

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
СКЛОПЛАСТИКОВОЇ АРМАТУРИ ТА ЇЇ АНКЕРУВАННЯ В  
БЕТОННИХ ВИРОБАХ**

**INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF  
FIBERGLASS REINFORCEMENT AND IT'S FIXING IN CONCRETE  
WARES**

**Романенко С.М., ст. викладач, ORCID ID: 0000-0002-0443-3896,  
Андрієвська Я.П. асистент, ORCID ID: 0000-0003-3052-2515, (ДВНЗ  
«Херсонський державний аграрний університет», м. Херсон)**

**Romanenko S.M. senior lecturer, Andrievska Y.P. assistant, («Kherson State  
Agrarian University», city Kherson)**

**Стаття присвячена визначенню фізико-механічних характеристик  
склопластикової арматури та її порівняння із металевою арматурою,  
визначення довжини її анкерування в бетоні згідно нормативних  
документів.**

**An important direction in improving the construction industry of modern  
reinforced concrete structures is the expansion of the use of prestressed  
elements using effective types of fiberglass reinforcement. High strength  
fiberglass reinforcement with a small specific gravity, corrosion resistance,  
unique chemical resistance are main advantages over by steel. The  
performance of prestressed reinforced concrete structures is largely  
determined by the adhesion of reinforcement to concrete, the work of the end  
sections of structures that are bent. One of the real ways to solve the problem  
is the use of high-strength unidirectional fiberglass as a reinforcing material  
for concrete, polymer concrete and wooden structures.**

**In existing world practice, the main method for assessing the adhesion of  
reinforcement to concrete is the RILEM / CEB / FIP beam method, which  
involves bending special samples of a concrete beam. The beam consists of two  
halves connected to each other in the stretched zone by the tested reinforcing  
bars, and in the compressed zone by a hinge in the form of two embedded  
parts and a steel cylinder between them. The appearance of new transverse  
cracks developing along the reinforcement complicates the stress state of the  
structures and disrupts the joint work of the reinforcement and concrete  
without ensuring adhesion of these multimodular materials.**

**This work is devoted to the determination of the physico-mechanical  
characteristics of fiberglass reinforcement, which were determined by tensile  
testing in a testing machine according to the standard method. To fix**

reinforcement samples in a tensile testing machine, were developed "anchor-glasses". Also considered is the calculation of the length of anchor reinforcement in concrete, based on existing regulatory documents in construction, and the identification of factors affecting the adhesion of reinforcement to concrete for possible further use to reinforce reinforced concrete structures.

**Ключові слова:** склопластикова арматура, бетон, анкерне армування в бетоні  
fiberglass reinforcement, concrete, anchor reinforcement in concrete

**Вступ.** Довговічність конструкцій, що експлуатуються в умовах агресивних середовищ залежить від ефективності використовуваних будівельних матеріалів. Важливим напрямом вдосконалення будівельної галузі сучасних залізобетонних конструкцій є розширення застосування попередньо напружених елементів з використанням ефективних видів неметалевої арматури. Висока міцність склопластикової арматури при невеликій питомій вазі, несхильність до корозії, унікальна хімічна стійкість є основними її перевагами над сталеву. Працездатність попередньо напружених залізобетонних конструкцій в значній мірі визначається зчепленням арматури з бетоном, роботою кінцевих ділянок конструкцій, що згинаються. Одним з реальних шляхів вирішення проблеми є застосування високоміцного односпрямованого склопластику як армуючого матеріалу для бетонних, полімербетонних та дерев'яних конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень.** В існуючій світовій практиці основним методом оцінювання зчеплення арматури з бетоном є балковий метод RILEM/CEB/FIP [1], який передбачає випробування спеціальних зразків бетонної балки на вигин. Балка складається з двох половинок, з'єднаних між собою в розтягнутій зоні випробуваними арматурними стержнями, а в стислій зоні шарніром у вигляді двох закладних деталей і сталевим циліндром між ними. Поява нових поперечних тріщин, що розвиваються уздовж арматури, ускладнює напружений стан конструкцій та порушує спільну роботу арматури і бетону не забезпечуючи зчеплення цих різномодульних матеріалів. Звідси одна з найважливіших завдань теорії залізобетону - з'ясування закономірностей контакту бетону та арматури при передачі розтягуючих зусиль через арматуру в умовах тріщиноутворення [2].

Досягнуті успіхи у створенні склопластикової арматури і конструкцій, армованих нею, є результатом досліджень, виконаних у різний час вітчизняними вченими, в першу чергу докторами техн. наук, професорами А.Л. Гвоздевим, К.В. Михайловим, Н.А. Мощанским, О. Я. Бергом, І.М. Ахвердовим, Ю.М. Івановим, докторами хім. наук Г.Л. Андреевской, М.С., кандидатами техн. наук Ю.М. Вільдавским, С.С. Жавридом, Ю.В. Кондратьєвою, К.В. Зеленським, Б.В. Накашидзе, І.В. Підмостко, Ю.В. Дегтярем, канд. хім. наук І.С. Скориніною та ін. Істотний внесок в

організацію досліджень і дослідно-промислових робіт внесено докторами техн. наук, професорами В.Р. Сердюком, Є.М. Бабичем, А.М. Бамбурою, Б.Г. Демчиною, С.С. Атаєвим і кандидатами техн. наук Н.М. Муліним, І.І. Циганковим.

**Постановка мети і задач досліджень.** Дана робота присвячена визначенню фізико-механічних характеристик склопластикової арматури, а також довжини її анкерування в бетоні, спираючись на існуючі нормативні документи в будівництві, та виявлення факторів, які впливають на зчеплення арматури з бетоном для можливості подальшого підсилення залізобетонних конструкцій.

**Задачі дослідження:**

- Виготовити серії зразків з металевими стаканами-анкерами на кінцях для випробування на розтяг і визначення модуля пружності та відносного подовження.
- Виготовити серії зразків, де арматурний стрижень заанкерован на різну довжину в бетон, для визначення напружень зчеплення, просковзування та деформацій.
- Оцінка точності результатів випробування, побудова графіків, порівняння теоретичних та експериментально отриманих даних.

**Методика досліджень.** Перед початком дослідження відбираємо матеріали. Склопластикова арматура – це склоровінг зв'язаний полімером на основі епоксидної смоли. Для дослідження властивостей склопластикової арматури було відібрано арматуру трьох різних діаметрів, а саме Ø6мм, Ø8мм та Ø10АКС600, яка регламентується ТУ У В.2.7-25.234323267-001:2009 [3], механічні характеристики яких визначали шляхом випробування на розтяг в розривній машині за стандартною методикою. Для визначення модуля пружності склопластикової арматури використовували зразок довжиною 540мм, закріпленого кінцями анкерами в анкерних-стаканах. При розтязі в поперечному перерізі виникають напруження, значення яких пропорційне відносним деформаціям. Поздовжню деформацію зразка вимірюємо пристосуванням з двома індикаторами годинникового типу. Принципова схема показана на рис. 1.

Для дослідження зчеплення склопластикової арматури з бетоном були виконані бетонні циліндри (класом С25/30), в які заанкерувалась арматура на довжину 85мм, 185мм та 285мм відповідно до розрахунку ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 [4]. Анкерування стрижнів склопластикової арматури в бетоні здійснювали згідно з 6.2 ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [5] з врахуванням положень 8.2 ДБН В.2.6-98:2009 [6]. В процесі дослідження було встановлено, що поперечні деформації бетону, тобто тиск арматури на бетон, виникає при порівняно малих навантаженнях, по суті, з початку завантаження стрижня. У досліді порушення міцності зчеплення наступало внаслідок розколювання бетону, оточуючого арматурний стрижень при його витягуванні з бетонного масиву. Принципова схема показана на рис. 2.



Рис. 1. Принципова схема закріплення вимірювального пристосування на зразку склопластикової арматури



Рис. 2 Принципова схема випробування зчеплення склопластикової арматури з бетоном

Нижче наведено розрахунок мінімальної довжини анкерування склопластикової арматури в бетоні.

Розрахункове значення граничних напружень зчеплення,  $f_{bd}$ , для стрижнів склопластикової арматури визначалися за формулою:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad (1)$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ МПа}$$

Де  $f_{ctd}$  - розрахункове значення міцності бетону на розтяг, відповідно до таблиці 3.1 ДБН В.2.6-98:2009 [6];

Базова довжина анкерування прямого стрижня неметалевої композитної арматури,  $l_{b,rqd}$ , для анкерування зусилля  $A_{sfd}$  при передумові постійного напруження зчеплення рівного  $f_{bd}$ , визначається за формулою:

$$l_{b,rqd} = (d / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd}) \quad (2)$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{8}{4}\right) \cdot \left(\frac{300}{2,7}\right) = 666 \text{ мм}$$

Де  $\sigma_{sd}$  - розрахункові напруження у стрижні в місці від якого визначається довжина анкерування;

$f_{bd}$  - граничні напруження зчеплення згідно з (1).

Розрахункову довжину анкерування  $l_{bd}$  прямих стрижнів склопластикової арматури слід визначати за формулою:

$$l_{bd} = a_{f1} \cdot a_{f2} \cdot a_{f3} \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} \quad (3)$$

$$l_{bd} = 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 666 = 228 \text{мм}$$

$$l_{b,min} = 0,28 \cdot 666 = 185 \text{мм}$$

**Результати досліджень.** Обробка результатів випробування на розрив зразків склопластикової арматури полягала у знаходженні експериментального модуля пружності та порівнянні його з теоретичним модулем пружності.

Значення модуля пружності  $E_f$ , МПа, розраховували як відношення збільшення навантажень при розтягуванні в інтервалі від  $0,2$  до  $0,5P$  і відносним подовженням за формулою

$$E_f = \frac{E_1 - E_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot A} \quad (4)$$

$$E_f = \frac{19600 - 8384,2}{(0,008 - 0,003) \cdot 0,407} = 5511449,6 \text{Н / см}^2 = 55114,49 \text{МПа}$$

де  $P_1$ -навантаження, складова  $(50 \pm 2)\%$  руйнівного навантаження, Н;

$P_2$ -навантаження, складова  $(20 \pm 2)\%$  руйнівного навантаження, Н;

$\varepsilon_1$  - відносне подовження, відповідна навантаженні  $P_1$ .

$\varepsilon_2$  - відносне подовження, відповідна навантаженні  $P_2$ .

Відповідно ТУ У В.2.7-25.234323267-001:2009 [3]  $E_{f,теор} = 55\,000$  МПа, отже процент відхилення результатів теоретичних та експериментальних даних складає:

$$\% = \frac{55114,49 - 55000}{55114,49} \cdot 100 = 0,2 < 5\% \quad (5)$$

Відносне подовження при руйнівному навантаженню  $\varepsilon_b$ , мм/мм, розраховують за формулою:

$$\varepsilon_b = \frac{P}{E_f \cdot A} \quad (6)$$

$$\varepsilon_b = \frac{41921}{5500000 \cdot 0,407} = 0,0187; \quad \varepsilon_b = \frac{41921}{5511449,6 \cdot 0,407} = 0,0186$$

Враховуючи отримані данні можна зробити висновок, що експеримент проведений вдало, так як відхилення теоретичних та експериментально отриманих даних не перевищує  $5\%$ , а саме складає  $0,2\%$ .

Відповідно рис.3, де наведені теоретично та експериментально отримані залежності « $\sigma$ - $\varepsilon$ » для зразка склопластикової арматури  $\varnothing 8$ мм, можемо зробити висновок, що експериментальна пряма проходить вище за теоретичну, тобто стрижень витримав більше навантаження, ніж закладене у теоретичних паспортних даних.

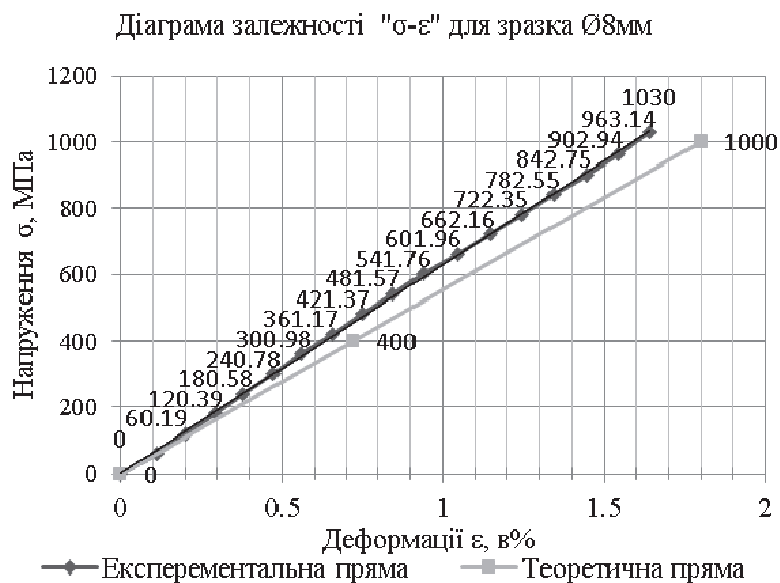


Рис. 3 Теоретична та експериментальна залежності «σ-ε» для зразка Ø8мм

Статистична обробка теоретичних даних та результатів дослідження напружень зразка показала, що їх розбіжність складає 2,06%. Статистична обробка теоретичних даних та результатів дослідження деформацій зразка показала, що їх розбіжність складає 4,61%.

Проведено порівняльний аналіз побудованих діаграм «напруження зчеплення-зсув», (див. рис.4) отриманих експериментальним шляхом для зразків склопластикової арматури Ø8мм з довжинами анкерування в бетоні 85мм, 185мм та 285мм із зразком металевої арматури Ø12мм.

Діаграми залежності "напруження зчеплення- зсув" для зразків склопластикової та металевої арматури.

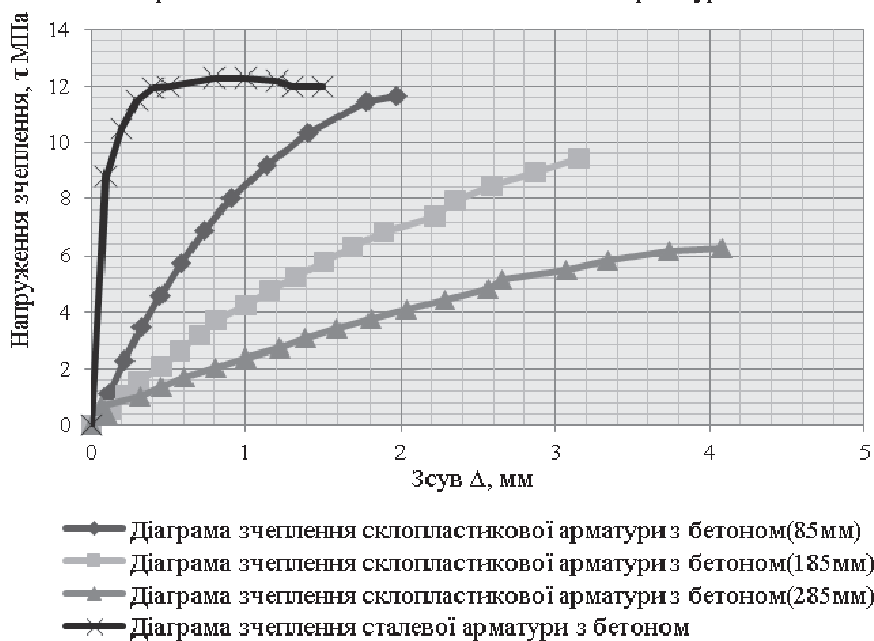


Рис. 4 Порівняння діаграм залежності "напруження зчеплення- зсув" для зразків склопластикової та металевої арматури.

Виконаємо порівняння діаграм напруження-деформації для склопластикової арматури Ø8 мм та металевої арматури А400 діаметрами 8 мм та 12мм, які наведені на рис.5.

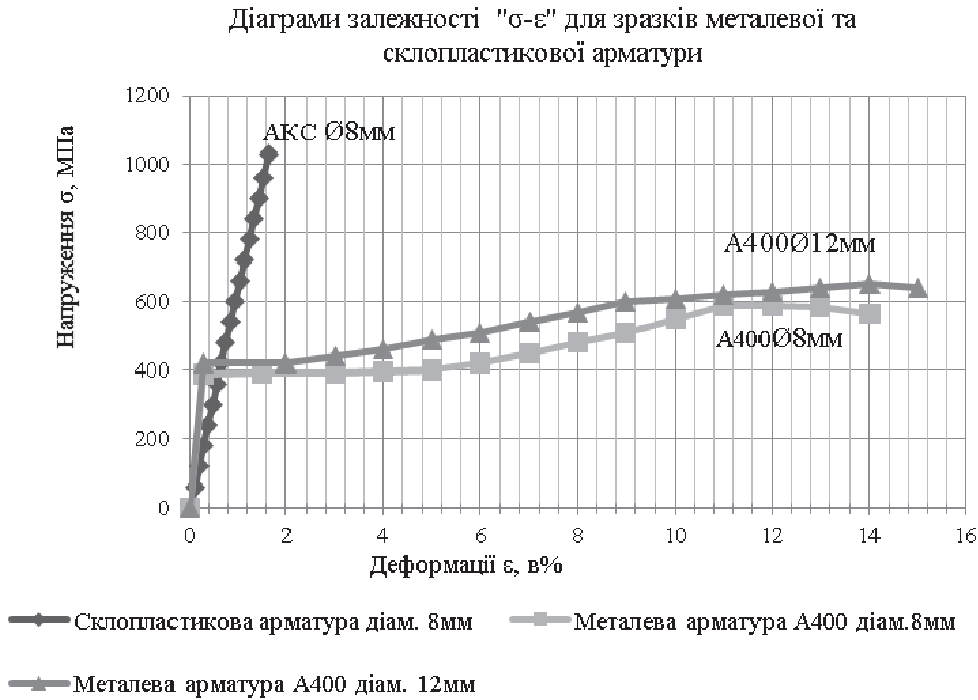


Рис. 5 Діаграми залежності "σ-ε" для зразків металевої та склопластикової арматури

Порівняння виконуємо з металевою арматурою більшого діаметру, тому що склопластикові арматура Ø8 мм по міцності відповідає металевій Ø12мм. Зовнішній вигляд кривих залежностей напруження зчеплення-деформації зсуву для склопластикової арматури періодичного профілю відповідає аналогічній кривій для сталевих арматур традиційного періодичного (серповидного) профілю. Отримані контрольовані експериментальні значення напружень-зчеплень склопластикової арматури задовольняють вимогам EN 1992-1-1:2010 Єврокод 2 [7] до профілю арматури, яка може застосовуватися для армування бетонних конструкцій.

Відповідно розрахунку проведеному за ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 [4], достатня мінімальна величина анкерування в бетоні складала відповідно розрахунку 185мм, що було підтверджено експериментальним дослідженням, при якому стрижень не просковзнув у бетоні, а розрушився при прикладеному навантаженні 4470 кг між бетонним циліндром та стаканом-анкером. Також був проведений експеримент з довжиною анкерування в бетоні 85мм, яка відповідно розрахунку є недостатньою, що і підтвердив проведений експеримент. Довжина анкерування 285мм була узятя із запасом, стрижень розрушився при прикладеному навантаженні 4580 кг між бетонним циліндром та стаканом-анкером.

**Висновки.** Склопластикові арматура Ø8 є рівноцінною заміною металевої арматури Ø12мм. Склопластикові арматура відрізняється пружною зоною роботи аж до розриву. Тимчасовий опір склопластикової арматури

перевищує розрахунковий опір сталевій арматурі класу А400 в 1,6 рази. Відносно подовження при розриві в 9 разів менше, ніж у сталевій арматурі. Питома вага в 4 рази менше, ніж у сталевій арматурі. При рівномірній заміні арматурного каркаса його вага зменшується більш ніж в 9 разів. Коефіцієнт теплового розширення склопластикової арматури  $\alpha=(0,5-0,9) \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  приблизно відповідає коефіцієнту теплового розширення бетону  $\alpha=(0,7-1,0) \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ , що виключає утворення тріщин при зміні температур. Теплопровідність в 100 разів менше, ніж у сталі.

1. RILEM/CEB/FIP Recommendations RC 5: Bond test for reinforcing steel, Beam Test.

2. Бабич Є.М. Чапюк О.С. Вавринюк Б.А. Напружено-деформаційний стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник. –Київ: КНУБА, 2011. – Випуск 40. – С. 74-82.

Babich Ye.M. Chapyuk O.S. Vavrinyuk B.A. Napruzheno-deformacijnij stan kontaktu z betonom armaturi serpovidnogo profilyu / Mistobuduvannya ta teritorialne planuvannya: Naukovo-tehnicnij zbirnik. –Kiyiv: KNUBA, 2011. – Vipusk 40. – S. 74-82.

3. ТУ У В.2.7-25.234323267-001:2009 Арматура неметалева композитна періодичного профілю. Технічні умови.

TU U V.2.7-25.234323267-001:2009 Armatura nemetaleva kompozitna periodichnogo profilyu. Tehnicni umovi.

4. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. [ Чинний від 2013-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. 19-21с

DSTU-N B V.2.6-185:2012 Nastanova z proektuvannya ta vigotovlennya betonnih konstrukcij z nemetalevoju kompozitnoju armaturoju na osnovi bazalto- i sklorovingu. [ Chinnij vid 2013-04-01]. Vid. ofic. Kiyiv : Minregion Ukrayini, 2012. 19-21s

5. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Чинний від 2010-28-12]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2010. 70-75с

DSTU B V.2.6-156:2010 Konstrukciyi budinkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstrukciyi z vazhkogo betonu. Pravila proektuvannya [Chinnij vid 2010-28-12]. Vid. ofic. Kiyiv : Minregion Ukrayini, 2010. 70-75s

6. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Чинний від 01.06.2011]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2009. 51-52с.

DBN V.2.6-98:2009 Konstrukciyi budinkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstrukciyi. Osnovni polozhennya [Chinnij vid 01.06.2011]. Vid. ofic. Kiyiv : Minregion Ukrayini, 2009. 51-52s.

7. 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)

DSTU-N B EN 1992-1-1:2010 Yevrokod 2. Proektuvannya zalizobetonnih konstrukcij. Chastina 1-1. Zagalni pravila i pravila dlya sporud (EN 1992-1-1:2004, IDT)