

УДК 624.21/.012, 625.7/.8, 691

Бабяк І. П., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕМЕТАЛЕВОЇ КОМПОЗИТНОЇ БАЗАЛЬТОВОЇ АРМАТУРИ ПЕРІОДИЧНОГО ПРОФІЛЮ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ

### Анотація

Вступ. Проаналізовано результати досліджень фізико-механічних характеристики неметалевої композитної базальтової арматури, отримані дослідниками, зокрема міцність базальтової арматури на зріз, зчеплення базальтової арматури з бетоном, вилуговування базальтового волокна, довговічність конструкцій, армованих неметалевою композитною базальтовою арматурою.

Проблематика. В дорожній галузі основна частина витрат на ремонт і відновлення залізобетонних конструкцій мостів і шляхопроводів пов'язана з корозією металевої арматури. Застосування неметалевої арматури є перспективним принциповим рішенням цієї проблеми. Технічні характеристики дозволяють застосовувати базальтову арматуру для дорожнього будівництва, при підсиленні мостів, для огорожувальних конструкцій, в конструкціях, які зазнають впливу агресивних середовищ.

Ефект від використання базальтової арматури отримують, зокрема, від зниження вартості будівництва за рахунок застосування арматури меншого діаметру порівняно з металевою при забезпеченні необхідних характеристик міцності, зменшенню ваги конструкцій із такою арматурою. Також, завдяки відсутності певних видів корозії арматури під час експлуатації підвищується довговічність конструкції, скорочують або ліквідують окремі види ремонтних робіт.

Разом з тим, використання неметалевої композитної базальтової арматури періодичного профілю, виготовленої з базальтових волокон, призначеної для армування бетонних конструкцій транспортних споруд, стримується відсутністю достатньої кількості результатів досліджень характеристик такої арматури. На основі таких досліджень необхідно буде, в подальшому, внести зміни в норми на проектування, стандарти на методи випробування та ін.

Мета. Дослідити арматуру одного з основних виробників, яку виготовляли на момент дослідження в Україні. Здійснити визначення геометричних розмірів, маси, кольору, тимчасового опору, відносного видовження після розриву базальтової арматури періодичного профілю діаметром 6 мм, 10 мм. Здійснити обробку результатів випробувань фізико-механічних характеристик неметалевої композитної базальтової арматури періодичного профілю діаметром 6 мм, 10 мм, аналіз результатів випробувань. Розробити, за висновками з аналізу результатів випробувань, пропозиції щодо вимог до неметалевої композитної базальтової арматури для транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування.

Матеріали та методи. Здійснено експериментальні дослідження фізико-механічних характеристик базальтової арматури періодичного профілю виду А, номінальним діаметром 6 мм, 10 мм, виготовленої згідно з ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001, зокрема, досліджено кривизну прутка, якість поверхні, колір арматури, внутрішній діаметр арматури, тимчасовий опір, відносне видовження після розриву.

Результати. У результаті досліджень встановлено, що кривизна прутка, якість поверхні, колір арматури відповідають ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001. Внутрішній діаметр арматури, для окремих стержнів, перевищує допустимі відхилення в межах до 0,3 мм згідно з ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001, ДСТУ Б В.2.7-312:2016. Проте, в результаті аналізу отриманих

механічних характеристик встановлено, що такі відхилення суттєво не впливають на величини показників механічних характеристик випробуваних зразків (вони не менші за необхідні).

Разом з тим, в подальшому, при застосуванні базальтової арматури необхідно перевіряти таку арматуру на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-312:2016 і відповідність повинна бути забезпечена.

Визначено для базальтової арматури тимчасовий опір, відносно видовження після розриву відповідно: для діаметра 6 мм — 1 105 МПа та 2,13 %; для 10 мм — 1 068 МПа та 2,10 %.

## Висновки.

1. Аналіз досліджень неметалевої композитної арматури показав, що в останні роки науковці приділяють арматурі значну увагу, оскільки бачать перспективу її широкого використання в майбутньому. Дослідження базальтової арматури показали, що вона має високу міцність, малу густину, має достатню стійкість до лужного середовища.

2. В результаті досліджень арматури діаметром 6 мм та 10 мм встановлено, що кривизна прутка, якість поверхні, колір арматури відповідають ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001, ДСТУ Б В.2.7-312:2016. Внутрішній діаметр арматури, для окремих стержнів, перевищує допустимі відхилення в межах до 0,3 мм (відповідно до ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001 та ДСТУ Б В.2.7-312:2016). Проте, в результаті аналізу отриманих механічних характеристик встановлено, що такі відхилення суттєво не впливають на величини показників механічних характеристик випробуваних зразків (вони не менші за необхідні). Разом з тим, в подальшому, при застосуванні базальтової арматури необхідно перевіряти таку арматуру на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-312:2016 і відповідність повинна бути забезпечена.

3. Визначено для базальтової арматури тимчасовий опір, відносно видовження після розриву відповідно: для діаметра 6 мм — 1 105 МПа та 2,13 %; для діаметра 10 мм — 1 068 МПа та 2,10 %.

4. Напруження, яке відповідає максимальному статичному навантаженню розтягом ( $P_{\max}$ ) до руйнування зразків базальтової арматури встановлено при випробуванні зразка арматури діаметром 6 мм і становить  $s_b \sim 1\,153$  МПа, що відповідає границі міцності високоміцної сталі арматури класу А-1000. Відносно видовження базальтової арматури  $\delta$  перебуває в межах від 2,0 % до 2,3 %, і співмірне із  $\delta$  арматури А-1000, яке дорівнює 2,0 %.

5. Результати випробувань на статичні навантаження засвідчують високі показники характеристик базальтової арматури діаметром 6 мм та 10 мм, що є передумовою для застосування випробуваної арматури при будівництві транспортних споруд.

**Ключові слова:** арматура, базальт, базальтопластик, випробування, діаметр, дослідження, міст, періодичний профіль, розмір, серія, транспортна споруда, характеристика.

## Вступ

У дорожній галузі основна частина витрат на ремонт і відновлення залізобетонних конструкцій мостів і шляхопроводів пов'язана з корозією металевої арматури. Застосування неметалевої арматури є перспективним принциповим рішенням цієї проблеми. Технічні характеристики дозволяють застосовувати базальтову арматуру для дорожнього будівництва, при підсиленні мостів, для огорожувальних конструкцій, в конструкціях, які зазнають впливу агресивних середовищ.

Переваги від застосування базальтової арматури визначають наступними характеристиками:

- густина композитного матеріалу є нижчою за густину сталі близько 4–5 разів;
- перша група хімічної стійкості відносно мінералізованої, морської, аміачної води, а також сірчаної, соляної та фтористоводневої кислоти;
- низька теплопровідність;

- міцність на розтяг не менше ніж 1 000 МПа;
- можливий діапазон експлуатації від мінус 70 °С до 100 °С.

Ефект від використання базальтової арматури отримують, зокрема, від зниження вартості будівництва за рахунок застосування арматури меншого діаметру в порівнянні з металевою при забезпеченні необхідних характеристик міцності, зменшенню ваги конструкцій із такою арматурою. Також, завдяки відсутності певних видів корозії арматури під час експлуатації підвищується довговічність конструкції, скорочують або ліквідують окремі види ремонтних робіт.

## **1 Дослідження неметалевої композитної базальтової арматури**

На сьогоднішній день в Україні базальт не набув масштабного використання, оскільки для використання в транспортних спорудах не достатньо досліджений.

У 70–80-х роках в Україні було здійснено ряд досліджень бетонних конструкцій, армованих неметалевою композитною арматурою. Дослідження було здійснено в НДІБК, КиївЗНДІЕП, КІБІ, Львівському політехнічному інституті. Результатом цих досліджень стали розроблені, наприклад, Рекомендації з розрахунку та конструювання бетонних та залізобетонних конструкцій із включенням скловолокнистої арматури [1], але використання такої арматури було дуже обмежене.

З появою нових виробництв базальтової арматури в Україні продовжують дослідження базальтової арматури. Паралельно, також, проводяться дослідження і базальтових волокон, з яких виготовляють базальтову арматуру, наприклад, у вигляді фібри [2]. В даних дослідженнях, зокрема, визначено корозійну стійкість металевої арматури при введенні в склад цементобетонної суміші базальтової фібри. Встановлено, зокрема, що за показником щільності струму пасивації сталевий арматури бетон з добавкою фібри (в даному випадку 4 % від кількості цементу за масою) відповідає вимогам до бетону конструкцій з ненапруженою сталевий арматурою. Здійснено, також, і ряд інших досліджень [3–5], де, зокрема, досліджено вплив базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва, армування базальтобетонних балок за допомогою системи ЛАРМ-САПР. Ними займаються ряд наукових установ та науковців, окремі результати яких наведено нижче.

### **1.1 Фізико–механічні характеристики базальтової арматури**

У роботі [6] здійснено статистичну оцінку нормованих показників механічних властивостей неметалевої композитної базальтової арматури. Досліджено результати випробувань властивостей арматури діаметром 4 мм, 6 мм, 8 мм, 10 мм та 12 мм. Було випробувано п'ять серій зразків. Перша серія містила стержні арматури діаметром 4 мм, друга — 6 мм, третя — 8 мм, четверта — 10 мм і п'ята — 12 мм. Випробування здійснювали за традиційною методикою. Особливістю випробувань було застосування спеціальних анкерних захватів відповідно АСІ 440.3R-04 [7]. Захватами є два циліндри розміщені та відцентровані на краях стержня, який досліджують. Простір між стержнем і циліндром заповнюють анкерною сумішшю, яка забезпечує передачу навантаження від захватів випробувальної машини на стержень.

В результаті здійснених дослідів зразків арматури були отримані значення тимчасового опору на розрив, початкового модуля пружності та відносного рівномірного подовження. Нормування показників механічних властивостей здійснювали за аналогією з традиційною металевою арматурою. Для тимчасового опору розриву була прийнята забезпеченість 0,95, для початкового модуля пружності — 0,50, а для відносного тимчасового подовження — 0,90.

Висновки випробувань:

1. Експериментальні дослідження міцності арматури на розтяг показали, що залежність напруження – деформація мають лінійний характер, руйнування — крихке.

2. Розподіл значень тимчасового опору, початкового модуля пружності і відносного рівномірного подовження після розриву близькі до нормального закону розподілу.

3. Забезпеченість значень тимчасового опору, початкового модуля пружності і відносного рівномірного подовження після розриву арматури на основі базальтового ровінгу перевищують

нормовані значення забезпеченості відповідних показників.

4. Для застосування неметалевої композитної арматури на основі базальтового ровінгу в Україні необхідне здійснення оцінки статистичних показників механічних властивостей.

## **1.2 Міцність базальтової арматури на зріз**

У роботі [8] визначали міцності на зріз (граничних дотичних напружень) композитної неметалевої базальтопластикової арматури на основі результатів випробувань за методом АСІ 440.3R-04. В якості зразків для здійснення випробувань були стержні базальтопластикової арматури діаметром 10 мм та 12 мм виготовлені методом пултрузії. Періодичний профіль стержнів сформований втискуванням джгута для обмотування в несний стержень. Установка для здійснення випробувань складалась з тримача зразка, одного верхнього і двох нижніх ножів. Тримач зразка мав розмір 230 мм × 110 мм × 100 мм із поздовжнім V-подібним вирізом для розміщення зразка композитної арматури і прямокутний виріз для встановлення верхнього та нижнього ножа.

Випробувано три серії зразків Перша серія містила базальтопластикові стержні діаметром 8 мм, друга — діаметром 10 мм, третя — діаметром 12 мм. Кожна серія містила по 5 стержнів довжиною 300 мм.

Навантаження прикладали зосередженою силою до верхнього ножа установки зусиллям гідравлічного пресу з електронною шкалою із точністю 1 кг. Навантаження прикладали монотонно зростаючим навантаженням до руйнування зі швидкістю 500 кг/хв для діаметра 8 мм, 700 кг/хв для діаметру 10 мм і 1 000 кг/хв для діаметру 12 мм, яка відповідала регламентованій швидкості дотичних напружень (30–60) МПа/хв. Під час експерименту за допомогою електронного давача переміщень плит гідравлічного пресу вимірювали вертикальні переміщення стержня з точністю 0,01 мм.

### **Висновки:**

За результатами здійснених експериментально-теоретичних досліджень міцності композитної арматури на зріз встановлено, що залежність дотичні напруження — вертикальні переміщення має лінійний характер, а руйнування — крихке.

1. Величина граничних дотичних напружень базальтопластикової арматури не залежить від діаметру і складає приблизно (190–200) МПа, що відповідає від 0,22 до 0,28 від тимчасового опору арматури.

2. При інших рівних умовах, величини граничних дотичних напружень при зрізі і відносній деформації зсуву базальтопластикової арматури мають близькі значення, а характер їх деформування підлягає загальним закономірностям.

3. Результати здійснених дослідів можуть бути застосовані при розрахунку конструкцій з базальтопластиковою арматурою на дію поперечної сили при оцінці міцності арматури в зоні перетину критичною похилою тріщиною.

4. Для застосування композитної неметалевої базальтопластикової арматури в Україні необхідне здійснення цілеспрямованих експериментально-теоретичних досліджень механічних характеристик, зчеплення з бетоном, міцності, жорсткості та тріщиностійкості конструкцій.

## **1.3 Зчеплення базальтової арматури з бетоном**

У роботі [9] визначали параметри зчеплення композитної базальтової арматури з бетоном і порівнювали отримані дані з вимогами до металевої арматури для армування залізобетонних конструкцій. В якості зразків були стержні композитної базальтової арматури діаметром 8 мм, 10 мм, 12 мм, виготовлені за ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 [10]. Всього для здійснення випробувань було відібрано по 6 зразків композитної арматури діаметром 8 мм, 10 мм, 12 мм.

Балочний метод випробувань на зчеплення арматури з бетоном передбачає випробування спеціальних зразків бетонної балки на згин. Балка складається з двох половинок, з'єднаних між собою в розтягнутій зоні арматурним (ми) стержнем, який випробовують, а в стиснутій зоні через закладні деталі — сталевим циліндром. Арматурний стержень на середньому проміжку половинок

балки довжиною  $10d$  ( $d$  — діаметр стержня) має зчеплення з бетоном, а на інших проміжках половинок балок розміщують в спеціальні трубки і не має зчеплення з бетоном. Балку випробовують двома зосередженими силами. Під час випробувань вимірюють зміщення розташованого на торці балки вільного кінця стержня. Дотичні напруження зчеплення з бетоном на довжині  $10d$  вираховують в залежності від осьового зусилля в стержні в перерізі з'єднання половинок балки.

За результатами аналізу здійснених експериментальних досліджень зчеплення з бетоном композитної базальтової арматури згідно з [10] можна зробити такі висновки:

1. Загальний вигляд кривих залежностей дотичне напруження – деформації зсуву для композитної базальтової арматури з періодичним профілем типу «Б» згідно з [10] відповідає аналогічним кривим для металеві арматури серповидного періодичного профілю (традиційного).

2. Отримані дослідні значення дотичних напружень, для композитної базальтової арматури за всіма зразками діаметром 8 мм, 10 мм, 12 мм задовольняють вимоги ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1 [11] до профілю арматури, який застосовують для армування бетонних конструкцій.

3. Параметри зчеплення з бетоном композитної базальтової арматури згідно з [10] з періодичним профілем типу «Б» близькі до відповідних параметрів для арматури з періодичним профілем типу «А».

4. Виходячи із вищеперахованого, для розрахунку анкетування в бетоні композитної базальтової арматури з періодичним профілем типу «Б» згідно з [10] можуть бути застосовані розрахункові залежності для металеві арматури періодичного (серповидного) профілю.

### **1.4 Вилуговування базальтового волокна**

У роботах [12], [13] розглядали вплив температури обробки базальтового волокна на різних стадіях вилуговування на його структурну характеристику і корозійну стійкість. Для досліджень використовували базальти родовищ України, а саме: Янова Долина, Тальне, Роменське і Усачівське. Корозійну стійкість базальтів визначали за втратою маси. В якості корозійного середовища використовували 0,5 % та 2 % розчини NaOH і HCl. Контрольні зразки витримували на повітрі і у воді. Зміну структури базальту виконували за допомогою комплексу впливів, в тому числі, термічного. Максимальне значення температури, яку використовували в дослідях, становила 850 °C з кроком варіації 50 °C. Тривалість витримки за заданої температури перебувала в межах (0,5–6,0) год.

За результатами здійснених досліджень базальтові волокна можна умовно поділити на такі групи:

- малорозчинні з збереженням форми та кольору волокна;
- частково розчинні в кислотах з утворенням об'ємної пористої структури;
- повністю розчинні.

З цих груп найперспективнішими, з точки зору поставленої мети, є базальти Усачківського та Роменського родовищ. Визначення фізико-механічних показників другої групи базальтових волокон (на даному етапі) здійснювали за показниками їх структури.

Корозійна стійкість базальтових волокон в конкретному корозійному середовищі є інтегрована величина, яку визначають багатьма чинниками, кожен із яких може як підвищувати її значення, так і знижувати. Отримання базальтового волокна з високою корозійною стійкістю можливе за рахунок здійснення селективного вилуговування і забезпечення в кінцевому продукті переважної концентрації певних оксидів в оптимальному співвідношенні. Термічна обробка змінює структурну характеристику матеріалу базальтового волокна і дає можливість отримати волокно з зміненими, покращеними властивостями.

У роботі [14] приведено досліджено лугостійкість базальтових волокон з родовищ Янова Долина, Берестовецького (Рівненської області) та Марнеульського (Грузія). Дослідження лугостійкості приводили в насиченому розчині  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а також при тривалому перебуванні в лужному середовищі при нормальних умовах.

Лугостійкість оцінювали за комплексом параметрів, які характеризують процес руйнування: втрату маси, зміну діаметру та міцності.

Було зроблено висновок, що тривала дія лужного середовища на міцність волокон діаметром (43–54) мкм впливає значно менше, ніж на волокна діаметром (12–14) мкм.

Після витримки 9 місяців в насиченому розчині  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  базальтові волокна 12 – 14 мкм мали 43 % міцності, а в розчині  $2\text{HNaOH}$  — 93 %. Базальтові волокна (43–54) мкм після витримки 6 місяців збільшили свою міцність: в  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  — міцність становила 101 %,  $2\text{HNaOH}$  — 151 %. Було припущено, що відбулось розчинення поверхневих шарів волокна, які впливають на міцність волокон.

Але варто звернути увагу, що міцність волокон (12–14) мкм становить  $175,0 \text{ кг/мм}^2$ , а (43–54) мкм становить  $30 \text{ кг/мм}^2$ . Тобто навіть після зменшення міцності волокна (12–14) мкм мали все одно більшу міцність, ніж волокна (43–54) мкм: після витримки в  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  відповідно  $75,2 \text{ кг/см}^2$  та  $30,3 \text{ кг/см}^2$ ; після витримки в  $2\text{HNaOH}$  відповідно  $162,8 \text{ кг/см}^2$  і  $45,3 \text{ кг/см}^2$ .

## **1.5 Довговічність конструкцій, армованих неметалевою композитною базальтовою арматурою**

У роботі [15] розглянуто довговічність бетонних конструкцій із елементами базальтопластикового армування. Для порівняльної оцінки показників корозійної стійкості та довговічності здійснено прискорені випробування стандартних бетонних зразків і арматури в соляному тумані для контролю корозійного руйнування.

Випробування здійснені для наступних конструктивних елементів: залізобетонні конструкції балкового типу прямокутного поперечного перерізу із бетону за міцністю на стиск В25. Робоча арматура 5Ø4Вр-1 (металева арматура) та 4Ø8 (неметалева базальтопластикова арматура).

Аналіз результатів випробувань бетонних зразків, армованих неметалевою арматурою та залізобетонних зразків:

- випробувані зразки із різним армуванням близькі за несною здатністю;
- міцність і ширина розкриття тріщин зразків із різним армуванням відповідає вимогам

норм.

Результати прискорених випробувань стандартних бетонних зразків і арматури в соляному тумані дозволили визначити значення довговічності зразків із заданими варіантами армування:

- для зразків, армованих металевою арматурою рівень довговічності від 3 до 5 років;
- для зразків, армованих неметалевою арматурою рівень довговічності від 5 до 10 років,

що більше у порівнянні із довговічністю зразків, армованих металевою арматурою.

## **2 Мета й завдання роботи**

Дослідити арматуру, яку виготовляли на момент дослідження виробники арматури в Україні. Здійснити визначення геометричних розмірів, маси, кольору, тимчасового опору, відносного видовження після розриву базальтової арматури періодичного профілю діаметром 6 мм, 10 мм. Здійснити обробку результатів випробувань фізико-механічних характеристик неметалевої композитної базальтової арматури періодичного профілю діаметром 6 мм, 10 мм, аналіз результатів випробувань. Розробити, за висновками з аналізу результатів випробувань, пропозиції щодо вимог до неметалевої композитної базальтової арматури для транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування.

## **3 Визначення геометричних розмірів, кольору арматури**

Для визначення характеристик базальтової арматури були використані арматурні стержні періодичного профілю виду А, номінальним діаметром 6 мм, 10 мм, довжиною 1 м, виготовлені згідно з [10].

Геометричні параметри арматури вимірювали з точністю до 0,1 мм штангенциркулем у двох взаємно перпендикулярних напрямках з обох кінців прутка. За результат приймали середнє арифметичне чотирьох вимірювань.

Овальність поперечного перерізу арматури (різницю найбільшого і найменшого діаметрів у взаємно перпендикулярних напрямках одного перерізу) визначали як середнє арифметичне значення вимірювань у двох місцях відібраних зразків.

Розміри арматури вимірювали на відстані не менше ніж 150 мм від кінця прутка. Довжину зразка встановлювали з точністю до 1 мм згідно ДСТУ 4179 [16]. Масу одного метра довжини прутка визначали як середнє арифметичне значення маси двох зразків, зважених з точністю до 0,001 кг.

Кривизну прутка вимірювали на довжині арматурного стержня відповідно до довжини постачання, але не менше ніж 1 м.

Якість поверхні контролювали без застосування збільшувальних приладів.

Колір базальтової арматури визначали візуально на відповідність ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001 візуально без застосування будь-яких приладів. Встановлено, що колір всіх зразків арматури, які випробовували темно-коричневий і відповідає ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001.

#### **4 Визначення міцності на розтяг, тимчасового опору, відносного видовження після розриву базальтової арматури**

Експериментальні дослідження з визначення тимчасового опору, та відносного видовження після розриву здійснювали на універсальній розривній машині ZD-40 у лабораторних умовах за  $t = 20$  °С згідно з ГОСТ 12004. Було випробувано на розтяг по шість зразків кожного з діаметрів 6 мм, 10 мм арматури. Зразки фіксували у клинових захоплювачах розривної машини, які забезпечували їх симетричне навантаження.

У більшості випадків руйнування зразків починалося із розриву та відшарування поперечної нитки (жгута), що створює періодичний профіль, а також окремих волокон у поверхневому шарі робочої частини базальтової арматури. При збільшенні навантаження відбувалося інтенсивне руйнування волокон по периметру та товщині стержня. Розрив волокон, переважно, супроводжувався поздовжнім відшаруванням із утворенням розпушеного «вінчика» з базальтових волокон.

Однак, декілька стержнів розірвалися майже перпендикулярно до поздовжніх армуючих волокон без утворення «вінчика».

Результати експерименту та визначення міцнісних параметрів ( $P_{max}$ ,  $\sigma_b$ ,  $\delta$ ) отримували згідно з ГОСТ 12004. Результати досліджень приведені у **табл. 1–3**.

**Таблиця 1**

#### **Результати дослідження базальтової арматури періодичного профілю діаметром 6 мм**

№ зразка	Середнє арифметичне значення внутрішнього діаметру арматури $d$ , мм	Початкова розрахункова довжина зразка $l_0$ , мм	Видовження зразка після руйнування $\Delta l$ , мм	Зусилля руйнування $P_{max}$ , кг	$\sigma_e$ , МПа	Відносне видовження $\delta$ , %
1	6,0	139	3,2	3 100	1 097	2,3
2	6,1	140	3,1	3 230	1 105	2,2
3	6,4	141	2,9	3 650	1 135	2,0
4	6,2	140	3,0	3 480	1 153	2,1
5	6,3	141	2,9	3 370	1 082	2,0
6	6,1	142	3,2	3 090	1 056	2,2

Таблиця 2

Результати дослідження базальтової арматури періодичного профілю діаметром 10 мм

№ зразка	Середнє арифметичне значення внутрішнього діаметра арматури $d$ , мм	Початкова розрахункова довжина зразка $l_0$ , мм	Видовження зразка після руйнування $\Delta l$ , мм	Зусилля руйнування $P_{max}$ , кг	$\sigma_b$ , МПа	Відносне видовження $\delta$ , %
1	10,3	140	3,0	8 300	996	2,1
2	10,6	140	2,8	9 500	1 077	2,0
3	10,4	139	3,0	8 900	1 048	2,1
4	10,5	140	2,8	9 300	1 035	2,0
5	10,2	142	3,1	9 390	1 025	2,2
6	10,5	140	2,9	9 050	1 045	2,1

Таблиця 3

Усереднені значення результатів випробувань на розтягом зразків базальтової арматури діаметром 6 мм, 10 мм

№ зразка	Середнє арифметичне значення внутрішнього діаметра арматури $d$ , мм	Початкова розрахункова довжина зразка $l_0$ , мм	Видовження зразка після руйнування $\Delta l$ , мм	Зусилля руйнування $P_{max}$ , кг	$\sigma_b$ , МПа	Відносне видовження $\delta$ , %
1	6,18	140	3,05	3 320	1 105	2,13
2	10,40	140	2,95	9 073	1 068	2,10

### 5 Вимоги до арматури неметалева композитна базальтової періодичного профілю у ДСТУ Б В.2.7-312:2016 [17]

На основі, в тому числі, отриманих під час даних досліджень результатів, в подальшому були сформульовані загальні вимоги щодо основних параметрів і розмірів, які містить ДСТУ Б В.2.7-312:2016. Деякі з них наведено нижче.

Геометричні розміри, допустимі відхили від номінальних розмірів, розрахункова площа поперечного перерізу, маса одного погонного метра арматури повинні відповідати значенням, наведеним у **табл. 4** та **табл. 5** [17].

Таблиця 4

Геометричні розміри та маса арматури профілю виду «а»

Параметри	Номер профілю та значення				Допустимі відхили, мм
	6	8	10	12	
Зовнішній діаметр, мм	8,0	10,0	12,0	14,0	$\pm 0,3$
Внутрішній діаметр, мм	6,0	8,0	10,0	12,0	$\pm 0,3$
Величина рельєфності, мм	0,56	0,70	0,84	0,98	$\pm 0,2$
Крок профілю, мм	5-7	6-9	7-10	8-11	$\pm 1$



Кінець таблиці 4

Параметри	Номер профілю та значення				Допустимі відхилення, мм
	6	8	10	12	
Розрахункова площа поперечного перерізу, мм <sup>2</sup>	28,3	50,3	78,5	113,0	
Маса 1 м. п. арматури, г	60,0	106,0	170,0	230,0	± 5%
Відхилення за довжиною арматури, мм					+50
– довжина стрижнів до 6 000 мм					+70
– довжина стрижнів більше ніж 6 000 мм					

Таблиця 5

Геометричні розміри та маса арматури профілю виду «б»

Параметри	Номер профілю та значення				Допустимі відхилення, мм
	6	8	10	12	
Зовнішній діаметр, мм	7	9	11	13	± 0,3
Внутрішній діаметр, мм	6	8	10	12	± 0,3
Величина рельєфності, мм	1	1	1	1	± 0,2
Крок профілю, мм	8–10	8–10	10–15	10–15	± 2
Розрахункова площа поперечного перерізу, мм <sup>2</sup>	28,3	50,3	78,5	113,0	
Маса 1 м. п. арматури, г	56,0	90,0	148,0	224,0	± 5 %
Відхилення за довжиною арматури, мм					+ 50
— довжина стрижнів до 6 000 мм					+ 70
— довжина стрижнів більше 6 000 мм					

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-312 [17]:

Арматуру виготовляють з періодичним профілем поверхні у вигляді спіралі. Залежно від методу формування періодичного профілю арматуру поділяють на види: вид «а» і вид «б».

Вид «а» — арматура з періодичним профілем, який формують методом вдавлювання обмотувального джгута в несний стрижень.

Вид «б» — арматура з періодичним профілем, який формують методом спірального намотування уступами обмотувального джгута на несний стрижень.

Обмотувальний джгут виготовляють із матеріалів, ідентичних матеріалам для несного стрижня. Товщина джгута повинна забезпечувати геометричні розміри арматури, наведені в табл. 4 та табл. 5 [17].

**6 Аналіз результатів випробувань, пропозицій щодо вимог до неметалевої композитної базальтової арматури для транспортних споруд на автомобільних дорогах загального користування**

У результаті досліджень встановлено, що кривизна прутка, якість поверхні, колір арматури відповідають ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001. Внутрішній діаметр арматури, для окремих стержнів, перевищує допустимі відхилення в межах до 0,3 мм згідно з [10, 17]. Проте, в результаті аналізу отриманих механічних характеристик встановлено, що такі відхилення суттєво не впливають на величини показників механічних характеристик випробуваних зразків (вони не менші за необхідні).

Разом з тим, в подальшому, при застосуванні базальтової арматури для транспортних споруд необхідно перевіряти таку арматуру на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-312 [17] і відповідність має бути забезпечена.

## Висновки

1. Аналіз досліджень неметалевої композитної арматури показав, що в останні роки науковці приділяють арматурі значну увагу, оскільки бачать перспективу її широкого використання в майбутньому. Дослідження базальтової арматури показали, що вона має високу міцність, малу густину, має достатню стійкість до лужного середовища.

2. У результаті досліджень арматури діаметром 6 мм та 10 мм встановлено, що кривизна прутка, якість поверхні, колір арматури відповідають ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001, ДСТУ Б В.2.7-312:2016. Внутрішній діаметр арматури, для окремих стержнів, перевищує допустимі відхилення в межах до 0,3 мм (відповідно до ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001 та ДСТУ Б В.2.7-312:2016). Проте, в результаті аналізу отриманих механічних характеристик встановлено, що такі відхилення суттєво не впливають на величини показників механічних характеристик випробуваних зразків (вони не менші за необхідні), що співмірне із забезпеченістю значень тимчасового опору, відносного рівномірного подовження після розриву арматури за даними [4] (перевищують нормовані значення забезпеченості відповідних показників). Разом з тим, в подальшому, при застосуванні базальтової арматури необхідно перевіряти таку арматуру на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-312:2016 і відповідність має бути забезпечена.

3. Визначено для базальтової арматури тимчасовий опір, відносно видовження після розриву відповідно: для діаметра 6 мм — 1105 МПа та 2,13 %; для діаметра 10 мм — 1068 МПа та 2,10 %.

4. Напруження, яке відповідає максимальному статичному навантаженню розтягом ( $P_{\max}$ ) до руйнування зразків базальтової арматури встановлено при випробуванні зразка арматури діаметром 6 мм і становить  $s_b \sim 1153$  МПа, що відповідає границі міцності високоміцної сталльної арматури класу А-1000. Відносно видовження базальтової арматури  $\delta$  перебуває в межах від 2,0 % до 2,3 %, і співмірне із  $\delta$  арматури А-1000, яке дорівнює 2,0 %.

5. Результати випробувань на статичні навантаження засвідчують високі показники характеристик базальтової арматури діаметром 6 мм та 10 мм, що є передумовою для застосування випробуваної арматури при будівництві транспортних споруд.

## Список літератури

1. Методические рекомендации по расчету и конструированию бетонных и железобетонных конструкций с включением стекловолокнутой арматуры. Київ, 1984. 76 с. (Інформація та документація).

2. Коваль П.М., Бабяк І.П., Гримак О.Я. Дослідження впливу базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Рівне, 2011. Вип. 22. С.93–100.

3. Бабяк І.П. Вплив базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва. *Містобудування та територіальне планування*, Київ, 2016. Вип. 61. С.128–135.

4. Гвоздюк М.М., Бабяк І.П., Гембара Т.В., Костів Р.Б. Статична та втомна міцність базальтової арматури. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. Львів, 2013. Вип. 5. С. 79–83.

5. Коваль П.М., Гримак О.Я., Коваль М.П., Стоянович С.В. Дослідження армування базальтобетонних балок за допомогою системи ЛАРМ-САПР. *Актуальні проблеми інженерної механіки*. Одеса, 2018. С. 114–117.

6. Климов Ю.А., Солдатченко А.С., Васильчишина С.А. Механические свойства неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга. *Містобудування та територіальне планування*. Київ, 2011. Вип. 40. С.461–470.

7. Guide Test methods for fiber-reinforced polymers (FRPs) for reinforcing or strengthening concrete structures. 2004. 40 p. *ACI COMMITTEE REPORT*. ACI 440.3R-04 URL: [https://www.iranfrp.ir/wp-content/uploads/2018/12/4403R\\_04\\_0.pdf](https://www.iranfrp.ir/wp-content/uploads/2018/12/4403R_04_0.pdf) (дата звернення: 05.01.2020).

8. Климов Ю.А., Солдатченко А.С., Орешкин Д.О. Экспериментальные исследование прочности композитной неметаллической арматуры на срез. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Рівне, 2010. Вип. 20. С. 217–224.

9. Климов Ю.А., Пискун Р.А. Отчет по результатам испытаний на сцепление с бетоном неметаллической композитной базальтовой арматуры производства ТОВ «Технобазальтинвест». Київ, 2010. 23 с.

10. ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 Арматура неметалева композитна базальтова періодичного профілю. Технічні умови. Київ, 2009. 13 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT). Київ, 2012. 345 с. (Інформація та документація).

12. Гоц В.І., Пальчик П.П., Шпера С.П., Резнік О.Ю. Вилуговування базальтового волокна різних модифікацій. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне, 2010. Вип. 20. С. 17–22.

13. Гоц В.І., Пальчик П.П., Резнік О.Ю., Журбинська М.В. Особливості вилуговування склоподібних базальтів. *Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель і споруд*. Донецьк, 2010. Вип. 5 (85). С. 45–49.

14. Глуховський В.В., Свідерський В.А., Ященко О.М. та ін. Композиційні матеріали на основі волокон з гірських порід та неорганічних в'язучих. Науково-дослідна лабораторія базальтових волокон Інституту проблем матеріалознавства НАН України : моногр. Київ, 2006. 140 с.

15. Селютін Ю.В. Довговічність бетонних конструкцій з елементами скло- і базальтопластикового армування. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне, 2008. Вип. 18. С. 241–245.

16. ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови. Зі зміною № 1 (ГОСТ 7502-98, MOD). Київ, 2004. 20 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ Б В.2.7-312:2016 Арматура неметалева композитна базальтова періодичного профілю. Загальні технічні умови. Київ, 2016. 21 с. (Інформація та документація).

### References

1. Metodicheskie rekomendatsii po raschetu i konstruirovaniyu betonnyih i zhelezobetonnyih konstruktsiy s vklyucheniem steklovoloknistoy armatury [Methodological recommendations for the calculation and designing of concrete and reinforced concrete structures with inclusion of fiberglass reinforcement]. Kyiv, 1984. 76 p. [in Russian].

2. Koval P., Babiak I., Hrymak O. Doslidzhennia vplyvu bazaltovoi fibry na vlastyvoli betonu dlia transportnoho budivnytstva [Investigation of the influence of basalt fiber on the properties of concrete for transport construction]. *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*. Rivne, 2011. Issue 22. P. 93–100. [in Ukrainian].

3. Babiak I. Vplyv bazaltovoi fibry na vlastyvoli betonu dlia transportnoho budivnytstva [Influence of basalt fiber on properties of concrete for transport construction]. *Urban planning and territorial planning*. Kyiv, 2016. Issue 61. P. 128–135. [in Ukrainian].

4. Hvozdiuk M.M., Babiak I.P., Hembara T.V., Kostiv R.B. Statychna ta vtomna mitsnist bazaltovoi armatury [Static and fatigue strength of basalt reinforcement]. *Physico-chemical mechanics of materials*. Lviv, 2013. Iss. 5. P. 79–83. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM\\_2013\\_49\\_5\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2013_49_5_12) (Last accessed: 02.02.2021) [in Ukrainian].
5. Koval P.M., Hrymak O.Ia., Koval M.P., Stoianovych S.V. Doslidzhennia armuvannia bazaltobetonnykh balok za dopomohoiu systemy LARM-SAPR [Research of reinforcement of basalt concrete beams by means of LARM-CAD system]. *Current problems of engineering mechanics*. Odessa, 2018. P. 114-117. [in Ukrainian].
6. Klymov Yu.A., Soldatchenko A.S., Vasylyshyna S.A. Mekhanicheskiye svoystva nemetalicheskoy kompozitnoy armatury na osnove bazaltovogo rovinga [Mechanical properties of non-metallic composite reinforcement on basalt roving basis]. *Urban planning and spatial planning*. Kyiv, 2011. Iss. 40. P. 461–470. [in Russian].
7. Guide Test methods for fiber-reinforced polymers (FRPs) for reinforcing or strengthening concrete structures. 2004. 40 p. *ACI COMMITTEE REPORT*. ACI 440.3R-04. URL: [https://www.iranfrp.ir/wp-content/uploads/2018/12/4403R\\_04\\_0.pdf](https://www.iranfrp.ir/wp-content/uploads/2018/12/4403R_04_0.pdf) (Last accessed: 05.01.2020) [in English].
8. Klymov Yu.A., Soldatchenko A.S., Oreshkin D.O. Eksperimentalnyye issledovaniye prochnosti kompozitnoy nemetalicheskoy armatury na srez [Experimental study of the strength of composite non-metallic reinforcement on the cut]. *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*. Rivne, 2010. Issue. 20. P. 217–224. [in Russian].
9. Klimov Yu.A., Piskun R.A. Otchet po rezul'tatam ispytaniy na stsepleniye s betonom nemetalicheskoy kompozitnoy bazaltovoy armatury proizvodstva TOV «Tekhnobazaltinvest» [Report on the results of tests on the adhesion with concrete of non-metallic composite basalt reinforcement produced by LLC «Technobasaltinvest»]. Kyiv, 2010. 23 p. [in Russian].
10. TU U V.2.7-25.2-34323267-001:2009 Armatura nemetaleva kompozytna bazaltova periodychnoho profilu. Tekhnichni umovy [Specifications (TU U V.2.7-25.2-34323267-001:2009) Non-metallic composite basalt reinforcement of periodic profile. Specifications]. Kyiv, 2009. 13 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. DSTU-N B EN 1992-1-1:2010 Yevrokod 2. Proektuvannia zalizobetonnykh konstruksii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud (EN 1992-1-1:2004, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU-N B EN 1992-1-1:2010) Eurocode 2: Design of concrete structures -Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1:2004)]. Kyiv, 2012. 345 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
12. Hots V.I., Palchyk P.P., Shpera S.P., Rieznik O.Yu. Vyluhovuvannia bazaltovoho volokna riznykh modyfikatsii [Leaching of basalt fiber of different modifications]. *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*. Rivne, 2010. Iss. 22. P. 17–22. [in Ukrainian].
13. Hots V.I., Palchyk P.P., Rieznik O.Yu., Zhurbynska M.V. Osoblyvosti vyluhovuvannia sklopodibnykh bazaltiv [Features of leaching of glassy basalts]. *Bulletin of the Donetsk National Academy of Civil Engineering and Architecture*. Donetsk, 2010. Vol. 5 (85). P. 45–49. [in Ukrainian].
14. Hlukhovskiy V.V., Sviderskiy V.A., Yashchenko O.M. ta in. Kompozytsiimi materialy na osnovi volokon z hirs'kykh porid ta neorhanichnykh viazhuchykh [Composite materials on the basis of rocks fibers and inorganic binders]. Research Laboratory of Basalt Fibers – Institut for Problems of Material Sciences NAS of Ukraine : monograph. Kyiv, 2006. 140 p. [in Ukrainian].
15. Seliutin Yu.V. Dovhovichnist betonnykh konstruksii z elementamy sklo- i bazaltoplastykovoho armuvannia [Durability of concrete structures with elements of glass and basalt-plastic reinforcement]. *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*. Rivne, 2008. P. 241–245. [in Ukrainian].
16. DSTU 4179-2003 Ruletky vymiriuvalni metalevi. Tekhnichni umovy. Zi zminoiu № 1

(HOST 7502-98, MOD) [State Standard of Ukraine (DSTU 4179-2003) Measuring metal tapes. Specifications (HOST 7502-98, MOD)]. Kyiv, 2004. 20 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

17. DSTU B V.2.7-312:2016 Armatura nemetaleva kompozytna bazaltova periodychnoho profilu. Zahalni tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-312:2016) Nonmetallic composite basaltic periodic profile reinforcement. General specifications]. Kyiv, 2016. 21 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

---

**Ihor Babyak**, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>

*M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

## RESEARCH OF NON-METAL COMPOSITE BASALT REINFORCEMENT OF PERIODIC PROFILE AND PROSPECTS OF ITS USE

### *Abstract*

Introduction. The results of research of physical and mechanical characteristics of non-metallic composite basalt reinforcement obtained by researchers, in particular, the shear strength of basalt reinforcement, coupling of basalt reinforcement to concrete, leaching of basalt fiber, durability of structures reinforced with non-metallic composite basalt reinforcement.

Problem Statement. In the road industry, the main part of the costs for repair and restoration of reinforced concrete structures of bridges and overpasses is associated with corrosion of metal reinforcement. The use of non-metallic armature is a promising fundamental solution to this problem. Technical characteristics allow to apply basalt armature for road construction, at strengthening of bridges, for enclosing designs, in the designs which are exposed to aggressive environments.

The effect of the use of basalt reinforcement is obtained, in particular, from reducing the cost of construction through the use of reinforcement of smaller diameter (hereinafter  $\emptyset$ ) compared to metal while providing the necessary strength characteristics, reducing the weight of structures with such reinforcement. Also, due to the absence of certain types of corrosion of the armature during operation, the durability of the structure increases, reduce or eliminate certain types of repair work.

However, the use of non-metallic composite basalt reinforcement of periodic profile, made of basalt fibers, designed for reinforcement of concrete structures of transport structures, is constrained by the lack of a sufficient number of research results of the characteristics of such reinforcement. On the basis of such researches it will be necessary, further, to make changes in norms on designing, standards on test methods, etc.

Purpose. Investigate the armature of one of the main manufacturers, which were manufactured at the time of the study in Ukraine. Determine the geometric dimensions, mass, color, temporary resistance, elongation after rupture of the basalt reinforcement of the periodic profile with a diameter of 6 mm, 10 mm. To process the results of tests of physical and mechanical characteristics of non-metallic composite basalt reinforcement of periodic profile with a diameter of 6 mm, 10 mm, analysis of test results. Develop, based on the conclusions of the analysis of test results, proposals for the requirements for non-metallic composite basalt reinforcement for public transport structures.

Materials and methods. Experimental studies of physical and mechanical characteristics of basalt reinforcement of periodic profile type A, nominal diameter 6 mm, 10 mm, manufactured according to TU U V.2.7-25.2-34323267-001, in particular, the curvature of the bar, surface quality, color of reinforcement, inner diameter reinforcement, temporary resistance, elongation after breaking.

Results. As a result of researches it is established that curvature of a bar, quality of a surface, color of armature correspond to TU U V.2.7-25.2-34323267-001. The inner diameter of the valve, for individual

bars, exceeds the permissible deviations within 0.3 mm in accordance with TU U V.2.7-25.2-34323267-001, DSTU B V.2.7-312:2016. However, as a result of the analysis of the obtained mechanical characteristics it was found that such deviations do not significantly affect the values of the mechanical characteristics of the tested samples (they are not less than necessary).

However, in the future, when using basalt reinforcement, it is necessary to check such reinforcement for compliance with the requirements of DSTU B B.2.7-312:2016 and compliance must be ensured.

Determined for basalt reinforcement temporary resistance, elongation after breaking, respectively: for  $\varnothing$  6 mm — 1 105 MPa and 2,13 %; for  $\varnothing$  10 mm — 1 068 MPa and 2,10 %.

### Conclusions

1. Analysis of research on non-metallic composite reinforcement has shown that in recent years, scientists have paid considerable attention to reinforcement, as they see the prospect of its widespread use in the future. Studies of basalt reinforcement have shown that it has high strength, low density, has sufficient resistance to alkaline environment.

2. As a result of researches of armature with a diameter of 6 mm and 10 mm it is established that curvature of a bar, quality of a surface, color of armature correspond to TU U V.2.7-25.2-34323267-001, DSTU B V.2.7-312:2016. The inner diameter of the valve, for individual bars, exceeds the permissible deviations within 0.3 mm (according to TU U V.2.7-25.2-34323267-001 and DSTU B B.2.7-312:2016). However, as a result of the analysis of the obtained mechanical characteristics it was found that such deviations do not significantly affect the values of the mechanical characteristics of the tested samples (they are not less than necessary). However, in the future, when using basalt reinforcement, it is necessary to check such reinforcement for compliance with the requirements of DSTU B V.2.7-312:2016 and compliance must be ensured.

3. Defined for basalt reinforcement temporary resistance, elongation after breaking, respectively: for  $\varnothing$  6 mm — 1105 MPa and 2,13 %; for  $\varnothing$  10 mm — 1068 MPa and 2,10 %.

4. The strain corresponding to the maximum static tensile load ( $P_{\max}$ ) before the failure of basalt reinforcement samples was set when testing the reinforcement sample  $\varnothing$  6 mm and is near 1153 MPa, which corresponds to the tensile strength of high-strength steel reinforcement class A-1000. The relative elongation of the basalt reinforcement  $\delta$  is in the range from 2,0 % to 2,3 %, and is proportional to the  $\delta$  of the reinforcement A-1000, which is equal to 2,0 %.

5. The results of tests for static loads show high performance characteristics of basalt reinforcement  $\varnothing$  6 mm and  $\varnothing$  10 mm, which is a prerequisite for the use of the tested reinforcement in the construction of transport facilities.

**Keywords:** reinforcement, basalt, basaltoplastic, test, diameter, research, bridge, periodic profile, size, series, transport structure, characteristic.