

УДК 691.328.4; 691.175.3

Д.В. ПОПРУГА, канд. техн. наук, доц., О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.  
Криворізький національний університет

## ВИКОРИСТАННЯ СКЛОПЛАСТИКОВОЇ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ВИГОТОВЛЕНИХ З БЕТОНІВ НА ВІДХОДАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

**Мета.** Метою даної роботи є визначення реальних фізико-механічних властивостей композитної склопластикової арматури і порівняння їх з аналогічними характеристиками металеві арматури. Визначення передумов використання склопластикових композитів в якості арматурних виробів згинальних елементів виготовлених на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Методи дослідження.** Окрім аналізу літературних джерел планується проведення натурного експерименту зі зразками композитної склопластикової арматури і металеві арматури А400С.

**Наукова новизна.** Реальні фізико-механічні характеристики композитної склопластикової арматури дозволять встановити закономірності рівномірної заміни металеві арматури А400С і можливість подальшого використання композитів в бетонних згинальних елементах.

**Практична значимість.** Згідно експериментальних даних, отриманих під час випробування зразків композитної склопластикової арматури на розрив, буде розроблена програма наукового дослідження згинальних бетонних елементів виготовлених на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів і армованих композитною склопластиковою арматурою. Визначення реального напружено-деформованого стану згинальних елементів армованих композитами і виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів, дозволить встановити передумови використання подібної арматури в згинальних бетонних будівельних конструкціях, а особливо виготовлених на бетонах, що мають знижені деформативні характеристики.

**Результати.** Під час експериментального дослідження різних діаметрів композитної склопластикової арматури на розрив буде встановлено: фактичні розміри і вага арматурних зразків, визначення тимчасового опору арматури на розтяг, побудовано графічну залежність "напруження-деформації", визначення наявності або відсутності площадки текучості, відносні деформації арматурних зразків, початковий модуль пружності. Визначені фізико-механічні характеристики металеві арматури А400С дозволять встановити реальні залежності рівномірної заміни її композитною склопластиковою арматурою при виготовленні бетонних згинальних елементів.

**Ключові слова:** композитна склопластикові арматура, металеві арматура, фізико-механічні характеристики, тимчасовий опір на розрив, рівномірна заміна, модуль пружності.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Складна економічна ситуація в Україні і світі потребує рішучих дій у напрямі зниження собівартості будівельно-монтажних робіт. Використання відходів промисловості у вигляді заповнювачів для бетонів і новітніх композитних матеріалів в якості арматурних виробів, може призвести до зниження вартості монолітного будівництва в Україні.

Для Криворізького залізничного басейну гостро стоїть проблема переробки відходів гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК). Використання відходів ГЗК при виготовленні бетонних елементів може здешевити вартість  $1 \text{ м}^3$  бетону [1], а армуванням побічних бетонних конструкцій склопластиковою композитною арматурою може надати нових якісних характеристик конструкціям.

Особливості роботи склопластикової композитної арматури в згинальних бетонних конструкціях на сьогоднішній день недостатньо вивчені, а робота подібного матеріалу в бетонах виготовлених на відходах ГЗК, що мають знижені деформативні характеристики, взагалі не ведеться. Саме тому запропонований науковий напрям має наукову і практичну цінність.

**Постановка завдання.** Перед авторами стоять наступні завдання:

дослідити фізико-механічні властивості композитної склопластикової арматури аналітичним і експериментальним шляхом;

порівняти отримані дані фізико-механічних характеристик композитної склопластикової арматури з металеві арматурою А400С.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Склопластикові композитна арматура є абсолютно новим матеріалом з іншими властивостями, ніж у традиційного металу. Залежно від умов застосування її властивості можуть бути як істотними плюсами так і недоліками.

Враховуючі недостатню кількість фахової літератури з композитної арматури, були проаналізовані загальнодоступні джерела інформації в мережі Інтернет.

Переваги композитної арматури [2]:

композитна склопластикова арматури в бетонних конструкціях не піддається корозії ні в лужному середовищі бетону, ні під впливом агресивного середовища хімічних реагентів, морської води й продуктів життєдіяльності;

діапазон робочих температур від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  градусів дозволяє працювати з композитною арматурою цілий рік у будь-якому кліматичному поясі в різних технологічних процесах;

діелектричні властивості склопластикової арматури роблять її особливо ефективною при армуванні стін і перекриттів, де екранізуючі властивості металевого каркаса впливають на поширення електромагнітних хвиль, що призводить до значних погіршень у вимірах спеціальної техніки;

композитна арматури в багато разів легша сталевій, а більш висока міцність у конструкціях дозволяє різницю у вазі збільшити до 2-х разів. Легкість арматури дозволяє спростити процес транспортування й монтажу, знижуючи витрати.

Недоліки композитної арматури [3]:

недостатня термостійкість. При температурі більше  $2000^{\circ}\text{C}$  композитна арматури починає втрачати свої міцнісні властивості. Саме тому, якщо до бетонних конструкцій ставляться вимоги з вогнестійкості, то використання композитної арматури є обмеженим;

низький модуль пружності подібної арматури свідчить про значну деформативність подібного матеріалу, що потребує додаткових розрахунків за другою групою граничних станів при використанні її в згинальних елементах;

неможливість зварювання арматурних елементів. Подібні арматурні вироби з композитної арматури поєднуються в'язанням;

недостатня стійкість у лужному середовищі деяких композитів.

Сфера застосування композитної арматури [2]:

увесь спектр індивідуального будівництва: стрічкові фундаменти, фундаментні плити, тротуари й доріжки, під'їзні колії, вимощення, фундаменти огорожень, армування цегляної і газобетонної кладки, армування бетонних конструкцій;

композитна арматури застосовується як гнучкі в'язі в тришарових стінових панелях, а також у вигляді дюбелів для кріплення зовнішнього утеплювача стін, підвищуючи енергоефективність будівель;

рекомендується використовувати композитну арматури в конструкціях, що постійно перебувають у зоні підвищеної вологості й контакті з морською водою – дамби, пірси, хвилеломи, смуги берегоукріплень, очисні споруди, колодязі, колектори, канали, фонтани, басейни, резервуари;

композитна арматури використовується при армуванні дорожнього одягу з метою збільшення строку експлуатації дорожніх покриттів, зниження колійності, запобігання утворенню тріщин і збільшення міжремонтного періоду;

улаштування сейсмостійких поясів будівель і споруд у сейсмоактивних зонах, де не рекомендується використання сталевій арматури. Застосовується на об'єктах, що експлуатуються в умовах підвищеної вібрації (атомні й гідроелектростанції, мости та ін.);

застосування в каналах водовідведення, каналізації й меліорації;

конструкції з бетонів із попередньо напруженим і ненапруженим армуванням (освітлювальні опори, опори й ізолюючі траверси ЛЕП; дорожні й тротуарні плити, забірні плити й стовпчики, бордюрний камінь, бетонні опори, малі архітектурні форми (балясини); залізничні шпали; фасонні бетонні вироби для трубопровідних і трасопровідних (теплоцентралі, кабельні канали) комунальних систем;

елементи інфраструктури промислових споруд хімічної й харчових сфер, дослідницьких комплексів і лабораторій, злітно-посадочні смуги та інші споруди аеропортів;

як альтернативне використання - у якості опор для садових рослин, сітки для винограду, елементів каркасу парників та інше.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналізу підлягала композитна склопластикова арматури, що випускається компанією "Торгпромконтракт" (м. Дніпро) під торговою маркою Arvit.

Композитна склопластикова арматура Arvit представляє із себе несучий стержень, у якому високоміцні пучки зі скляних волокон зв'язані між собою полімерним компаундом. У композитній арматурі Arvit безперервна спіральна ребристість, створена методом обмотування спеціальною ниткою ровінгу, що просочена особливим полімерним сполученням.



Рис. 1. Композитна склопластикова арматура Arvit

Виробник надав результати випробування зразків композитної арматури, що проводилися у листопаді - грудні 2014 року в ДП НДІБК (м. Київ) [10]. Дослідженню підлягали дослідні зразки композитної арматури діаметром 8, 10 і 12 мм. У кожній партії по три зразки довжиною від 800 до 860 мм.

Основною характеристичною міцністю композитної неметалевої арматури є характеристичне значення опору на розтяг  $f_{yk}$  [5], що відповідає тимчасовому опору розриван-

ня  $\sigma_b$ .

Основною характеристичною міцністю металеві арматури є її значення на межі фізичної або умовної текучості  $f_{yk}$  [7]. Для арматури A400C згідно таблиці 3.2 [7]  $f_{yk} = 400 \text{ Н/мм}^2$ .

Таблиця 1

Результати визначення механічних властивостей зразків композитної склопластикової арматури Arvit і нормативні показники арматури A400C

Номер партії	Діаметр зразків, мм	Фактичний діаметр зразків, мм	Площа поперечного перерізу, $\text{мм}^2$	Границя текучості фізична, $\sigma_t$ , $\text{Н/мм}^2$	Тимчасовий опір розриванню, $\sigma_b$ , $\text{Н/мм}^2$	Середнє значення тимчасового опору розриванню партії, $\sigma_b$ , $\text{Н/мм}^2$	Характеристична міцність арматури A400C аналогічного діаметру $f_{yk}$ [7], $\text{Н/мм}^2$	Рівномісний діаметр металеві арматури A400C, мм
1	8	7,5	44,16	-	827,63	820,35	400	12
		7,6	45,34	-	810,89			
		7,6	45,34	-	822,53			
2	10	8,9	62,18	-	809,52	808,51	400	14
		9,3	67,89	-	809,14			
		8,8	60,79	-	806,87			
3	12	11,6	105,63	-	764,36	794,83	400	18
		11,6	105,63	-	815,09			
		11,4	102,02	-	805,03			

Згідно таблиці 6.2 [5] розглянута склопластикова композитна арматура відноситься до класу АКС 800 з  $f_{yk} = 800 \text{ Н/мм}^2$ .

Спираючись на отриманні результати і рекомендації [7] визначенні рівномісний діаметри металеві арматури A400C згідно [8]: для склопластикової арматури  $\varnothing 8 \text{ мм} - \varnothing 12 \text{ A400C}$ ; для склопластикової арматури  $\varnothing 10 \text{ мм} - \varnothing 14 \text{ A400C}$ ; для склопластикової арматури  $\varnothing 12 \text{ мм} - \varnothing 18 \text{ A400C}$ .

При випробуванні зразків всіх партій композитної арматури фізична границя текучості  $\sigma_t$  не була визначена, що свідчить про пружну роботу зразків до руйнування.

Дослідження відносних деформацій не проводилося, тому визначення і порівняння початкового модуля пружності неможливе.

Вагові параметри дослідних зразків також невідомі.

При подальшому дослідженні композитної арматури Arvit, враховуючі заявлений виробником майже в чотири рази менший в порівнянні з металеві арматурою модуль пружності, окрему увагу заслуговує застосування подібної арматури у конструкціях, що виготовляються на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК).

Бетони на відходах ГЗК можна вважати практично пружними матеріалами при роботі до рівнів напружень 0,75-0,8 від руйнівних і їх деформативність в порівнянні зі звичайними бетонами нижче на 25-30% [1, 4].

Виконані різними науковцями дослідження показали, що бетони на відходах ГЗК відрізняються граничною деформативністю від звичайних (рис. 2) [1, 4].

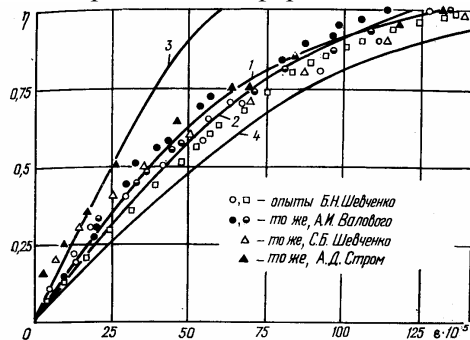


Рис. 2. Графіки деформування бетонів: 1 - крива, що отримана в результаті аналізу дослідних даних; 2-4 - теоретичні криві

Аналіз експериментальних даних показав, що модуль пружності бетонів на відходах ГЗК в середньому на 16% вищий ніж у аналогічного традиційного бетону [1, 4].

Поєднання подібних властивостей двох конструктивних матеріалів може надати нові якісні характеристики згинальним композитобетонним конструкціям.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Розглянута склопластикова композитна арматура Arvit відноситься до класу АКС 800. Відсутність фізичної границі текучості при випробуванні зразків арматури свідчить про її пружний характер роботи до руйнування.

Встановлена рівномірна заміна композитної склопластикової арматури Arvit металеву арматурою класу А400С: для склопластикової арматури Ø 8 мм - Ø 12 А400С; для склопластикової арматури Ø 10 мм - Ø 14 А400С; для склопластикової арматури Ø 12 мм - Ø 18 А400С.

В подальшому, при отриманні від виробника зразків, планується визначити деформативні властивості арматури і реальний модуль пружності. Потім, спираючись на нормативні документи [5], будуть запроєктовані дослідні зразки згинальних композитобетонних елементів і складена програма наукового дослідження.

### Список літератури

1. Шевченко Б.Н. Конструкции из бетонов на отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко. - Киев: Выща школа, 1989 - 192 с.
2. Arvit композитная арматура [Електрон. ресурс] / Режим доступу : <http://arvit.com.ua>.
3. Недостатки стеклопластиковой арматуры (минусы) [Електрон. ресурс] / Режим доступу : <http://www.tdbazalt.com>.
4. Попруга Д.В. Міцність стикових з'єднань при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / Д.В. Попруга. - Київ, 2009. - 20 с.
5. Настанова з проектування та виготовлення бетонних контрукцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу : ДСТУ-Н В.2.6-185:2012. - [Чинний від 2013-04-01]. - Київ : Мінрегіон України, 2012. - 28 с. - (Нац. стандарт України).
6. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. - [Чинний від 2011-07-01]. - Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. - 71 с.
7. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. - [Чинний від 2011-06-01]. - Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. - 118 с.
8. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови (ISO 6935-2:1991, NEQ) : ДСТУ 3760:2006. - [Чинний від 2007-10-01]. - Київ : Держспоживстандарт України, 2007. - 28 с. - (Нац. стандарт України).
9. Пластмассы. Метод испытания на растяжение (СТ СЭВ 1199-78) : ГОСТ 11262-80. - [Действует с 1985-09-09]. - Москва : Госком СССР, 1985. - 11 с. - (Гос. стандарт СССР).
10. Протокол №221-323/153/14 випробування зразків композитної арматури. - Київ: ДП НДІБК, 2015 - 7 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.17