

**ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ  
В УКРАЇНІ ТА СВІТІ**

**USE OF COMPOSITE ARMATURE  
IN UKRAINE AND IN THE WORLD**

**Чапюк О.С., к.т.н., доц., Гришкова А.В., асп., Пахольук О.А., к.т.н., доц (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Орешкін Д.О. (Генеральний директор ООО Технологічна група «ЕКПАЖ» м. Харків), Соломонюк А.О. (Кельнська Вища Школа Технічна, м. Кельн, Німеччина)**

**Chapiuk O., Ph.D., Assoc., Grishkova A., PhD stud., Pakholiuk O., Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Oreshkin D. (CEO of LLC Technology Group "EKIPAZH", Kharkiv), Solomoniuk A. (Cologne Higher Technical School, Cologne, Germany)**

*Однією з проблем сучасного будівництва є вибір виду арматури, яка задовільняла б вимоги надійності та міцності конструкції в цілому, що сприяло б збільшенню терміну служби інфраструктурних об'єктів. Було проведено огляд українського та світового досвіду використання композитного та комбінованого армування, наведені перспективи та рекомендації щодо подальшого розвитку застосування композитної арматури в дорожньому, інфраструктурному та житловому будівництві.*

*The main task of a modern design of infrastructural objects is the choice of a type of reinforcement which provides high level of a reliability and a strength in concrete matrix to prolong life time of objects. The international and Ukrainian experience in the area of using composite and combined reinforcement was observed this article. Perspectives and recommendations for further development of the composite reinforcement usage in road, infrastructure and housing construction were announced this article. Every year a great deal of new building materials appear on the construction markets. The composite reinforcement of concrete (with using of glass, basalt, or carbon fiber) is one of promising technologies. FRP-rebar has some advantages over metal counterparts. Unfortunately, the mechanical and other properties of the new material are quite different from the metal analogue, which considerably limits its wide use in construction practice. For example, composite fittings do not withstand high operating temperatures and have a lower modulus of elasticity than metal. This fact places certain restrictions on its widespread use in the reinforcement of various objects, which can be excessively deformed, which can lead to undesirable cracks. Such deficiencies often deter builders from using it. The main advantages of composite fittings are: high corrosion resistance, durability, ecology, easy transportation, light weight and others. One possible solution to the problem of the rational use of composite reinforcement in construction is the combination of composite and metal reinforcement, which allows the use advantages*

*of both types of armature. Since the 1980s, composite armature have been manufactured and used in the United States, Canada, Europe, Japan and other countries including Ukraine. The annual increase in the number and scale of infrastructure projects in Ukraine with using composite armature over a period of 10 years shows a steady trend towards the extension of the service life of new and repaired facilities with a reduction in owner's costs for maintenance of the object during the service life.*

*Ключові слова: композитна, склокомпозитна, базальтопластикова арматура*

*Keywords: FRP rebar, composite, glass-composite, basalt-plastic armature*

**Вступ.** З кожним роком на будівельному ринку України та світу з'являється все більша кількість нових будівельних матеріалів. Одним з таких матеріалів є композитна арматура (скло-, базальто-, або вуглепластикова), яка в порівнянні зі своїми металевими аналогами має певні переваги. На жаль, їй притаманні і недоліки, які значно обмежують широке використання, і завдяки цим характеристикам, композитна арматура все ж, поки, поступається металевій. Наприклад, композитна арматура не витримує значних перепадів температури і далеко не така пластична, як металева. Цей факт накладає певні обмеження на її широке застосування при армуванні фундаментів, які можуть зазнавати перевантаження, що може спричинити появу небажаних тріщин. Основними перевагами композитної арматури є: висока корозійна стійкість, довговічність, екологічність, транспортабельність, мала вага та інші. Одним з можливих варіантів вирішення проблеми раціонального використання композитної арматури в будівництві є комбінування композитної та металевої арматури, що дозволяє використати переваги від застосування кожного з цих видів арматури.

**Характеристики композитних матеріалів і порівняння з металевими аналогами.** Композитна арматура – це матеріал, який складається з основи у вигляді скляного або базальтового ровінга, що являє собою з'єднані в пучок тонкі волокна (рис.1) діаметром 14...16 мк і в'язучої термоактивної синтетичної смоли (пластика). Композитна арматура виготовляється методом пультрузії – протягуванням просочених в'язучим армуючих волокон через нагріту формоутворюючу фільтру або методом нідлпрузії – без застосування фільтри. При цьому періодичний профіль поперечного перерізу формується шляхом спірального намотування джгута, яким обмотується стержень [1].



а) скловолокно б) вуглеволокно в) базальтоволокно  
Рис.1. Види волокон для виготовлення композитної арматури

Згідно існуючих видів композитної неметалевої арматури, їх можна класифікувати наступним чином:

- склопластикова арматура (АСП);
- базальтопластикова арматура (АБП);
- вуглепластикова арматура (АВП).

З цих трьох видів композитної неметалевої арматури найбільшого використання набула склопластикова арматура, оскільки вона найдешевша, адже виготовляється зі звичайного кварцового піску. До основних переваг склопластикової арматури відносяться:

- мала вага (в 4 рази легша за метал), що спрощує транспортування даного будівельного матеріалу;
- висока корозійна та хімічна стійкість, що дозволяє застосувати цей вид арматури в агресивних середовищах;
- низька тепло- та електропровідність, що запобігає утворенню магнітного електричного поля;
- можливість використання для зведення будівель і споруд в районах з сейсмічністю до 10 балів;
- отримання будь-якої будівельної довжини;
- довговічність в складі інженерно-будівельних конструкцій від 80 років і більше.

До основних недоліків АСП можна віднести наступні:

- низький модуль пружності, а цей параметр ускладнює застосування її для армування перекриттів, так як необхідні додаткові розрахунки;
- погана стійкість до сильних температурних перепадів, тому її використання можливе лише в районах, де температура навколишнього середовища залишається відносно стабільною;
- низька теплостійкість (арматура втрачає свої несучі властивості при досягненні температури  $+150^{\circ}\text{C}$ ). При перевищенні критичної температури полімерна матриця починає руйнуватися.

У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику металевої та склокомпозитної арматури [2].

Таблиця 1

Порівняльні характеристики арматури А500С і АКС800

Матеріал	Сталь	Склокомполіт
1	2	3
Межа міцності при розтягу, $\sigma$ , МПа	500	950
Модуль пружності, Е, МПа	200...210	45...55
Відносне видовження, %	8...25	1...3
Електропровідність	Проводить	Не проводить
Теплопровідність	Висока	Низька
Корозійна стійкість	Піддається	Не піддається
Пластичність	Пластична	Не пластична
Теплостійкість, $^{\circ}\text{C}$	400	150
Довговічність, роки	50 ... 100	50 ... 100
Заміна арматури (по міцності)	14 А500С 16 А500С	10 АКС 12 АКС
Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	7850	1900-2100
Вага 1 м.п., кг	14 А500С – 1,21 16 А500С – 1,58	10 АКС – 0,126 12 АКС – 0,169
Діаметри арматури	6-80	3-25

**Зарубіжний досвід застосування композитної арматури**

Починаючи з 80-х років ХХ ст. почала виготовлятися і використовуватись композитна арматура в США, Канаді, Європі, Японії та інших розвинених країнах в таких галузях:

– будівництво портових споруд і мостів в США (мости у м. Поттер Каунті, Беттендорф та ін.);

– зведення медичних центрів, в яких передбачалось використання обладнання для MRI (магнітної резонансної томографії) (Національний інститут охорони здоров'я м. Бетесда, будівля клініки Майо в м. Рочестер та інші заклади США);

– у США композитні анкерні стержні в деформаційних швах бетонних дорожніх плит широко досліджуються і застосовуються з початку 2000-х років [3,4];

– у США і Канаді композитне армування (замість сталевого) бетонних доріг з безперервним армуванням після закінчення етапу пілотних проектів перейшло в стадію широкого застосування [5,6];

– в Канаді композитна арматура використовувалася для будівництва автодорожніх мостів і на сьогоднішній день ця країна займає лідируючі позиції щодо застосування арматури з FRP при будівництві мостового настилу;

- у світі широко застосовуються композитні сітки в якості армуючих прошарків при влаштуванні зовнішнього бетонного підсилення методом торкретування [7,8];

- в 2003 р. в англійській столиці м. Лондон був прокладений залізничний тунель під р. Темзою із застосуванням бурової тунельної машини (БТМ). Склокомпозитна арматура набагато легше збирається при проході БТМ і не тупить ножі, на відміну від металевої арматури. У 1980 роках на ринку з'явилась необхідність появи неметалевої арматури для поліпшення технологій медичної техніки, оскільки найважливішою вимогою до електричної непровідної арматури було встановлено через обладнання MRI (магнітно-резонансної томографії);

- також широко застосовується метод підсилення старих залізобетонних конструкцій за допомогою додавання пластин з вуглепластикової арматури. Широко відомими прикладами виконання цього методу є: балконні плити житлового будинку в німецькому місті Хемніц; консольні балконні плити в італійському місті Лоано-Генова; залізобетонні сходи в школі Ярборо в англійському місті Лінкольн та багато інших.

### **Український досвід застосування композитної арматури**

В даний час в Україні йде активне впровадження в повсякденну практику застосування композитної арматури і сіток, як правило, у вигляді заміщення традиційного сталевого армування. Основними напрямками застосування композитного армування на основі скляних і базальтових волокон є інфраструктурні об'єкти в дорожній і будівельній галузях:

- підсилення дискретних основ прошарками з композитних геосіток і георешіток зі збільшенням модуля пружності пакета шарів при зменшенні його товщини (велика кількість кар'єрних тимчасових доріг і майданчиків зберігання інертних матеріалів, дорожні основи) (рис. 2);



Рис. 2. Монтаж армуючого прошарку у вигляді композитних сіток в нижньому шарі пакету асфальтобетонних шарів

- армування бетонних дорожніх плит для проблемних випадків (перезволожені ґрунти, неоднорідні, слабкі основи: пл. Павловська, 2016 р. і вул. Клочківська, 2018 р., м. Харків) (рис. 3);



Рис. 3. Збір армокаркасу дорожньої цементобетонної плити основи по вул. Клочківська, м. Харків з композитних георешіток з влаштуванням термодеоформаційних швів із подальшим бетонуванням

- проспект Гагаріна та інші вулиці м. Харкова зі слабкими основами (2012-2021 рр.);
- армування дорожніх шарів нежорсткого типу (асфальтобетонів) (проспект Гагаріна та інші центральні вулиці м. Харкова, ділянки кільцевих об'їзних доріг Києва, Одеси і Харкова, 2012-2021 рр.);
- армування цементобетонних плит парковок і стоянок автобусних терміналів і великовантажного автотранспорту (Автобусний хаб-термінал ст. метро Пролетарська, м. Харків);
- пілотні проекти застосування композитних анкерів в деформаційних швах дорожніх цементобетонних плит (рис. 4);



Рис. 4. Композитні анкери для влаштування швів стиску і розширення плит цементобетонних доріг

- армування елементів інфраструктурних об'єктів (мостів, дамб);
- застосування армуючих прошарків із композитних сіток при влаштуванні шарів оболонки з торкретбетону (капітальні і поточні ремонти очисних споруд і каналізаційних мереж по обласних центрах України) (рис. 5).



Рис. 5. Композитні сітки в торкрет-оболонках

Щорічне збільшення протягом 10 років кількості і масштабів реалізованих інфраструктурних об'єктів із застосуванням композитного армування демонструє стійку тенденцію українського ринку щодо забезпечення продовжених термінів експлуатації нових і відремонтованих інфраструктурних об'єктів при одночасному зниженні витрат власника на підтримку об'єкта в робочому стані напротязі всього терміну експлуатації (захист споруди від корозії, обслуговування і ремонт).

### Висновки

1. Комбіноване армування бетонних конструкцій при будівництві будинків і споруд дозволяє вигідно використовувати переваги обох видів арматури, а саме: композитна арматура забезпечує корозійну стійкість конструкції а, металева арматура надає конструкції міцність.
2. При використанні композитної арматури в будівництві необхідно враховувати «слабкі» сторони даного матеріалу (руйнування полімерної матриці під тривалим впливом ультрафіолету, неможливість застосування в районах з великими перепадами температури).
3. Транспортбельність композитної арматури при її малій питомій вазі, а також корозійна стійкість роблять даний матеріал придатним для застосування в сфері житлового та дорожнього будівництва.

### References

1. Klimov Yu.A., Soldatchenko O.S., Oreshkin D.A. Eksperimentalnye issledovaniya szcepleniya kompozitnoj nemetallicheskoj armatury s betonom [Experimental research of adhesion glass-fiber reinforcement with concrete]. 2010. URL: [http://www.frp-rebar.com/frp-rebar\\_test\\_adhesion\\_concrete.html](http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete.html).
2. Chapiuk O., Kysliuk D., Hryshkova A. Doslidzhennia dotychnykh napruzhen zchepлення sklokompozytnykh ta metalevykh armaturnykh sterzhniv z vazhkym betonom [Research of tactical tensions of clutch of glasscomposite and metal reinforcement bars with heavy concrete]. Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. 2019. 37. P. 240-247.
3. Porter, M.L., B. Barnes, B. Hughes, and K. Viswanath. 1993. Non-Corrosive Tie Reinforcing and Dowel Bars for Highway Pavement Slabs, Final Report. HR-343

Submitted to Highway Division of the Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board. Iowa State Univer, Engineering Research Institute, Ames, IA.

4. Porter, M. L., and Guinn, Robert. 2002. "Assessment of Highway Pavement Slab Dowel Bar Research". Final Report No. HR-1080. Submitted to Iowa Highway Research Board, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.

5. J. Choi, H.L. Chen, Design Consideration of GFRP-Reinforced CRCP, in: ACI SP-215, F. Appl. FRP Reinforcement Case Stud. 2003. P. 139-158.

6. Bradberry, T. E. 2001. "Concrete Bridge Decks Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars," Transportation Research Record. 1770. S. 94-104. Decks Reinti 720. P. 154-155.

7. Wei Han, Yujing Jiang, Yuan Gao and Dairiku Koga Study on "Design of Tunnel Lining Reinforced by Combination of PCM Shotcrete and FRP Grid Technique", [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 570, China Rock 2020 23-26 October 2020, Beijing, China.](#)

8. Guo R., Pan Y., Cai L.H., Hino SC., 2018. Study on design formula of shear capacity of RC beams reinforced by CFRPgrid with PCM shotcrete method. Engineering Structures. 166. P. 427-40.

#### **Список використаних джерел**

1. Клімов Ю.А., Солдатченко О.С., Орешкін Д.О. Експериментальні дослідження зчеплення композитної неметалевої арматури з бетоном. 2010. URL: [http://www.frp-rebar.com/frp-rebar\\_test\\_adhesion\\_concrete.html](http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete.html).

2. Чапюк О.С., Кислюк Д.Я., Гришкова А.В. Дослідження дотичних напружень зчеплення склокомпозитних і металевих арматурних стержнів з важким бетоном. Ресурсозберігаючі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2019. 37. С. 240-247.

3. Porter, M.L., B. Barnes, B. Hughes, and K. Viswanath. 1993. Non-Corrosive Tie Reinforcing and Dowel Bars for Highway Pavement Slabs, Final Report. HR-343 Submitted to Highway Division of the Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board. Iowa State Univer, Engineering Research Institute, Ames, IA.

4. Porter, M. L., and Guinn, Robert. 2002. "Assessment of Highway Pavement Slab Dowel Bar Research". Final Report No. HR-1080. Submitted to Iowa Highway Research Board, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.

5. J. Choi, H.L. Chen, Design Consideration of GFRP-Reinforced CRCP, in: ACI SP-215, F. Appl. FRP Reinforcement Case Stud., 2003: pp. 139-158.

6. Bradberry, T. E. 2001. "Concrete Bridge Decks Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars," Transportation Research Record, 1770, pp. 94-104. Decks Reinti 720. pp. 154-155.

7. Wei Han, Yujing Jiang, Yuan Gao and Dairiku Koga Study on "Design of Tunnel Lining Reinforced by Combination of PCM Shotcrete and FRP Grid Technique", [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 570, China Rock 2020 23-26 October 2020, Beijing, China](#)

8. Guo R., Pan Y., Cai L.H., Hino SC., 2018. Study on design formula of shear capacity of RC beams reinforced by CFRPgrid with PCM shotcrete method. Engineering Structures. 166, pp 427-40.