

УДК 691

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-28](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-28)

## ПОРІВНЯННЯ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ НА РОЗТЯГ СКЛОКОМПОЗИТНОЇ ТА МЕТАЛЕВОЇ АРМАТУР

### COMPARISON OF THE LIMIT OF TENSILE STRENGTH OF COMPOSITE AND METAL REINFORCEMENT GLASS

**Чапук О.С., к.т.н., доц., Кислюк Д.Я., к.т.н., доц., Гришкова А.В., асп., Задорожнікова І.В., к.т.н., доц (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Савенко В.І. к.т.н., професор (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)**

**Chapiuk O., Ph.D., Assoc., Kysliuk D., Ph.D., Assoc., Grishkova A., Postgraduate Student, Zadorozhnikova I., Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Savenko V.I. Ph.D., professor, (Kyiv National University of Construction and Architecture)**

*Однією з проблем будівництва на сьогодні є вибір виду арматури, яка б задовільняла вимоги надійності й міцності конструкції в цілому, а також збільшення терміну служби інфраструктурних об'єктів. Останнім часом почали широко використовувати композитну арматуру, тож ми провели дослідження та порівняли міцність склопластикових стержнів на розтяг з металевими. У роботі також наведено рекомендації щодо умовної заміни металевої арматури на склокомполитну для подальшого збільшення застосування композитної арматури в дорожньому, інфраструктурному й житловому будівництві.*

*The building materials market is currently saturated with products of various types and purposes. A non-standard approach to solving tasks together with the use of innovative products and technologies in the manufacture of building structures allow us to avoid the often ineffective conservatism in the construction industry. The result of technological progress with the cooperation of the industrial and scientific community is composite reinforcement. Although the creation and beginning of research into this kind of non-metallic reinforcement dates back to the 60s of the last century, composite reinforcement is a new material, the large-scale production and implementation of which is only now beginning.*

*Composite reinforcement is a building material consisting of fibrous threads connected in bundles with polymer glue. Thermosetting synthetic resins act as glue, the choice of which depends on the requirements for the fittings. Thus, the use of polyester resins allows to reduce electrical conductivity to a minimum, and the use of epoxyphenolic resins to increase the level of resistance to the influence of aggressive environments.*

*Composite reinforcement is an analogue of metal, which allows to expand the scope of application of concrete structures. Therefore, a qualitative analysis of its properties, depending on the type of fiber used during production, will be relevant.*

*One of the most promising building materials is the use of glass and basalt reinforcement in construction, which is gaining momentum due to its high strength, economy, corrosion resistance, dielectric properties, lack of interference with the operation of radio devices, and flexibility compared to steel reinforcement. Other advantages include: storage in wet places without loss of quality, the expansion coefficient is the same as in concrete, low thermal conductivity, there is no effect of "cold bridges", the use of steel reinforcement with a smaller diameter without loss of strength, any construction length.*

*Ключові слова: композитна, склокомпозитна, базальтопластикова арматура*

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

**Вступ.** Ринок будматеріалів сьогодні насичений продукцією різного виду і призначення. Нестандартний підхід до вирішення наявних завдань спільно з використанням інноваційних продуктів і технологій у виготовленні будівельних конструкцій дозволяють нам уникнути часто неефективного консерватизму в будівельній галузі. Прикладом технологічного прогресу за співпраці промислового і наукового співтовариства є композитна арматура. Незважаючи на те, що створення та початок досліджень неметалевої арматури почався ще в 50-х роках минулого століття, композитна арматура - це досить новий матеріал, масштабне виробництво й впровадження якого починається тільки зараз.

Композитна арматура є будматеріалом, що складається із волокнистих ниток, що з'єднані в пучок полімерним клеєм (Рис. 1). У ролі клею виступають спеціальні термореактивні синтетичні смоли, залежно від вимог до арматури. Використання поліефірних смол зводить до мінімуму електропровідність, а епоксифенольних смол – до підвищення рівня стійкості до впливу різних агресивних середовищ.



Рисунок 1 – Композитна склопластикова арматура

Композитна арматура є аналогом металевої і це дозволяє розширити сферу застосування бетонних конструкцій. Отже, якісний аналіз її властивостей залежно від виду волокна, що прийняте під час виготовлення, буде мати актуальний характер.

Дуже перспективними будівельними матеріалами є скло- та базальтова арматура. Їх використання набирає обертів через високу міцність, економічність, стійкість до корозії, діелектричні властивості та відсутність перешкод для роботи різних радіопристроїв, кращу гнучкість порівняно зі сталевую арматурою. Інші переваги: зберігання у сирих місцях без втрати своїх властивостей, коефіцієнт розширення близький до бетону, має низьку теплопровідність, відсутність ефекту «містків холоду».

**Характеристики композитних стержнів та порівняння з металевими аналогами.** Композитною арматурою є матеріал, який складається із основи у вигляді скляного чи базальтового ровінга, який являє собою з'єднані у пучок тонкі волокна (Рис.2) діаметром 13...15 мк та в'язучої термоактивної синтетичної смоли (пластик). Композитна арматура виготовляється спеціальним методом пультрузії, тобто протягуванням просочених в'язучим армуючих волокон крізь нагріту формуютьуючу фільтру або ж методом нідлтрузії, тобто без застосування фільтери. А безпосередньо періодичний профіль поперечного перерізу створюється шляхом вдавлювання джгута, яким обмотується сам стержень [1].



а) скловолокно      б) базальтоволокно      в) вуглеволокно

Рисунок 2 – Види волокон для виготовлення композитної арматури

Види композитної неметалевої арматури можна класифікувати так:

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

Із цих трьох видів арматури найбільше використовується склопластикова арматура, оскільки вона є найдешевшою, адже виготовляється зі звичайного піску кварцового. Є чимало досліджень з визначення її міцнісних характеристик і зчеплення з бетоном [1-5]. Основними перевагами склопластикової арматури є:

- мала вага (у 4 рази легша металу), а це спрощує транспортування цього будівельного матеріалу;
- висока хімічна і корозійна стійкість, що дозволяє застосовувати цей вид арматури в різних агресивних середовищах;

- низька тепло- та електропровідність, що запобігає утворенню магнітного електричного поля;

- можливість випуску будь-якої будівельної довжини, а до діаметру 10 мм, як правило, вона скручується у бухти по 100 м, тобто, можна замовити довжину бухт під фактичні розміри об'єкта, а це дозволяє повністю уникнути напусків при вкладанні арматурних каркасів на об'єкті й заощадити до 4% арматури.

Основними недоліками АСП є:

- дуже низький модуль пружності, а це ускладнює застосування її для армування перекриттів, тож необхідні додаткові розрахунки;

- АСП не витримує значних температурних перепадів, а тому її використання обмежується лише тими районами, де температура навколишнього середовища є відносно стабільною;

- дуже низька теплостійкість, адже арматура втрачає свої несучі властивості вже при досягненні температури біля 110°C. А при перевищенні цієї температури полімерна матриця починає руйнуватися.

### **Визначення фізико-механічних властивостей склокомпозитної арматури та порівняння з металевою**

В лабораторії ЛНТУ було виконано дослідження фізико-механічних властивостей склопластикової композитної арматури, а саме межі міцності при розтягу, і порівняння її з металевою класу А400С.

Для визначення фізико-механічних властивостей склопластикової арматури було відібрано стержні вітчизняного виробництва. Для дослідження було використано по три стержні діаметром 8мм та 10мм класу АКС довжиною 1000мм.

Аби уникнути прослизання і зминання арматури у захваті розривної машини було влаштовано анкерні муфти зі сталевий труби діаметром 28мм. Для анкерівки стержнів у муфті була використана епоксидна смола із додаванням піску (Рис 3).

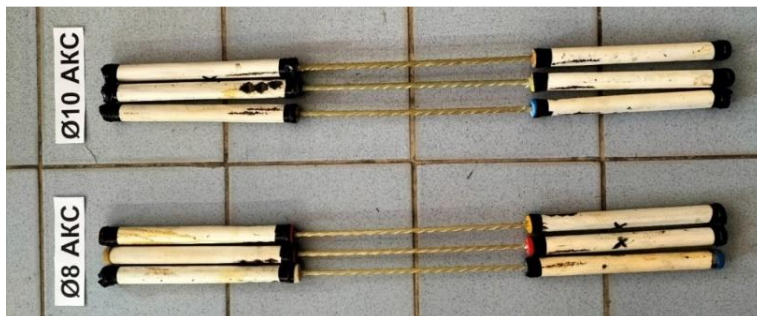


Рисунок 3 – Дослідні зразки АКС

Визначення максимальних розтягувальних навантажень проводилось з допомогою розривної машини УММ-50, а результати подано в таблиці 1.

Середнє граничне значення міцності на розтяг для стержнів Ø8АКС800 становить  $\sigma_{\text{серед}} = 104,16 \text{ кгс/мм}^2$  (1020,83 МПа), Ø10АКС800 -  $\sigma_{\text{серед}} = 101,1 \text{ кгс/мм}^2$  (990,5) МПа.

Таблиця 1 – Результати досліджень склопластикової арматури

№ з / п	Найменування матеріала	Номери зразків	Діаметр зразка, мм	Площа поперечного перерізу А, мм <sup>2</sup>	Руйнівне розтягувальне навантаження, Р, кгс (кН)	Границя міцності на розтяг $\sigma_p$ кгс/мм <sup>2</sup> (МПа)
1	Ø8АКС	1	8	50,25	5000 (49,2)	99,51 (975,2)
		2			5200 (50,95)	103,50 (1014,2)
		3			5500 (53,8)	109,47 (1072,84)
		$\sigma_{\text{серед}}$				
2	Ø10АКС	1	10	78,50	8200 (80,35)	104,46 (1023,6)
		2			7900 (77,42)	100,64 (986,23)
		3			7700 (75,46)	98,1 (961,26)
		$\sigma_{\text{серед}}$				
3	Ø12А400С	1	12	113,04	7900 (77,42)	69,9 (684,8)
4	Ø14А400С	1	14	153,86	10260 (100,55)	66,7 (653,4)

Руйнування всіх арматурних стержнів було крихке з розривом упоперек волокон та поздовжнім розшаруванням в робочій зоні (рис. 4), що взагалі не властиво характеру руйнування металеві арматури.



Рисунок 4 – Зруйновані АСП

Залежність напруження-деформації має явно пропорційний (лінійний) вигляд. Отже, за результатами досліджень даній склопластиковій арматурі можемо попередньо присвоїти клас АКС1000 згідно з ДСТУ 9065:2021.

Згідно порівняльних таблиць по рівнозначній заміні (Рис. 5) відповідності діаметрів композитної та металеві арматури, наданих виробниками, ми прийняли відповідну металеву арматуру Ø8АКС1000 - Ø12А400С; Ø10АКС1000 - Ø14А400С.



Рисунок 5 – Умовна заміна металеві арматури на склокомпозитну по фізико-механічних властивостях виробників

Для випробування металеві арматури класу А400С було відібрано по одному зразку діаметром 12мм та 14мм довжиною 500мм. Визначення міцності на розтяг проводилось згідно з ГОСТ 12004. Границя міцності на розтяг для стержнів Ø12А400С становить  $\sigma_{роз} = 69,8 \text{ кгс/мм}^2$  (684,7 МПа), а для Ø14А400С  $\sigma_{роз} = 66,6 \text{ кгс/мм}^2$  (653,3 МПа).



Рисунок 6 – Зруйновані стержні металеві арматури

Отже, межа міцності при розтягуванні склопластикової композитної арматури, приблизно, в 1,5 рази переважає максимальні напруження в металевій арматурі. Руйнівні навантаження, які сприймає склопластикова арматура не відповідають значенням в порівняльних таблицях, які надають виробники арматури. Згідно дослідження, відповідна металева арматура витримує на 50% більше навантаження відносно арматури Ø8АКС1000 і на 30% відносно Ø10АКС1000, що не відповідає таблицям виробників.

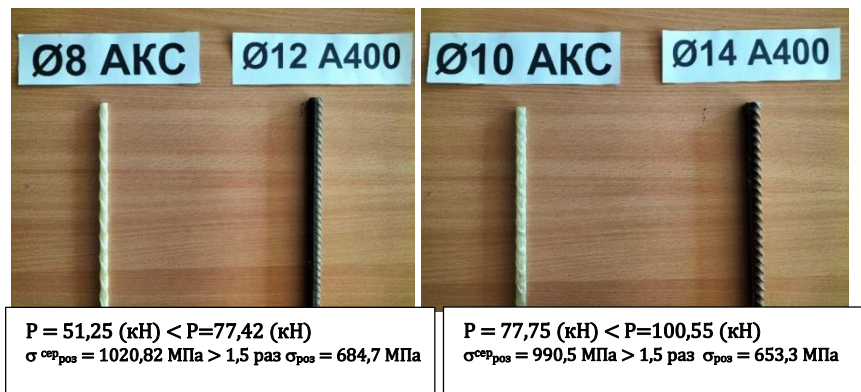


Рисунок 7 – Порівняння стержнів

Розрахункові значення опору неметалевої композитної арматури на розтяг за ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 визначається з врахуванням коефіцієнта надійності для композитної арматури  $\gamma_{sf}$ , який дорівнює 1,5. Тоді для арматури АКС1000 розрахункове значення опору неметалевої композитної арматури становить  $f_{f,d} = 666,67 \text{ МПа}$ .

$$f_{f,d} = \frac{f_{f,k}}{\gamma_{sf}}$$

де  $f_{f,k}$  – характеристичне значення опору на розтяг;

$\gamma_{sf}$  – коефіцієнт надійності для неметалевої композитної арматури, який дорівнює 1,5.

Для сталеві арматури А400С прийнята межа текучості  $f_{m,d} = 400 \text{ МПа}$ . З врахуванням поперечного січення склопластикової та металеві арматури максимальна несуча здатність відповідних стержнів Ø8АКС1000 буде становити  $P = 33,5 \text{ кН}$ , що менше ніж арматура Ø12А400С  $P = 45,2 \text{ кН}$ ; аналогічно для Ø10АКС1000  $P = 52,3 \text{ кН}$  – Ø14А400С  $P = 61,5 \text{ кН}$ . При

використанні арматури А500С різниця більш суттєвіша. Отже, таблиці умовної заміни металеві арматури на склокомпозитну по фізико-механічних властивостях виробників не відповідають дійсності.

### Висновки

1. Головна перевага склопластикової композитної арматури над металевією – висока корозійна стійкість.
2. Міцність при розтягу склопластикової композитної арматури у 1,5 рази більша, ніж металевією.
3. Дані виробників щодо рівнозначної заміни сталеві арматури на композитну явно завищені. Несуча здатність відповідної металеві арматури на розтяг більша на 50% відносно арматури Ø8АКС та на 30% – відносно Ø10АКС
4. Таблиці умовної заміни діаметрів металеві арматури на склокомпозитну, які надані виробниками, не відповідають граничним та розрахунковим значенням міцності. Для орієнтовної заміни розтягнутої металеві арматури на склокомпозитну необхідно зменшити відповідність діаметрів арматури в перевідних таблицях.

### References

1. Klimov Yu.A., Soldatchenko O.S., Orieshkin D.O. Eksperymentalni doslidzhennia zcheplennia kompozytnoi nemetalevoi armatury z betonom. 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. O.S. Chapiuk, A.V. Hryshkova, O.A. Pakholiuk, D.O. Orieshkin, A.O. Solomoniuk, Vykorystannia kompozytnoi armatury v Ukraini ta sviti. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. 2021. 15. S. 100-107.  
DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5\(15\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-14)
3. Chapiuk O.S., Hryshkova A.V Kysliuk D.Ia. “Doslidzhennia dotychnykh napruzhen zcheplennia sklokompozytnykh ta metalevykh armaturnykh sterzhniv z vazhkyim betonom” // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Zbirnyk NUVHP. Vyp. 37. – Rivne, 2019. – S. 240-247.  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2019\\_37\\_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2019_37_31)
4. Chapiuk O.S., Hryshkova A.V Kysliuk D.Ia., Pakholiuk O.A., Zadorozhnikova I.V “Spilna robota kompozytnoi armatury z lehkym ta vazhkyim betonom” // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Zbirnyk NUVHP. Vyp. 40. – Rivne, 2021. – S. 217-223.  
<https://doi.org/10.31713/budres.v0i40.25>
5. Chapiuk, O., Oreshkin, D., Hryshkova, A., Pakholiuk, O., Avramenko, Y. (2023). Adhesion of the Metal and Composite Fiberglass Rebar with the Heavyweight



Concrete. Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 299. Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_5), pp 47–60

### **Література**

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. О.С. Чапюк, А.В. Гришкова, О.А. Пахолук, Д.О. Орешкін, А.О. Соломонюк, Використання композитної арматури в Україні та світі. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2021. 15. С. 100-107.  
DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5\(15\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-14)
3. Чапюк О.С., Гришкова А.В Кислюк Д.Я. “Дослідження дотичних напружень зчеплення склокомпозитних та металевих арматурних стержнів з важким бетоном” // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник НУВГП. Вип. 37. – Рівне, 2019. – С. 240-247.  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2019\\_37\\_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2019_37_31)
4. Чапюк О.С., Гришкова А.В Кислюк Д.Я., Пахолук О.А., Задорожнікова І.В “Спільна робота композитної арматури з легким та важким бетоном” // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник НУВГП. Вип. 40. – Рівне, 2021. – С. 217-223.  
<https://doi.org/10.31713/budres.v0i40.25>
5. Chapiuk, O., Oreshkin, D., Hryshkova, A., Pakholiuk, O., Avramenko, Y. (2023). Adhesion of the Metal and Composite Fiberglass Rebar with the Heavyweight Concrete. Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 299. Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_5), pp 47–60