних тріщин та прогинів балкових згинаних базальтобетонних елементів;

– дістала подальший розвиток і адаптована методика розрахунку залізобетонних згинаних елементів за нормами проектування мостів ДБН В. 2.3–14:2006 до розрахунку міцності, ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів згинаних базальтобетонних конструкцій мостів;

– вперше розроблені рекомендації з розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів згинаних базальтобетонних конструкцій мостів при дії малоциклових навантажень високого рівня;

– вперше встановлено параметри випромінювання акустичної емісії згинаними базальтобетонними конструкціями.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці алгоритмів розрахунку базальтобетонних конструкцій транспортних споруд та методики розрахунку таких конструкцій на дію малоциклових навантажень. Їх можна використовувати при проектуванні мостів та інших споруд із використанням бетонних конструкцій, армованих базальтопластиковою арматурою.

**Отримані результат роботи були використані** ДП «Державний дорожній науково-дослідницький інститут ім. М. П. Шульгіна» (ДерждорНДІ) при розробці нормативних документів РВ 2.3–03450778–846:2014 «Рекомендації з проектування базальтобетонних конструкцій мостів і труб» та М 42.1–37641918–758:2017 «Методика розрахунку бетонних конструкцій мостів, армованих базальтопластиковою арматурою, на дію малоциклових навантажень», а також Науково-виробничим підприємством «ТРІАДА» при розробці проекту капітального

ремонті моста на автомобільній дорозі Київ – Харків – Довжанський, км 314.

**Особистий внесок здобувача.** Результати досліджень, що представлені у роботі, отримані автором самостійно та виносяться до захисту вперше. Внесок автора полягає в аналізі літературних джерел, загальній постановці проблеми, плануванні та особистому виконанні експериментальних досліджень, аналізі їх результатів; розробці основних теоретичних положень роботи; в практичній реалізації результатів досліджень у нормативних документах та при проектуванні реальних об'єктів будівництва; формулюванні основних висновків дисертації.

Формулювання мети, завдання, програми досліджень, планування роботи, обговорення статей і тез доповідей на конференціях здійснювалося під керівництвом наукового керівника – к. т. н., проф. Ковалю П. М.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались й обговорювалися на таких конференціях: VII науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (НУВГП, м. Рівне, 2011 р.), 16-й конференції молодих вчених «Наука – будуще Литви» (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, м. Вільнюс, 2013 р.), III-й міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (НЛТУ, м. Луцьк, 2014 р.), Міжнародній науково-практичній виставці-конференції молодих вчених і студентів «ІННОВАЦІЇ В БУДІВНИЦТВІ» (НЛТУ, м. Луцьк, 2014 р.), 19-й Міжнародній конференції «Ibausil» (Bauhaus–Universität, Weimar Bundesrepublik Deutschland, 2015 р.), Міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (ОДАБА, м. Одеса, 2015 р.), Всеукраїнській інтернет-конференції молодих вчених та студентів «Композиційні будівельні матеріали і вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості» (ПолтНТУ, м. Полтава, 2015 р.), Науково-практичній конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (КНУБА, м. Київ, 2016 р.), V-й Міжнародній науково-технічній конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика» (ДНУЗТ, м. Дніпро, 2016 р.), Міжнародній конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (ОДАБА, м. Одеса, 2018 р.), V-й Міжнародній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки». (ОДАБА, м. Одеса, 2018 р.), VI-й Міжнародній науково-технічній конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика» (ДНУЗТ, м. Дніпро, 2018 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 13 наукових праць, з них: 1 (одна) стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, 5 (п'ять) у наукових фахових виданнях України та 1 (одна) стаття у виданні, яке індексується базою Index Copernicus.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 143 найменувань, та чотирьох додатків. Робота викладена на 180 сторінках, у тому числі 118 сторінок основного тексту, 46 таблиць, 53 ілюстрацій, 16 сторінок списку використаних джерел та 34 сторінок додатків.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Автомобільні дороги та мости» Національного університету «Львівська політехніка» у 2011 – 2019 роках під керівництвом кандидата технічних наук, професора Ковалю П. М.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, наведено відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет досліджень та перелічено використовувані методи. Визначено наукову новизну роботи, практичне значення одержаних результатів, подано відомості про впровадження результатів роботи. Зазначений особистий внесок здобувача, наведено інформацію про апробацію результатів роботи, публікації за темою дисертаційного дослідження, описано структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** здійснений огляд літературних джерел, присвячених перспективі використання неметалевої композитної арматури, технології її виготовлення, виокремлено переваги та недоліки неметалевої композитної арматури в порівнянні із сталевую. Приведені відомості про історичний розвиток застосування неметалевої композитної арматури у вітчизняному та зарубіжному будівництві. Проаналізовані дослідження бетонних конструкцій, армованих композитною арматурою, якими займалися вчені Бамбура А. М., Барашиков А. Я., Вильдановський Ю. М., Клімов Ю. А., Канюк В. М., Кузеванов Д. В., Михайлов К. В., Овчинников І. І., Ониськів Б. М., Солдатченко О. С., Bank L., Brik V. B., Fares E. та інші.

Розглянуто процес виготовлення, фізико-механічні характеристики, переваги і недоліки неметалевої композитної арматури. Приведено дані досліджень щодо можливості використання неметалевої композитної арматури для армування бетонних елементів. Розглянуто досвід використання цієї арматури для армування конструкцій із бетону в Європі, Росії, США, Канаді.

Перспективним для армування бетонів є використання базальтової фібри, враховуючи те, що поклади базальту знаходяться в багатьох країнах світу, в тому числі значні – в Україні. Наведено дані щодо використання базальтової фібри для дисперсного армування бетонів. Розглянуто результати досліджень фібробетонів та досвід їх використання. Визначено позитивний вплив на характеристики бетону використання базальтової фібри – підвищується міцність бетону на розтяг, тріщиностійкість, знижується його стираність, спостерігається більш пластичний характер руйнування.

Оскільки на конструкції мостів діють циклічні навантаження, висвітлено основні відомості про малоциклові навантаження. Проаналізовано дослідження балкових залізобетонних згинаних конструкцій при дії малоциклових навантажень.

Під керівництвом професора Є. М. Бабича у НУВГП (м. Рівне) було створено наукову школу і виконано комплекс експериментально-теоретичних досліджень роботи бетонних та залізобетонних конструкцій при дії малоциклових навантажень

Приведена інформація щодо норм та рекомендацій з розрахунку бетонних конструкцій, армованих неметалевою композитною арматурою, розроблених у Європі, Японії, Канаді, США, Росії, Білорусії та Україні. Визначено, що всі норми з розрахунку конструкцій з неметалевою композитною арматурою базуються на двох підходах: європейському і північноамериканському. В них використовується та ж методика розрахунку, що і для залізобетонних конструкцій, із врахуванням

особливостей характеристик неметалевої композитної арматури.

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету дисертаційної роботи та завдання дослідження, необхідні для досягнення поставленої мети.

У другому розділі наведено дані досліджень арматури і бетону, які використовувалися для виготовлення дослідних зразків балок. Висвітлено методику визначення фізико-механічних характеристик базальтопластикової арматури та приведені результати досліджень їх зразків різного діаметру. Міцнісні та деформативні характеристики бетону та базальтофіробетону для дослідних зразків балок визначались випробуванням кубів розмірами  $100 \times 100 \times 100$  мм і призм розмірами  $150 \times 150 \times 600$  мм та  $100 \times 100 \times 400$  мм

При експериментальних дослідженнях базальтофіробетону використовувалась базальтова фібра довжиною 24 мм. Вміст фібри приймався по масі від маси цементу в сухому стані і становив від 0% (контрольні зразки без армування) до 6%, для дослідних балок прийнято вміст фібри 4%. Використання базальтової фібри підвищило міцність бетону на розтяг до 33%, стиранисть зменшилась на 13%.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням роботи базальтопластикових і фібробазальтопластикових згинаних елементів при одноразових і малоциклових навантаженнях. За дослідні зразки правили балки поперечного перерізу  $100 \times 200$  мм і довжиною 2100 мм (рис. 1), які виготовлялися із бетону класу В40. Каркаси балок складаються з одного стрижня робочої арматури діаметру 4; 6; 8; 10; 12 та 13 мм базальтопластикової арматури АНПБ довжиною 2100 мм. В крайніх третинах прогону було забезпечено поперечне армування арматурою  $\varnothing 6$  мм класу А-I довжиною 180 мм. Крок поперечних стрижнів становив 100 мм. Верхнє армування виконане стрижнями  $\varnothing 6$  мм класу А-I довжиною 730 мм в крайніх третях прольоту. Коефіцієнт армування поперечного перерізу конструкції ( $\rho_{f,tot}$ ) становить 0,00073; 0,00158; 0,00286; 0,00446; 0,00649; 0,0077. Всього було досліджено 48 балок.

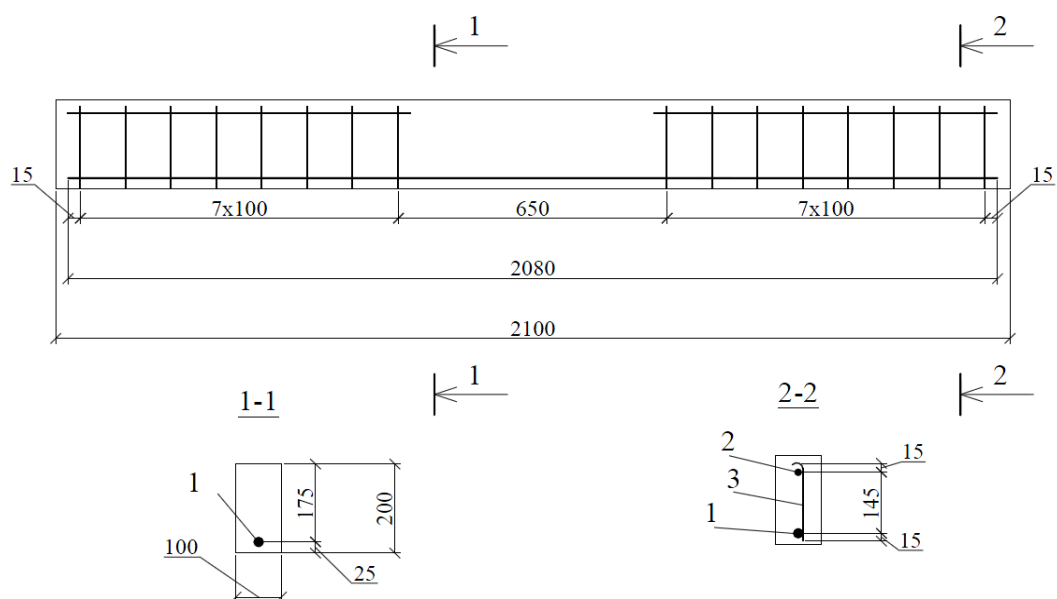


Рисунок 1 - Конструкція базальтобетонної балки

1 – стрижень базальтопластикової арматури; 2 –  $2\varnothing 6$  А-I; 3 –  $16\varnothing 6$  А-I

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 навантаження зразки було розбито на підсерії – О (одноразові навантаження) і М (малоциклові навантаження). Балки, в які вводилась фібра, позначались буквою ф. Дані про склад експериментальних досліджень наведено у таблиці 1.

Випробування двома зосередженими силами, розташованими в третинах прогону (рис. 2) здійснювали у силовому стенді (рис. 3). Фіброві деформації бетону по висоті балки в середині прогону заміряли індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм на базі 200 мм та тензорезисторами з базою 50 мм у комплекті з вимірювальним приладом «Автоматичний вимірювач деформацій» (АВД-4М). Прогини балок в середині прольоту вимірювали прогиномірами Аістова М. М. 6-ПАО. Зсуви вільних кінців базальтопластикової поздовжньої арматури на торцях балок заміряли індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм. Ширину розкриття тріщин визначали за допомогою мікроскопа МПБ-2 із ціною поділки 0,05 мм.

Таблиця 1 – Склад експериментальних досліджень та характеристика експериментальних зразків згинаних елементів

Серія	Підсерія	К-сть балок, шт.	Арматура АНПБ				Бетон і фібробетон		
			К-сть	Коефіцієнт армування $\varnothing, \rho_{f,tot}$	$R_f$ , МПа	$E_f$ , МПа	$R$ , МПа	$R_b$ , МПа	$E_b$ , ГПа
I	БО	2	6	$\varnothing 4$ 0,00073	1100	47905	60,17	47,56	38,36
	БМ	2					60,17	47,56	38,36
	БОф	2					52,58	44,16	37,38
	БМф	2					60,74	51,63	38,62
II	БО	2	6	$\varnothing 6$ 0,00158	1105	48932	60,17	47,56	38,36
	БМ	2					60,17	47,56	38,36
	БОф	2					52,58	44,16	37,38
	БМф	2					60,74	51,63	38,62
III	БО	2	6	$\varnothing 8$ 0,00286	1124	44755	57,97	44,75	37,06
	БМ	2					57,97	44,75	37,06
	БОф	2					52,58	44,16	37,38
	БМф	2					57,87	48,61	37,41
IV	БО	2	6	$\varnothing 10$ 0,00446	1068	46125	57,97	44,75	37,06
	БМ	2					57,97	44,75	37,06
	БОф	2					52,58	44,16	37,38
	БМф	2					57,87	48,61	37,41
V	БО	2	6	$\varnothing 12$ 0,00649	998	45378	52,84	41,01	36,61
	БМ	2					52,84	41,01	36,61
	БОф	2					60,74	51,63	38,62
	БМф	2					57,87	48,61	37,41
VI	БО	2	6	$\varnothing 13$ 0,0077	987	44936	52,84	41,01	36,61
	БМ	2					52,84	41,01	36,61
	БОф	2					60,74	51,63	38,62
	БМф	2					57,87	48,61	37,41



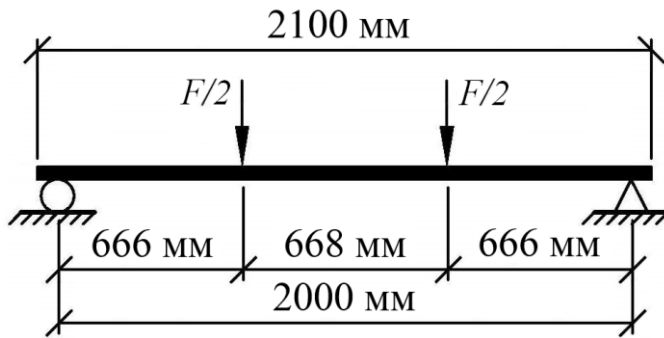


Рисунок 2 – Статична схема випробування базальтобетонних балок



Рисунок 3 – Випробування базальтобетонної балки у силовому стенді

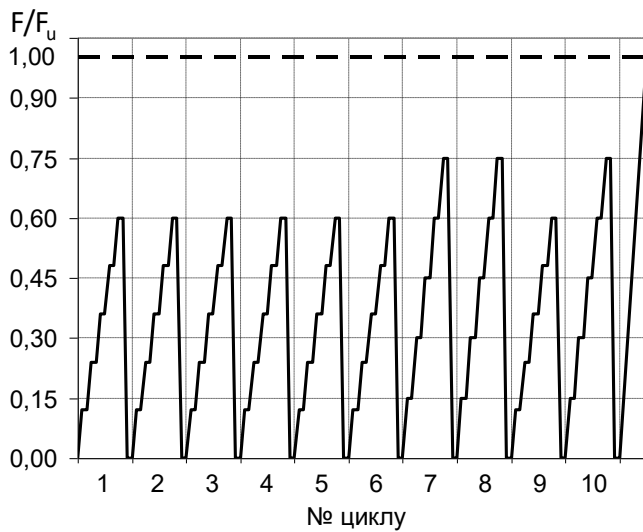


Рисунок 4 – Графік зміни навантаження в залежності від номера циклу

Визначені на балках-близнюках при одноразовому статичному навантаженні значення руйнівного навантаження  $F_u$  використовувалися при малоциклових навантаженнях кожної серії балок. Базову кількість циклів для цих випробувань було прийнято  $N = 10$ ; максимальні рівні зусиль при циклах 1...6 та 9 становили  $0,6F_u$ , а при циклах 7, 8 та 10 –  $0,75F_u$  (рис. 4). Після 10-го циклу балки доводили до руйнування одноразовим прикладання зростаючого навантаження із фіксацією руйнівного значення. Ці рівні навантажень були

призначені згідно параметрів циклів роботи автодорожніх мостів, які в середньому становлять  $\eta_{top} = 0,6...0,8$ ; послідовність рівнів навантаження за циклами також визначена на основі досліджень руху великовантажних навантажень автодорожніми мостами Полюгою Р. І.

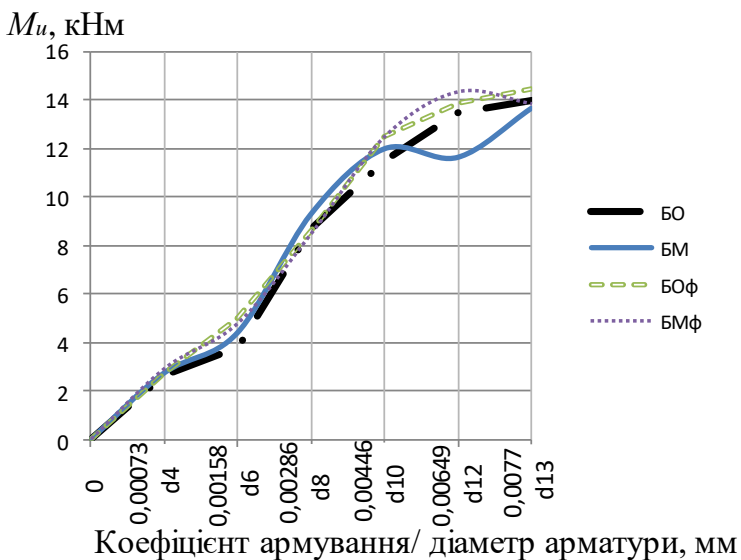
**Результати досліджень базальтобетонних балок при дії одноразових навантажень.** У процесі навантаження всіх зразків зсуву вільного кінця базальтопластикової арматури відносно торця балки до її руйнування не відбувалось, що свідчить про забезпечення зчеплення арматури з бетоном на всіх ступенях навантаження.

У результаті випробувань зафіксовано три види руйнування балок: внаслідок розриву повздовжньої розтягнутої базальтопластикової арматури, внаслідок розриву повздовжньої розтягнутої базальтопластикової арматури і роздроблення стиснутої зони бетону, внаслідок роздроблення бетону стиснутої зони. Розрив базальтопластикової арматури було зафіксовано у балках з армуванням  $1\varnothing 4\text{АНПБ}$  та  $1\varnothing 6\text{АНПБ}$  (рис. 5, а). Розрив повздовжньої розтягнутої базальтопластикової арматури і роздроблення стиснутої зони бетону було зафіксовано у балках з армуванням



**Рисунок 5 – Характер руйнування випробуваних дослідних зразків**

- а) – розрив базальтопластикової арматури; б) – розрив повздовжньої розтягнутої базальтопластикової арматури і роздроблення стиснутої зони бетону; в) – роздроблення бетону стиснутої зони



**Рисунок 6 – Графік впливу коефіцієнту армування на несну здатність балок різних підсерій**

1Ø8АНПБ та 1Ø10АНПБ (рис. 5, б). У балках з армуванням 1Ø12АНПБ та 1Ø13АНПБ руйнування відбувалось у результаті роздроблення бетону стиснутої зони (рис. 5, в); на рис. 6 показано вплив коефіцієнту армування на несну здатність балок усіх серій. При коефіцієнті армування  $\sim 0,005$  і більше для всіх типів зразків несна здатність майже не зростає, тому армування бетонних і фібробетонних згинаних елементів із базальтопластиковою арматурою на цьому рівні слід вважати оптимальним.

Результати проведених експериментальних досліджень приведені у таблиці 2 і на рис. 7.

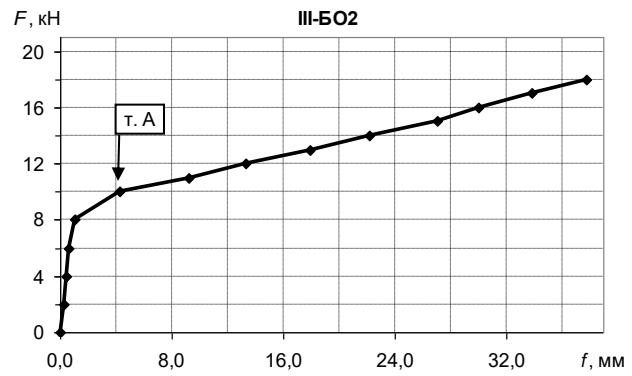
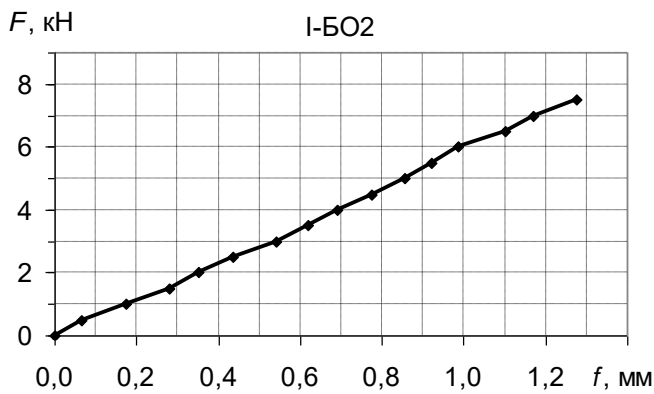
**Результати досліджень базальтобетонних балок при дії малоциклових навантажень.** Всі балки витримали базу випробувань  $N$ , після чого для визначення руйнівного зусилля доводили до руйнування одноразовим навантаженням. Характер руйнування при малоциклових навантаженнях аналогічний характеру при одноразових навантаженнях балок цих же серій (табл. 3).

Порівняння згинальних моментів, за яких зруйнувалися балки, показує, що малоциклові навантаження високого рівня не вплинули суттєво на несну здатність балок. Для балок серії I-IV несна здатність балок після малоциклових навантажень була вищою на 3 – 15,2 % від несної здатності балок при одноразових навантаженнях. Несна здатність балок серії V-VI після малоциклових навантажень була на 2,25 – 13,70 % меншою, ніж несна здатність балок після одноразових навантажень. Розкид отриманих даних знаходиться у межах допустимих величин при експериментальних дослідженнях, тому можна стверджувати, що малоциклові навантаження не знизили несну здатність бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою.

При повторних навантаженнях базальтобетонних балок на рівні  $0,6F_u$  ширина розкриття максимальної тріщини збільшується, на перших шести циклах спостерігається її стабілізація. Після збільшення навантаження до  $0,75F_u$  на наступних двох циклах ширина розкриття тріщини зростає. Аналогічні процеси відбуваються і з сумарною шириною розкриття тріщин.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень базальтобетонних згинаних елементів

Серія	Маркування зразків	Руйнівний згинальний момент $M_u$ , кНм	Згинальний момент утворення тріщин $M_{crs}$ , кНм	Прогин $f$ при $M_u$ , мм	Характер руйнування
I	I-BO1	2,67	2,67	1,39	Розрив арматури розтягнутої зони
	I-BO2	2,67	2,67	1,27	
II	II-BO1	4	2,67	12,82	Розрив арматури розтягнутої зони
	II-BO2	3,67	3,33	16,5	
III	III-BO1	9,3	3	35,8	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	III-BO2	8	3,33	37,8	
IV	IV-BO1	12	2,33	47,82	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	IV-BO2	11	3	42,01	
V	V-BO1	13	2,33	33,44	Роздроблення бетону стиснутої зони
	V-BO2	14	2,67	33,92	
VI	VI-BO1	14,67	2,67	37,53	Роздроблення бетону стиснутої зони
	VI-BO2	13,3	2,67	41,13	



а)

б)

Рисунок 7 – Графіки зміни прогинів базальтобетонних балок

а) – I-BO2; б) – III-BO2;

т. А – зміна кута нахилу кривої прогину при тріщиноутворенні

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень базальтобетонних згинаних елементів на дію малоциклових навантажень

Серія	Маркування зразків	Руйнівний згинальний момент $M_u$ , кНм	Згинальний момент утворення тріщин $M_{cr}$ , кНм	Прогин $f$ при $M_u$ , мм	Характер руйнування
I	I-БМ1	2,67	2,67	0,89	Розрив арматури розтягнутої зони
	I-БМ2	2,83	2,83	0,74	
II	II-БМ1	3,83	3,17	1,78	Розрив арматури розтягнутої зони
	II-БМ2	5	3	1,71	
III	III-БМ1	9,3	2,67	36,93	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	III-БМ2	9,3	2,67	37,83	
IV	IV-БМ1	12	3,33	39,42	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	IV-БМ2	12	3	40,55	
V	V-БМ1	11,3	3	35,63	Роздроблення бетону стиснутої зони
	V-БМ2	12	2,87	36,87	
VI	VI-БМ1	14,67	1,33	36,38	Роздроблення бетону стиснутої зони
	VI-БМ2	12,67	3,33	38,24	

Прогини балок при малоциклових навантаженнях високого рівня в залежності від відсотка армування відрізняються за своєю динамікою росту. У серіях I і II (недоармовані балки) при повторних навантаженнях рівня  $0,6F_u$  спостерігається ріст прогинів на кожній ступені без їх стабілізації. При збільшенні навантаження циклу до  $0,75F_u$  ріст прогинів збільшується, стабілізація також не спостерігається.

У серіях III і IV при повторних навантаженнях рівня  $0,6F_u$  на перших циклах прогини ростуть, на 4-6 циклах відбувається їх стабілізація. При збільшенні навантаження циклу до  $0,75F_u$  прогини зростають, але і на цьому рівні навантаження відбувається їх стабілізація. У серіях V і VI при повторних навантаженнях рівня  $0,6F_u$  на перших циклах прогини ростуть, на 4-6 циклах відбувається їх стабілізація. При збільшенні навантаження циклу до  $0,75F_u$  прогини зростають, на наступному циклі ріст продовжується.

**Результати досліджень базальтофібробетонних балок при дії статичних навантажень** приведені у вигляді експериментальних даних про значення переміщень (прогинів) безпосередньо перед руйнуванням, характеру руйнування, значення руйнівного навантаження і значення навантаження, при якому виникали тріщини (табл. 4).

Таблиця 4 – Результати експериментальних досліджень базальтофібробетонних згинаних елементів

Серія	Маркування зразків	Руйнівний згинальний момент $M_u$ , кНм	Згинальний момент утворення тріщин $M_{crs}$ , кНм	Прогин $f$ при $M_u$ , мм	Характер руйнування
I	I-БОф1	2,83	2,83	0,68	Розрив арматури розтягнутої зони
	I-БОф2	2,67	2,67	0,72	
II	II-БОф1	5	3,33	4,6	Розрив арматури розтягнутої зони
	II-БОф2	5	3	6,39	
III	III-БОф1	8	3,17	38,75	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	III-БОф2	9,3	3,67	32,6	
IV	IV-БОф1	12	3,83	36,70	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	IV-БОф2	13	3	39,26	
V	V-БОф1	14,67	3,5	33,44	Роздроблення бетону стиснутої зони
	V-БОф2	13,3	3,67	28,07	
VI	VI-БОф1	15	3,5	33,63	Роздроблення бетону стиснутої зони
	VI-БОф2	14	3,33	30,27	

Порівняння результатів випробувань базальтобетонних і базальтофібробетонних балок (табл. 5) показує, що мікроармування фіброю підвищує несну здатність балок на 3-8,7 %. Винятком є серія II, де несна здатність більша на 30,37 %.

Таблиця 5 – Порівняння моментів утворення тріщин і руйнівних навантажень базальтобетонних і базальтофібробетонних балок

Серія	Згинальний момент утворення тріщин		$\frac{M_{crc\ b\ b} - M_{crc\ b\ fb}}{M_{crc\ b\ b}} \times 100\%$	Руйнівний згинальний момент		$\frac{M_{u\ b\ b} - M_{u\ b\ fb}}{M_{u\ b\ b}} \times 100\%$
	$M_{crc\ b\ b}$	$M_{crc\ b\ fb}$		$M_{u\ b\ b}$	$M_{u\ b\ fb}$	
I	2,67	2,75	-3,0	2,67	2,75	-3,0
II	3	3,165	-5,5	3,835	5	-30,37
III	2,83	3,42	-29,5	8,65	8,65	0
IV	2,665	3,415	-37,5	11,5	12,5	-8,70
V	2,5	3,585	-54,25	13,5	13,985	-3,59
VI	2,67	3,415	-37,25	13,985	14,5	-3,68

Цікавим є результат дослідження тріщиностійкості балок. В серіях I і II (недоармовані балки) момент утворення тріщин збільшився незначно на 3-5,5 %. Але в балках серії III-VI було зафіксовано суттєве зростання моменту утворення тріщин: від 29,5 до 54,25%. Тому можна рекомендувати для підвищення тріщиностійкості та, відповідно, і жорсткості балок, армованих базальтопластиковою арматурою, застосовувати фібробетон.

**Результати досліджень базальтофібробетонних балок при дії малоциклових навантажень** приведені у вигляді експериментальних даних про значення переміщень (прогини) безпосередньо перед руйнуванням, характеру руйнування, значення руйнівного навантаження і значення навантаження при якому виникали тріщини (табл. 6).

Порівняння згинальних моментів, при яких зруйнувалися базальтофібробетонні балки, показує, що малоциклові навантаження високого рівня не вплинули суттєво на несну здатність балок. Несна здатність базальтофібробетонних балок після малоциклових навантажень високого рівня незначно відрізняється від несної здатності базальтофібробетонних балок при дії одноразових навантажень: від на 4,5 % меншої до на 6 % більшої несної здатності. Розкид отриманих даних знаходиться у межах допустимих величин при експериментальних дослідженнях, тому можна стверджувати, що малоциклові навантаження не знизили несну здатність базальтофібробетонних балок. Але при дії малоциклових навантажень у базальтофібробетонних балках зростали прогини і ширина розкриття тріщин, що необхідно враховувати при розрахунках.

У **четвертому розділі** викладено пропозиції з адаптації методики розрахунку залізобетонних згинаних елементів за нормами проектування мостів ДБН В. 2.3-14:2006 до розрахунку балкових згинаних базальтобетонних конструкцій мостів за першою і другою групами граничних станів. Приведені алгоритми розрахунку міцності перерізів базальтобетонних балок, нормальних до поздовжньої осі елемента; тріщиностійкості елементів та прогинів.

Таблиця 6 – Результати експериментальних досліджень базальтофібробетонних згинаних елементів на дію малоциклових навантажень

Серія	Маркування зразків	Руйнівний згинальний момент $M_u$ , кНм	Згинальний момент утворення тріщин $M_{crсr}$ , кНм	Прогин $f$ при $M_u$ , мм	Характер руйнування
I	I-БМф1	3,16	3,16	0,68	Розрив арматури розтягнутої зони
	I-БМф2	2,67	2,67	0,77	
II	II-БМф1	5	3,33	1,32	Розрив арматури розтягнутої зони
	II-БМф2	4,58	3,5	1,44	
III	III-БМф1	9	4	27,53	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	III-БМф2	8	3,33	34,28	
IV	IV-БМф1	13	3,33	40,72	Розрив арматури розтягнутої зони та роздроблення бетону стиснутої зони
	IV-БМф2	12	3	39,12	
V	V-БМф1	14	3,83	35,19	Роздроблення бетону стиснутої зони
	V-БМф2	14,67	3,67	31,21	
VI	VI-БМф1	13,67	3,33	34,44	Роздроблення бетону стиснутої зони
	VI-БМф2	14	3,33	33,84	

Розраховано також дослідні балки з використанням програмного комплексу ПК «ЛІРА-САПР», який здійснює розрахунки за допомогою методу скінчених елементів. У 2017 році було розроблене доповнення системи ЛАРМ-САПР, що дозволяє підбирати армування бетонних перерізів композитною арматурою. В результаті проведених розрахунків було встановлено, що площа базальтопластикової арматури, визначена в ЛАРМ-САПР перевищує для всіх дослідних балок фактичну площу арматури. Це свідчить про наявність резервів міцності у базальтобетонних балках, підбір арматури яких виконуватиметься з використанням ЛАРМ-САПР.

Розроблено пропозиції з врахування дії малоциклових навантажень при розрахунку балкових згинаних базальтобетонних конструкцій. Експериментальними дослідженнями було встановлено, що малоциклові навантаження високого рівня істотно 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 доповнень.

Як показали експериментальні дослідження, при дії малоциклових навантажень високого рівня в балкових згинаних базальтобетонних конструкціях 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  $a_{crc}$  у балкових згинаних базальтобетонних конструкціях мостів при дії малоциклових навантажень пропонується визначати за формулою (3.85) ДБН В.2.3-14:2006 із врахуванням емпіричного коефіцієнта  $\psi_{cyc}^{crc}$ , що враховує дію циклічних навантажень і приймається за таблицею 7:

$$a_{crc} = \psi_{cyc}^{crc} \frac{\sigma}{E} \psi \leq \Delta_{crc}. \quad (1)$$

Таблиця 7 - значення коефіцієнта  $\psi_{cyc}^{crc}$

К-Т	Рівень малоциклового навантаження	
	$0,6F_u$	$0,75F_u$
$\psi_{cyc}^{crc}$	1,12	1,5

Значення коефіцієнта  $\psi_{cyc}^{crc}$  отримано із експериментальних даних дослідження базальтобетонних і базальтофібробетонних балок при дії малоциклових навантажень.

Оскільки приріст ширини розкриття тріщин в базальтобетонних і базальтофібробетонних балках був співставний, тому використані дані для спільної обробки результатів. В таблиці 8 представлено експериментально визначені коефіцієнти збільшення ширини розкриття тріщин для кожної балки і усереднені дані для рівнів малоциклових навантажень.

Таблиця 8 – Експериментальні значення коефіцієнта  $\psi_{cyc}^{crc}$

Серія	Рівень навантаження $0,6F_u$		Рівень навантаження $0,75F_u$	
	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
Середнє значення	1,12		1,50	

Вплив малоциклових навантажень на прогини балкових згинаних базальтобетонних конструкцій мостів враховується введенням у формулу (3.92) ДБН В.2.3-14 коефіцієнта  $\psi_{cyc}^f$ :

$$f = \psi_{cyc}^f \sum \bar{M}(x) \frac{1}{\rho}(x) \Delta x, \quad (2)$$

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;

$\Delta x$  – 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 таблицею 9.

Таблиця 9 – Значення коефіцієнта  $\psi_{\text{сус}}^f$

К-Т	Рівень малоциклового навання	
	$0,6F_u$	$0,75F_u$
$\psi_{\text{сус}}^f$	1,11	1,46

Виконано порівняння отриманих значень коефіцієнтів  $\psi_{\text{сус}}^{\text{срс}}$  і  $\psi_{\text{сус}}^f$  для базальтобетонних балок із аналогічними коефіцієнтами для залізобетонних балок, яке показало, що балкам із базальтопластиковою арматурою при дії малоциклового навантаження характерне збільшення

ширини розкриття тріщин, а прогини співрозмірні з балками із сталевією арматурою. Співставлення теоретичних і експериментальних даних показало задовільну збіжність отриманих результатів (рис. 8).

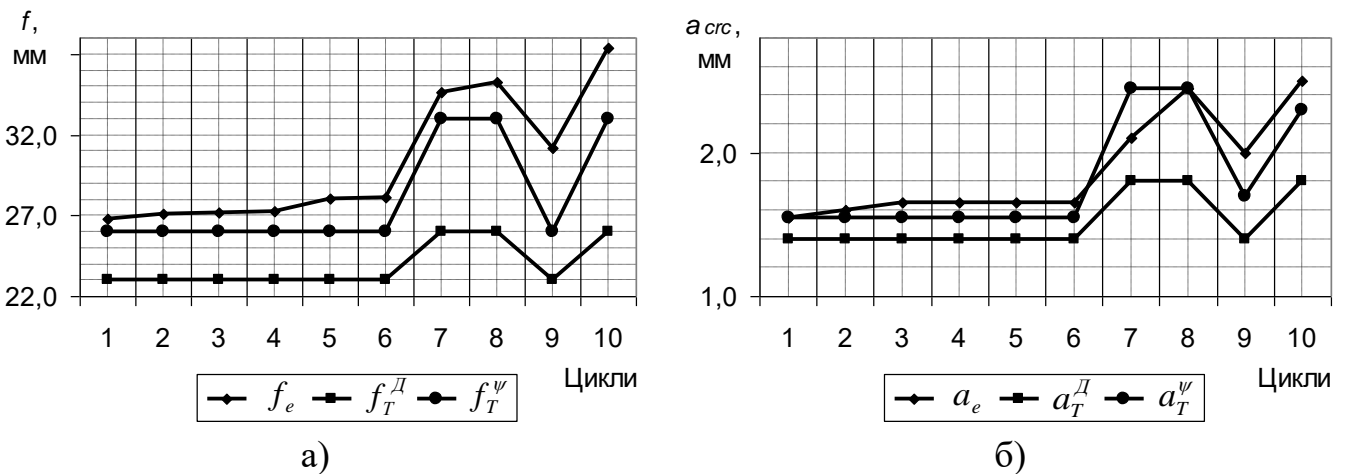


Рисунок 8 – Максимальні прогини (а) і ширина розкриття тріщин (б) за циклами для базальтобетонних балок серії III

$f_e$  – середнє значення прогину за випробуванням двох балок;

$f_T^D$  – обрахунок згідно з ДБН В. 2.3-14;  $f_T^psi$  – обрахунок з врахуванням  $\psi_{\text{сус}}^f$ ;

$a_e$  – середнє значення максимальної ширини розкриття тріщин за випробуванням двох балок;  $a_T^D$  – обрахунок  $a_{\text{срс}}$  згідно з ДБН В. 2.3-14;

$a_T^psi$  – обрахунок з врахуванням  $\psi_{\text{сус}}^{\text{срс}}$

В результаті дослідження базальтобетонних балок методом акустичної емісії було зроблено висновок про тотожність акустико-емісійних параметрів тріщиноутворення у залізобетонних та базальтобетонних згинаних елементах. Встановлено значення критерію виділення сигналів акустичної емісії, що свідчить про утворення тріщин в базальтобетонних елементах: параметр  $k_p = 6$ .

Виконано проектування прогонової будови моста в Полтавській області через р. Войниха, розробленого проектним інститутом ДП «Укрдпродор» із двома варіантами армування плити проїзної частини моста: сталевією арматурою і базальтопластиковою. Вартість арматури на об'єкті при використанні

базальтопластикової арматури зменшується на 24,6%. Варто відмітити, що вага базальтопластикової арматури для прогону майже на 7,0 т є меншою від ваги сталевий арматури. Це зменшує трудомісткість арматурних, вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт. Також це свідчить про зменшення постійного навантаження на прогонову будову, опори і фундаменти моста. Враховуючи корозійну стійкість арматури, що свідчить про підвищення довговічності конструкції, можна зробити висновок про економічну ефективність заміни сталевий арматури в плиті проїзної частини моста на базальтопластикову.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Отримано нове вирішення науково-технічного завдання з експериментально-теоретичного дослідження міцності, жорсткості і тріщиностійкості бетонних і фібробетонних балкових конструкцій мостів, армованих неметалевою базальтопластиковою арматурою та зроблені наступні висновки:

1. Отримані експериментальні дані щодо можливих видів руйнування базальтобетонних згинаних елементів, армованих базальтопластиковою арматурою: в результаті розриву композитної арматури і в результаті роздроблення бетону стиснутої зони. Встановлено залежність виду руйнування від коефіцієнта повздовжнього армування.

2. Експериментально встановлена можливість застосування методики розрахунку залізобетонних згинаних елементів за нормами проектування мостів ДБН В. 2.3–14:2006 до розрахунків бетонних і фібробетонних згинаних елементів із базальтопластиковою арматурою при умові їх оптимального армування (одночасного руйнування за стиснутою і розтягнутою зонами).

3. Встановлено експериментально вплив на тріщиностійкість згинаних елементів, армованих базальтопластиковою арматурою, мікроармування бетону базальтовою фіброю. Для базальтобетонних елементів у формулу ДБН для визначення ширини розкриття тріщин пропонується введення коефіцієнта  $\psi$  в залежності від вмісту фібри в бетонні. Для вмісту фібри 4% від маси цементу в сухому стані  $\psi = 0,88$ .

4. Запропоновано при розрахунку ширини розкриття тріщин враховувати дію малоциклових навантажень високого рівня введенням коефіцієнта  $\psi_{cyc}^{crc}$ , який при повторних навантаженнях рівня  $0,6F_u$  приймається  $\psi_{cyc}^{crc} = 1,12$ , при рівні навантаження  $0,75F_u$  приймається  $\psi_{cyc}^{crc} = 1,5$ .

5. Запропоновано при визначенні прогинів базальтобетонних балок враховувати дію малоциклових навантажень високого рівня введенням коефіцієнта  $\psi_{cyc}^f$ , який при повторних навантаженнях рівня  $0,6F_u$  приймається  $\psi_{cyc}^f = 1,11$ , при рівні навантажень  $0,75F_u$  приймається  $\psi_{cyc}^f = 1,46$ .

6. Встановлено параметри випромінювання акустичної емісії базальтобетонними балковими згинаними елементами при дії навантаження.

7. Встановлено економічну ефективність використання базальтопластикової арматури при армуванні плити проїзної частини моста. Заміна сталевих арматур на базальтопластикову зменшує затрати на 24,6% та значно підвищує довговічність мостової споруди.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коваль П. М. Дослідження впливу базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва / П. М. Коваль, І. П. Бабяк, О. Я. Гримак // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2011. – №22. – с. 93-100.

*Фахове видання. Внесок здобувача: проведення аналізу впливу базальтової фібри на характеристики бетонів.*

2. Коваль П. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных предварительно напряженных балок при малоциклических нагрузках методами цифровой корреляции изображений и акустической эмиссии / П. Коваль, Я. Ковальчик, Ю. Мольков, О. Гримак // Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы». – Вильнюс, 2013. – №16. – с. 188-193.

*Внесок здобувача: проведено дослідження впливу малоциклових навантажень на напружено-деформований стан попередньо напружених балок та їх аналіз.*

3. Коваль П. М. Перспективи використання базальтобетонних конструкцій в будівництві / П. М. Коваль, О. Я. Гримак // Наукові нотатки. – Луцьк, 2014. – Вип. 46. – с. 262-269.

*Фахове видання. Внесок здобувача: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень та їх аналіз.*

4. Гримак О. Я. Дослідження тріщиностійкості базальтобетонних та базальтофібробетонних балок при дії малоциклових навантажень / О. Я. Гримак // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник – К., КНУБА, 2014. – Вип. 54. – с. 130-138.

*Фахове видання.*

5. Solodkyu S. Y. The impact of basaltic fiber on characteristics road concretes / S. Y. Solodkyu, P. M. Koval, I. P. Babiak, O. Ya. Hrymak // Ibausil 19 Internationale Baustofftagung. – Weimar Bundesrepublik Deutschland, 2015. – Tagungsbericht – band 2. p. 1067-1074.

*Внесок здобувача: встановлено експериментально вплив на тріщиностійкість згинаних елементів, армованих базальтопластиковою арматурою, мікроармування бетону базальтовою фіброю.*

6. Гримак О. Я. Дослідження роботи бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою, при дії циклічних навантажень / О. Я. Гримак, П. М. Коваль, Т. І. Коваль, І. П. Гамеляк // Збірник матеріалів Всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і виробы – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості» (25 листопада 2015 р.). – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – с. 8-9.

*Внесок здобувача: отримані експериментальні дані базальтобетонних та базальтофібробетонних балок на дію одноразових та малоциклових навантажень.*

7. Коваль П. М. Ефективність використання базальтопластикової арматури при армуванні плити проїзної частини моста / П. М. Коваль, О. Я. Гримак, Т. І. Коваль // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2016. – Вип. 61. – с. 193-198.

*Видання, яке індексується базою Index Copernicus. Внесок здобувача: встановлено ефективність використання композитної базальтопластикової арматури для армування бетонної плити проїзної частини моста.*

8. Коваль П. М. Нормативне забезпечення проектування бетонних конструкцій транспортних споруд, армованих базальтопластиковою арматурою / П. М. Коваль, О. Я. Гримак // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник – К., КНУБА, 2016. – Вип.61 (спеціальний) – с. 264-270.

*Внесок здобувача: огляд та аналіз закордонного та вітчизняного досвіду використання неметалевої композитної арматури в будівництві.*

9. Коваль П. М. Вплив малоциклових навантажень на роботу бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою / П. М. Коваль, О. Я. Гримак // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2016. – Випуск 10. – с. 35-42.

*Фахове видання. Внесок здобувача: встановлення впливу малоциклових навантажень на зміну напружено-деформованого стану згинаних бетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою.*

10. Koval P. M. Consideration Of The Effect Of Low-Cycle Loads On Bended Concrete Beams Reinforced With Basalt-Plastic Armature / Petro Koval, Oleh Hrymak // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST) - Vol. 4 Issue 9, September – 2017 – p. 8232-8236.

*Закордонне періодичне видання. Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, аналіз їх результатів, формулювання пропозицій з врахування дії малоциклових навантажень при розрахунку ширини розкриття тріщин та при визначенні прогинів.*

11. Коваль П. М. Параметри акустичної емісії при утворенні тріщин в бетонних балках з композитною арматурою / П. М. Коваль, О. Я. Гримак, М. П. Коваль, С. В. Стоянович // Збірник тез доповідей міжнародної конференції Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій. Одеська державна академія будівництва та архітектури – Одеса 2018. – с. 62 -65.

*Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень та аналіз їх результатів.*

12. Коваль П. М. Дослідження армування базальтобетонних балок за допомогою системи ЛАРМ-САПР / П. М. Коваль, О. Я. Гримак, М. П. Коваль, С.В. Стоянович // Актуальні проблеми інженерної механіки. Одеська державна академія будівництва та архітектури – Одеса 2018. – с. 114-117.

*Внесок здобувача: здійснено перевірку роботи системи ЛАРМ-САПР при розрахунку перерізів базальтобетонних балок та підборі їх армування.*

13. Коваль П. М. Врахування дії малоциклових навантажень при розрахунку базальтобетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою. / П. М. Коваль, О. Я. Гримак, С. В. Стоянович // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – Дніпропетровськ ДНУЗТ, 2018. – Випуск 13. – с.37-45.

*Фахове видання. Внесок здобувача: виконання експериментальних досліджень, розробка пропозицій із врахування дії малоциклових навантажень на роботу базальтобетонних балок.*

## АНОТАЦІЯ

**Гримак О. Я. Міцність, деформативність і тріщиностійкість бетонних балкових конструкцій мостів із базальтопластиковою арматурою. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступення кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний університет “Львівська політехніка”, Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

Дисертація присвячена дослідженню міцності, ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів бетонних і базальтофібробетонних балок, армованих базальтопластиковою арматурою при дії одноразових і малоциклових навантажень. В результаті експериментальних досліджень отримані дані щодо напружено-деформованого стану балкових згинаних базальтобетонних елементів, впливу на їх роботу мікроармування базальтовою фіброю. Визначено вплив малоциклових навантажень високого рівня на ширину розкриття тріщин та прогини таких елементів. Приведені алгоритми розрахунку міцності перерізів, нормальних до поздовжньої осі елемента; тріщиностійкості елементів; прогинів елементів таких конструкцій. запропоновано рекомендації з врахування дії малоциклових навантажень високого рівня при розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів згинаних балкових базальтобетонних конструкцій мостів.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, малоциклові навантаження; базальтова фібра, базальтопластикова арматура, бетон, балки, мости.

## АНОТАЦІЯ

**Грымак О. Я. Прочность, деформативность и трещиностойкость бетонных балочных конструкций мостов с базальтопластиковой арматурой. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискания ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный университет «Львовська політехніка», Міністерство образования и науки Украины, Львов, 2019

Диссертация посвящена исследованию прочности, жесткости и трещиностойкости бетонных и базальтофибробетонных балок, армированных базальтопластиковой арматурой при действии одноразовых и малоцикловых нагрузок.

Рассмотрены физико-механические характеристики, преимущества и недостатки неметаллической композитной арматуры, проанализированы нормы и рекомендации по расчету бетонных конструкций, армированных неметаллической композитной арматурой.

Испытано 48 балок из бетона и базальтофибробетона, армированных базальтопластиковой арматурой с разными коэффициентами армирования на действие однократной и малоциклового нагрузки. В результате испытаний зафиксировано три вида разрушения балок: в результате разрыва растянутой базальтопластиковой арматуры; в результате одновременного разрыва арматуры и раздробления бетона сжатой зоны; в результате раздробления сжатой зоны бетона. Экспериментально были определены несущая способность, изгибающие моменты трещинообразования, ширина раскрытия трещин и прогибы базальтобетонных балок.

Установлено, что малоциклового нагрузки высокого уровня не повлияли на несущую способность базальтофибробетонных балок. При их действии увеличиваются ширина раскрытия трещин и прогибы, что необходимо учитывать при расчетах.

Приведены алгоритмы расчета прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента; трещиностойкости и прогибов базальтобетонных балок. Изложены рекомендации по расчету ширины раскрытия трещин и прогибов базальтобетонных балок при действии малоциклового нагрузок высокого уровня. Сопоставление экспериментальных и расчетных результатов прочности, ширины раскрытия нормальных трещин показало удовлетворительную сходимость полученных результатов.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, малоциклового нагрузки, базальтовая фибра, базальтопластиковая арматура, бетон, мосты.

## ABSTRACT

**Hrymak O. Ya. Strength, deformability and crack resistance of concrete beam structures of bridges with basalt-plastic reinforcement. – On the rights of the manuscript.**

Thesis submitted for a scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy), specialty 05.23.01 – Building constructions, buildings and structures. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

The dissertation is dedicated to the study of the strength, width of the normal cracks opening and deflections of concrete and basaltic fibre concrete beams reinforced with basalt-plastic reinforcement under the action of static and lowcycle loads. As a result of experimental research, data of the stress-strain state of bent beam elements and influence on its performance of micro-arming by basaltic fiber were obtained. The influence of high-level lowcycle loads on the width of crack opening and deflection of such elements was determined.

**Keywords:** basalt-plastic reinforcement, basaltic fiber, beams, bridges, concrete, lowcycle load, stress-deformed state.