

### Розділ 3

## МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 69.07

### ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ У ТОРКРЕТ-БЕТОНІ

**А. Мазурак, к. т. н.**

*ORCID ID: 0000-0001-7367-774X*

**Й. Лучко, д. т. н.**

*ORCID ID: 0000-0002-3675-0503*

*Львівський національний університет природокористування*

<https://doi.org/10.31734/architecture2022.23.060>

#### **Мазурак А., Лучко Й. Зчеплення арматури у торкрет-бетоні**

Технологія торкретування має суттєві переваги, зокрема можливість нанесення торкрету на будь-які поверхні, розташовані в будь-якій площині. Завдяки високим адгезійним властивостям торкрет-бетон може бути нанесений на різні за характеристиками поверхні, а також бути армованим. Сили зчеплення торкрет-бетону з різними поверхнями, особливо з арматурою, забезпечуватимуть сумісну роботу конструкції, її несучу здатність і деформативність. В Україні, як і за кордоном, проблему зчеплення арматурних стрижнів із бетоном і фібробетоном вивчало багато дослідників, напрацьована відповідна методична та розрахунково-нормативна база. На нашу думку, процеси анкерування стрижнів у торкрет-бетоні, а також вплив різних чинників на параметри зчеплення арматури недостатньо вивчені й потребують більш детального розгляду.

Програмою проведених досліджень передбачено оцінити зчеплення серпоподібної арматури (діаметром 8 і 10 мм), розвиток зсувів і напруження у стрижнях у торкрет-бетоні (C20/25) залежно від її розміщення при нанесенні шарів торкрету. На основі проведених експериментальних даних заплановано порівняти результати анкерування зразків у бетоні і торкрет-бетоні.

Дослідні зразки з бетону виготовлено вібруванням у горизонтальному положенні, а торкрет-бетонні зразки – нанесенням підібраного складу торкрету на армовану поверхню. Арматура на поверхні підготовленої опалубки влаштувалась паралельно і перпендикулярно. Після дозрівання масиву торкрету його розрізали на зразки. Дослідження передбачали витягування стрижнів арматури класу А500С, зароблених по центру основи призматичних зразків розмірами 100 × 100 × 150 (100) мм.

Проведені експериментальні дослідження доповнили новими даними зчеплення арматури в торкрет-бетоні, а також показали вплив технології виконання на розвиток зсувів і напруження у стрижнях арматури. Аналіз виконаних експериментальних даних засвідчує, що зчеплення арматури в торкрет-бетоні і нормальні напруження в арматурі були до 8 % меншими, ніж у бетонних зразках.

**Ключові слова:** торкретування, торкрет-бетон, анкерування, витягування стрижнів, зчеплення, напруження в арматурі.

#### **Mazurak A., Luchko Y. Coupling of reinforcement in shotcrete**

Shotcrete technology has significant advantages, in particular, the possibility of applying shotcrete to any surfaces located in any plane. Due to its high adhesive properties, shotcrete can be applied to surfaces with different characteristics, as well as be reinforced. Adhesion forces of shotcrete with various surfaces, and especially with reinforcement, will ensure the compatible operation of the structure, its bearing capacity and deformability. In Ukraine, as well as abroad, many researchers have studied the problem of bonding reinforcing bars with concrete and fiber concrete, and there is a developed corresponding methodical and calculation-normative base. In our opinion, the processes of anchoring rods in shotcrete, as well as the influence of various factors on the parameters of the rebar coupling, are insufficiently studied and require more detailed consideration.

The research program provides for evaluating the adhesion of sickle-shaped reinforcement (diameter 8 and 10 mm), the development of shear and stress in rods in shotcrete (C20/25) depending on its placement during the application of layers of shotcrete. Based on the conducted experimental data, it is planned to compare the results of anchoring samples in concrete and shotcrete.

Test samples of concrete were made by vibration in a horizontal position, and shotcrete samples were made by applying the selected composition of shotcrete to the reinforced surface. The reinforcement on the surface of the prepared

formwork was arranged parallel and perpendicular. After the mass of shotcrete matured, it was cut into samples. The research involved the extraction of reinforcement rods of class A500C, earned in the center of the base of prismatic samples with dimensions of  $100 \times 100 \times 150$  (100) mm.

The conducted experimental studies were supplemented with new data on the adhesion of reinforcement in shotcrete, and the influence of the execution technology on the development of shifts and stresses in the reinforcement rods. The analysis of the performed experimental data shows that the adhesion of reinforcement in shotcrete and normal stresses in the reinforcement were up to 8 % lower than in concrete samples.

**Key words:** shotcrete, shotcrete-concrete, anchoring, pulling rods, coupling, tension in reinforcement.

**Постановка проблеми.** Процес торкретування широко застосовують у різних сферах будівництва. Проте й сьогодні до кінця не вивчені особливості виготовлення нових торкрет-залізобетонних конструкцій, ремонту чи реконструкції горизонтальних, вертикальних поверхонь і отримання однорідного за складом шару торкрет-бетону із забезпеченням міцності зчеплення арматури, нового і старого бетонів. Сили зчеплення в бетоні та торкрет-бетоні зумовлені різними факторами: природою тіл, що контактують; числом точок контакту на одиницю площі поверхні; відстанню між точками контакту; площею контакту; характером середовища між контактуючими поверхнями; зовнішнім впливом [1; 4; 8].

Особливо важливе зчеплення між арматурою і торкрет-бетоном, а також правильна оцінка сумісної роботи цих складових конструкції, з урахуванням змін характеристик арматури та торкрет-бетону.

Технології торкретування мають великий потенціал у виконанні завдань підсилення чи виготовлення залізобетонних конструкцій. Збільшення обсягів використання торкрет-бетону в практиці будівництва, підвищення якості таких робіт потребує розширення наукових досліджень у цьому напрямі та створення нормативно-

методичної бази [5; 8; 10].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Чимало дослідників як в Україні, так і за кордоном вивчали проблему зчеплення арматурних стрижнів із бетоном. Серед них: Є. М. Бабич, В. В. Білозір, О. С. Залесов, М. І. Карпенко, В. Г. Кваша, Ю. А. Климов, В. І. Мурашов, А. J. Bigai, D. Darwin, R. Eligehausen, P. G. Gambarov, Y. Goto, L. A. Lutz, U. Mayer, H. H. Muller, P. Noakowski та ін. Проте коло досліджень про зчеплення арматури в торкрет-бетоні суттєво менше. Граничні напруження зчеплення арматурних стрижнів із бетоном і торкрет-бетоном залежать від багатьох факторів: характеру поверхні стрижнів та їх діаметра; міцності бетону, торкрет-бетону та його гранулометричного складу; умов зчеплення; технології нанесення торкрету та якості його виконання [1–3; 6; 7].

Рекомендовано у виконанні технологічних операцій торкрет-бетонних робіт утримувати сопло перпендикулярно поверхні торкретування, а в місцях розміщення арматури забезпечувати нахил сопла до  $15^\circ$  від нормалі з кожної сторони арматурного стрижня. Недопустимим є накопичення відскоку в окремих місцях, особливо за наявності арматури [3; 5; 10], адже це призведе до погіршення зчеплення арматури і бетону (рис. 1).

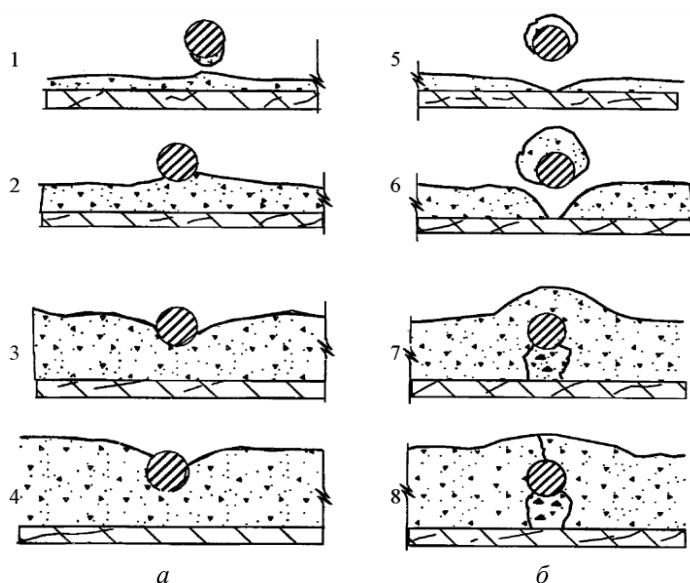


Рис. 1. Технологія нанесення торкрету в армованих шарах: правильне виконання (а), неправильне виконання (б), відповідно до стадії формування торкрет-бетонного шару: 1 – торкрет-бетон, що утримується на задній поверхні арматурного стрижня; 2 – задня поверхня арматурного стрижня, розміщена в торкрет-бетонному шарі; 3 – лицьова поверхня арматурного стрижня, вільна від торкрет-бетонного шару; 4 – правильне завершення процесу торкретування; 5 – небажане накопичення торкрет-бетону на лицьовій поверхні стрижня за низької швидкості потоку; 6 – недопустиме налипання на стрижень; 7 – формування за стрижнем зони з низьким ущільненням; 8 – можливе виникнення тріщин у торкрет-бетоні під час експлуатації

Саме тому, зважаючи на досвід виконання торкрет-бетонних робіт армованих конструкцій, запобігають зниженню міцнісних характеристик торкрет-бетону, особливо ретельно стежать за накопиченням і прибиранням «відскоку», а за потреби якісного виконання передбачають додатковий обдув повітрям поверхонь нанесення.

**Постановка завдання.** Наше завдання – на підставі аналізу експериментально-теоретичних досліджень нанесення торкрет-бетону на армовані поверхні оцінити величину зчеплення стрижнів серпоподібного профілю з торкрет-бетоном і порівняти її з показниками у бетонних елементах.

**Виклад основного матеріалу.** Запропоновані експериментальні дослідження базувалися на аналізі теоретичних обґрунтувань і склалися з двох серій призматичних зразків, виготовлених технологією торкретування та звичайного бетонування. Для оцінки зчеплення серпоподібної арматури з бетонними і торкрет-бетонними зразками використали метод висмикування арматури з призматичних зразків [1; 2; 7; 9].

Дослідні зразки виготовляли у лабораторних умовах Львівського національного університету природокористування. Базовий склад суміші, що попередньо випробовувався на дослідних зразках, виконаних із торкрет-бетону сухим способом, мав такий відсотковий склад за ваговими показниками: пісок – 21 %; відсів – 10 %; щебінь фр. 2-5 мм – 20 %; щебінь фр. 5-10 мм – 25 %; цемент – 24 %. Використана пластифікуюча домішка сілол-латексу – з дозуванням 0,14 % від маси цементу.

Міцнісні та деформативні характеристики бетону, торкрет-бетону і арматури в досліджених зразках контролювали за результатами випробувань: бетонних кубів  $100 \times 100 \times 100$  мм – на стиск, циліндрів  $d=100$  мм,  $h=200$  мм,  $d=150$  мм,  $h=300$  мм – на стиск і сколювання та коротких арматурних стрижнів довжиною 500 мм – на розтяг.

Для виготовлення дослідних бетонних і торкрет-бетонних зразків кубів, циліндрів і призм використовували ідентичні склади. Бетонні призматичні зразки мали проектні розміри  $10 \times 10 \times 15$  см і виготовлялись у горизонтальному положенні. У кожному з цих елементів у центрі перерізу розміщався стрижень арматури класу А500С серпоподібного профілю діаметрами 8 або 10 мм. У фанерну опалубку з відповідними отворами під арматуру влаштовували арматурні стрижні, на які в масиві опалубки з довшої сторони влаштовували полімерні ущільнювачі, залишаючи відкритою

певну довжину поверхні арматури та забезпечуючи довжину анкерування  $l$  (64; 80; 100 мм). Призматичні зразки виготовили з випусками арматури з двох сторін для натягу та фіксації індикаторів.

Торкрет-бетонні зразки виготовляли нанесенням шарів торкрету на фанерну опалубку із влаштуванням у ній арматурних стрижнів перпендикулярно та паралельно. Після дозрівання масиву торкрет-бетону його поділяли на зразки розмірами  $10 \times 10 \times 10$  см (рис. 2).



Рис. 2. Торкрет-бетонний масив, підготовлений для розподілу

Методика досліджень ґрунтувалась на висмикуванні арматури із залізобетонного зразка призматичної (кубічної) форми (рис. 3). Ділянка зчеплення арматурного стрижня з бетоном розташована з боку прикладання зусилля і має довжину  $n \times d$  ( $8d, 10d$ ).



Рис. 3. Випробування призматичних (кубів) зразків

Підготовлені зразки розглядалися як фрагменти центрально розтягнутих залізобетонних елементів. Завантаження проводилося покроково, величиною  $1/10$  від теоретично розрахованої

несучої здатності. За наближення до переміщення стрижня 0,01 мм крок зменшували, щоб зафіксувати величину зусилля такого переміщення. Згідно з методикою після 10-хвилинної витримки на кожному кроці навантаження знімали покази з мікроіндикатора та шкали розривної машини,

контролюючи послідовність утворення та розвитку тріщин.

Результати проведених досліджень витягання арматури з бетонних і торкрет-бетонних зразків з урахуванням характеристик арматури класу А500С наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Експериментальні значення нормальних напружень в арматурі зразків бетону і торкрет-бетону**

№ з/п	Шифр зразків*	Вид, клас бетону	Спосіб вкладання	Довжина анкерування $l$ , мм	Експериментальні значення нормальних напружень в арматурі, МПа	
					при зміщенні 0,1 мм $\sigma_{S0,1,exp}$	максимальні $\sigma_{Smax,exp}$
1	2	3	4	5	6	
1	P 8.64.1	бетон, C25/30	Вібро-ущільнення	64	255,2	298,1
2	P 8.64.2				249,8	294,5
3	P 8.80.1			80	305,2	357,8
4	P 8.80.2				299,4	354,6
5	P 10.80.1				266,9	312,2
6	P 10.80.2				270,1	308,0
7	P 10.100.1			100	326,7	391,0
8	P 10.100.2				329,5	385,6
9	PSII 8.64.1	торкрет-бетон C25/30	Нанесення торкрету паралельно до арматурного стрижня	64	244,1	282,0
10	PSII 8.64.2				252,3	286,8
11	PSII 8.80.1			80	301,1	347,2
12	PSII 8.80.2				297,1	344,0
13	PSII 10.80.1				268,2	305,6
14	PSII 10.80.2				263,8	302,2
15	PSII 10.100.1		100	331,6	389,9	
16	PSII 10.100.2			330,0	386,3	
17	PSI 8.80.1		Нанесення торкрету перпендикулярно до арматурного стрижня	80	278,1	318,9
18	PSI 8.80.2				273,1	322,3
19	PSI 10.80.1				249,4	281,2
20	PSI 10.80.2			244,8	277,0	
21	PSI 10.100.1	100		302,6	359,1	
22	PSI 10.100.2			307,8	355,3	

\*Умовні позначення призмових зразків: P – призмові бетонні зразки, PS – призмові торкрет-бетонні зразки, де арматура під час нанесення торкрету розміщена: II – паралельно, I – перпендикулярно; наступне число – діаметр стрижня, мм, наступне число – довжина закладання стрижня в бетон чи торкрет-бетон, мм; остання цифра – номер зразка-близнюка.

Аналіз виконаних експериментальних досліджень на різних етапах навантаження, де зіставлені результати аналогічних зразків анкерування стрижнів серпоподібного профілю діаметром 8, 10 мм у бетоні C25/30 та торкрет-бетоні (стрижні розміщались паралельно і перпендикулярно до струменя нанесення торкрету), подано в табл. 2, 3.

Сумісна робота бетону чи торкрет-бетону з арматурою характерна напружено-деформованим

станом, на який впливають профіль і діаметр арматурного стрижня, параметри міцності арматури, клас бетону, вид заповнювача для бетону, захисний шар бетону. У нашому випадку ці параметри для дослідних зразків були ідентичними. Однак була розбіжність між умовами бетонування зразків, які виготовлялися віброущільненням, або нанесенням торкрету на арматурний стрижень (перпендикулярно до нього чи й паралельно йому). Згідно з результатами досліджень, нормальні напруження в

арматурі дослідних зразків мали розбіжності (у межах статистичної похибки до 4 %) між бетонними і торкрет-бетонними зразками, в яких торкрет наносили паралельно арматурі. Проте розбіжність у напруженні арматури на різних етапах наван-

таження між бетонними і торкрет-бетонними зразками нанесення торкрету перпендикулярно стрижневій арматурі сягали до 8 %. У зруйнованих зразках ознак нещільності торкрет-бетону візуально не виявлено.

Таблиця 2

**Середні експериментальні значення нормальних напружень в арматурі при зміщенні 0,1 мм**

№ з/п	Бетонні зразки		Торкрет-бетонні зразки				Відношення нормальних напружень в арматурі при зсуві зразків бетонних і торкрет-бетонних	
	Марка зразків	$\sigma_{S0,1,exp,m}$ МПа	Марка зразків	$\sigma_{S0,1,exp,m}$ МПа	Марка зразків	$\sigma_{S0,1,exp,m}$ МПа		
1	P 8.64.	252,5	PSII 8.64	248,2	-	-	0,98	-
2	P 8.80	302,3	PSII 8.80	299,1	PSI 8.80	281,1	0,99	0,93
3	P 10.80	268,5	PSII 10.80	266,0	PSI 10.80	247,1	0,99	0,92
4	P 10.100	328,1	PSII 10.100	330,8	PSI 10.100	305,2	1.01	0,93

Таблиця 3

**Середні експериментальні максимальні значення нормальних напружень в арматурі при зсуві**

№ з/п	Бетонні зразки		Торкрет-бетонні зразки				Відношення максимальних нормальних напружень в арматурі при зсуві зразків бетонних і торкрет-бетонних	
	Марка зразків	$\sigma_{Smax,exp}$ МПа	Марка зразків	$\sigma_{Smax,exp}$ МПа	Марка зразків	$\sigma_{Smax,exp}$ МПа		
1	P 8.64.	296,3	PSII 8.64	284,4	-	-	0,96	-
2	P 8.80	356,2	PSII 8.80	345,6	PSI 8.80	327,6	0,97	0,92
3	P 10.80	310,1	PSII 10.80	303,9	PSI 10.80	288,4	0,98	0,93
4	P 10.100	388,3	PSII 10.100	388,1	PSI 10.100	357,2	1,0	0,92

**Висновки.** Отримані нові експериментальні дані щодо зчеплення арматури серпоподібного профілю в торкрет-бетоні залежно від її розміщення під час нанесення торкрету.

Аналіз проведених досліджень показує, що у забезпеченні належного технологічного регламенту нанесення торкрету перпендикулярно стрижню зчеплення арматури в торкрет-бетоні менше (до 8 %) за її зчеплення в бетоні.

На нашу думку, доцільно провести дослідження впливу зернового складу торкрет-бетону,

діаметра арматури, класу торкрет-бетону, його технології нанесення на зчеплення арматури з торкрет-бетоном.

**Бібліографічний список**

1. Бабич Є. М., Бабич В. Є., Поляновська О. Є. Зчеплення з бетоном серповидного профілю та її анкерування в згинальних залізобетонних елементах: монографія. Рівне: Волин. береги, 2017. 160 с.
2. Білозір В. В., Мазурак Р. А. Аналіз чинників, що впливають на зчеплення арматури серпоподібного профілю з бетоном і фібробетоном. *Сучасні технології*

та методи розрахунків у будівництві. 2020. Вип. 14. С. 47–54.

3. Гросс О. І., Пояс Д. В. Міцність контактних швів залізобетонних конструкцій. *Дороги та мости*: зб. наук. праць. Київ: ДНДІ, 2009. Вип. 11. С. 57–64.

4. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і армування несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і фундаментів промислових будівель і споруд. Київ: Держбуд України, 2003. 82 с.

5. Мазурак А. В., Барабаш В. М. Використання торкрет-бетону при підсиленні бетонних та залізобетонних конструкцій. *Дороги і мости*: зб. наук. праць. Київ: ДерждорНДІ, 2008. Вип. 10. С. 172–176.

6. Міцність контактних швів під час ремонту чи підсилення бетонних елементів / А. В. Мазурак, І. В. Ковалик, В. О. Михайлечко, В. М. Калітовський. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія та практика будівництва*. 2013. № 755. С. 249–254.

7. Чапюк О. Зчеплення арматурних стержнів різних діаметрів класу А500С з бетоном. *Вісник Тернопільського національного технічного університету. Серія: Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки*. 2013. № 2. С. 156–163.

8. Бабиченко В. Я., Снисаренко В. И. Развитие технологии торкретирования и необходимость ее обеспечения нормативной базой. *Будівельні конструкції*: зб. наук. праць: у 2 кн. Київ: ДП НДІБК, 2013. Вип. 78, кн. 2. С. 385–390.

9. Bandelt M. J., Billington S. L. Bond behavior of steel reinforcement in high-performance fiber-reinforced cementitious composite flexural members. *Materials and Structures*. 2016. Vol. 49. P. 71–86.

10. Wall J. S., Shrive N. G. Factors affecting bond between new and old concrete. *ICI Materials Journal*. 1988. 2. P. 117–125.

Стаття надійшла 03.08.2022