

УДК 624.012:693.5

А.В. Мазурак*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7367-774X>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

Т.Ю. Осадчук

к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

Т.А. Мазурак

к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8789-3224>

Кафедра технології та організації будівництва

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

О.Т. Мазурак

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7846-2799>

Кафедра екології та захисту довкілля

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

Н.Б. Давидовський

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5138-889X>

Кафедра будівельних конструкцій

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, Львів, Україна, 79010

*автор - кореспондент, e-mail: amazurak@ukr.net

Підсилення залізобетонного перекриття армованим торкретбетоном

Цитувати як:

Мазурак, А.В., Осадчук, Т.Ю., Мазурак, Т.А., Мазурак, О.Т., Давидовський, Н.Б. (2025). Підсилення залізобетонного перекриття армованим торкретбетоном. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 196-206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-16)

© 2025, Мазурак А.В., Осадчук Т.Ю., Мазурак Т.А., Мазурак О.Т., Давидовський Н.Б.

Сьогодні існує велика потреба у відновленні, ремонті та зміцненні бетонних та залізобетонних конструкцій. Спільна робота існуючого залізобетону конструкції та нового шару залізобетону має вирішальне значення для несучої здатності при підсиленні чи ремонті будівельних конструкцій. Досвід виконання ремонтних робіт та підсилення залізобетонних конструкцій доводить, що технологія торкретування є одним з ефективних та надійних методів нанесення захисних покриттів на бетонні поверхні, виправлення дефектів бетону та зміцнення бетонних і залізобетонних конструкцій.

Метою роботи було експериментально оцінити міцність зчеплення «старого» бетону перекриття та «нового» армованого торкретбетону та порівняти параметри зчеплення з розрахунковими значеннями. Визначити фактори, що впливають на величину зчеплення, підсилення монолітного перекриття армованим торкретуванням.

Згідно з розрахунком, пошкоджена залізобетонна плита перекриття була армована сіткою №10 А500С з кроком 200х200 мм та торкрет-бетоном за технологією сухого нанесення суміші «Кімтек».

Міцність на розтяг та адгезійна міцність торкрет-бетону, нанесеного на плиту, оцінювалися за допомогою адгезиметра, а також були виготовлені контрольні кубики з нанесеним шаром торкрет-бетону, які досліджувалися в лабораторних умовах.

Проведені експериментальні дослідження показали, що міцність зчеплення бетонного шару плити перекриття та торкрет-бетону в 2, 3 рази нижча за проектні розрахункові значення. Тому виникла потреба визначити технологічні фактори в реальних виробничих умовах, що впливають на величину зчеплення при підсиленні монолітного перекриття армованим торкрет-бетоном і врахувати ці фактори в процесі виконання робіт.

Ключові слова: армування залізобетонних конструкцій, міцність зчеплення, армований торкрет-бетон, несуча здатність.

Вступ

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. На сьогодні в будівництві часто виникає потреба відновлювати, ремонтувати, підсилювати бетонні й залізобетонні конструкції, а це у свою чергу потребує забезпечення міцного з'єднання різних за характеристиками шарів бетону.

Необхідність підсилення будівельних конструкцій в процесі експлуатації виникає не тільки під час реконструкції, але й внаслідок їх передчасного зносу в результаті непередбачених змін технології виробництва, різноманітних пошкоджень тощо. Підсилення залізобетонних конструкцій проводили ще на початку 20 століття і виконували в основному з використанням металевих елементів, армованих шарів бетону, тонких шарів розчину з використанням металевої стружки і торкретування [1, 2, 3].

Спільна робота між наявним бетоном конструкції та новим бетоном чи залізобетоном є критично важливою для несучої здатності при підсиленні та ремонті бетонних і залізобетонних конструкцій. Практика використання та експериментальні дослідження показують, що спільна робота є одним із основним критеріїв несучої здатності за підсилення, ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій.

Дослідження опору зсуву чи відриву контактних швів є важливою проблемою в будівельній справі. Хоча було проведено чимало експериментальних і теоретичних досліджень у цій області, все ще існує потреба в більш надійних і фізично обґрунтованих методах розрахунку

міцності контактних швів під дією відривних чи зсувних зусиль. Спільна робота шарів підсиленого залізобетонного елемента досягається за рахунок механічного зачеплення, улаштуванням насічки та/або за рахунок встановлення додаткової поперечної арматури. Для підвищення зчеплення “старого” та “нового” бетонів можуть застосовуватися також композиції на основі епоксидного, акрилового та інших видів синтетичних клеїв [2, 4].

Вивченню роботи підсиленних залізобетонних конструкцій присвятили свої дослідження А.Я. Барашиков, З.Я. Бліхарський, Б.А. Боярчук, О.І. Валовой, Г.В. Гетун, О.Б. Голишев, О.Ю. Єрьоменко, О.Д. Журавський, Л.А. Мурашко, Д.В. Попруга, О.Л. Шагін, В.С. Шмуклер, Г.В. Чанг, Л.М. Ли, М.А. Максур і багато інших. Вплив механічного зчеплення “старого” та “нового” бетонів на міцність їхнього контакту присвятили свої роботи такі дослідники, як О.М. Пшінько, Н.І. Руденко, О.О. Шишкін та інші [4, 5, 6, 7, 8].

Науковці О.І. Валовой та П.І. Герб здійснили дослідження контактного шва при підсиленні залізобетонних конструкцій методом приклеювання. В якості дослідних зразків вони використовували залізобетонні балки, які підсилювали шляхом збільшення поперечного перерізу. Зокрема, підсилення виконувалося методом нашарування додаткового шару бетону в розтягнутій зоні [2].

Досвід виконання ремонтних робіт і підсилення залізобетонних конструкцій доводить, що технологія торкретування є однією із ефективних надійних способів нанесення захисних покриттів на бетонні поверхні, виправленні дефектів в бетоні, підсиленні бетонних і залізобетонних конструкцій.

Дослідження Національного інституту безпеки та гігієни праці США (NIOSH) у сфері використання торкретбетону як підтримки у підземних шахтах, розташованих у слабких гірських породах, є важливим для забезпечення безпеки гірничих робіт. Основною метою цих досліджень було створення надійної методології вимірювання адгезійної міцності торкретбетону, що є ключовим параметром його ефективності [6].

Мета і завдання дослідження. Враховуючи власний досвід виконання ремонту бетонних поверхонь і підсилення залізобетонних конструкцій технологією торкретування та на підставі аналітичного огляду літератури, проведена оцінка характеристик міцності зчеплення при підсиленні залізобетонного перекриття армованим торкретбетоном.

Метою роботи було експериментально оцінити міцність зчеплення “старого” бетону та “нового” торкретбетону при підсиленні перекриття та порівняти параметри зчеплення із розрахунковими величинами. Виявити чинники, які впливають на величину зчеплення в реальних виробничих умовах підсилення монолітного перекриття армованим торкретбетоном.

Результати та обговорення

Тривала експлуатація залізобетонного монолітного перекриття у знакоперемінних температурно-вологіх умовах приміщення міської бані, призвела до появи тріщин на поверхні бетону, корозії арматури, випучування бетону та появи раковин на поверхні плити. Зменшення перерізу робочої арматури, поява деформацій у плиті суттєво знизили несучу здатність перекриття.

Пониження несучої здатності перекриття, пошкодження розтягнутої зони плити зумовили процес заміни перекриття або його підсилення. Збільшення несучої здатності конструкції без зміни конструктивної схеми передбачає збільшення її поперечного перерізу.

Процес виконання робіт із підсилення перекриття проводили за наступним алгоритмом: провели технічну оцінку стану перекриття, оцінили геометричні та міцнісні характеристики бетону та арматури монолітної плити; провели розрахунок із підсилення залізобетонного перекриття; провели очистку від корозії і збивання пошкодженого бетону; на хімічних анкерах (HILTI HIT-RE 500) зафіксували арматурні стержні, до яких прикріпили арматурну сітку; на підготовлену поверхню, пошарово в технології сухого виконання, нанесли ремонтну суміш торкретбетону.

Міцність бетону плити перекриття визначили після очистки і збиття пошкоджених ділянок неруйнівним методом (молоток Шмідта). Міцність ремонтного шару (55 замірів) становила C20/25 (f_{cm} , $cube=31,7$ МПа). Після оцінки міцності бетону перекриття підібрали за складом і виготовили однією партією 22 куби аналогічного складу за міцністю з плитою. Вісім кубів із рівною шорсткою поверхнею, як перекриття, та 8 кубів із фрезерованою шорсткою поверхнею.

Пошкоджена залізобетонна плита перекриття будівлі Центру здоров'я «Бадьорість» КНП ЛТМО (клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги за адресою: м. Львів, вул. Героїв УПА, 35) за розрахунком підсилювалась армованим (сітка $\varphi 10$ A500C, крок 200x200) торкретбетоном технологією сухого нанесення суміші «Кімтек» (згідно з ТУ У В.2.7 – 23.6 – 33053934-002:2022). З метою забезпечення спільної роботи бетону плити та ремонтного армованого шару торкретбетону і для сприйняття проектного навантаження розрахунком передбачили міцність зчеплення 1,5 МПа. При розрахунку та виконанні робіт зосередились на забезпеченні спільної роботи матриці та шару армованого торкретбетону, що допоможе досягти належної несучої здатності підсиленого перекриття [1, 2, 5].

Для забезпечення якісного виконання робіт із підсилення залізобетонного монолітного перекриття провели належну очистку випученого бетону та арматури від корозії. Додаткове ремонтне армування перекриття виконували сітками $\varphi 10$ A500C з кроком 200x200мм, підвішуючи їх на анкерах, влаштованих з кроком 600 мм $\varphi 8$ A500C (рис. 1).

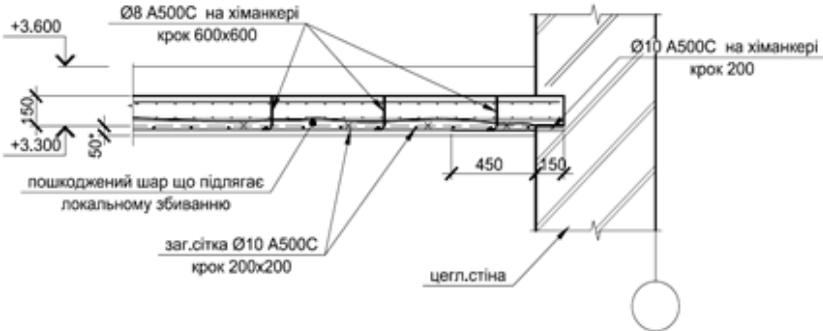


Рис. 1. Пристінний розріз армування підсиленої плити перекриття

Виконуючи пошарове нанесення торкрету в обсязі до 15 % від всього перекриття (рис. 2), в приміщені паралельно наносили торкрет на підготовлені куби-зразки з конічними кільцями (рис. 3) [7].

Процес дослідження міцності ремонтної поверхні на стиск та розтяг проведений у 25 день після нанесення шарів торкретбетону. Оцінку міцності на стиск провели неруйнівним методом (молоток Шмідта). Міцність ремонтного шару (результат 75 замірів) становила C25/30 ($f_{cm, cube} = 38$ МПа). Міцність на розтяг та адгезійна міцність оцінювалась адгезиметром Hilti 5006 (model 59604). Відповідно до результатів 12 замірів міцність ремонтного шару на розтяг / адгезійна міцність становила $f_{ctk, 0,05} = 0,65$ МПа (табл. 1, рис. 4, рис. 5). Руйнування зрізів на відривання від перекриття проходило як на межі контакту матриці і ремонтної суміші, так і в масиві шару ремонтної поверхні (рис. 6, рис. 7). Зразки кубів (16 шт.) із конусними кільцями, заповнені торкретом, передавали в науково-дослідну лабораторію університету. Кільця при допомозі обойми відривали від поверхні кубів, тим самим оцінювали міцність зчеплення торкретбетону (табл. 1, рис. 8., рис. 9).

Провівши аналіз результатів міцності зчеплення ремонтних шарів, поданих в табл. 1, можна стверджувати, що міцність зчеплення шару бетону плити перекриття і торкретбетону (0,65 МПа) у 2,3 рази менша за проєктні розрахункові значення та не відповідає декларованим характеристикам суміші «Кімтек»: міцність на стиск – не менше 45 МПа; міцність на розтяг / адгезія до поверхні – не менше 1,5 МПа. При цьому міцність зчеплення контрольних зразків кубів із конусними кільцями, виконаними по поверхні шорсткій і шорстко-фрезерованій, показують позитивний результат, тобто величина їх значень сягає 1,55 МПа та 1,51 МПа, відповідно. Також слід відзначити, що всі зразки, за виключенням одного, зруйнувались по межі контакту шарів бетону.

Таблиця 1. Міцність зчеплення дослідних зразків

№ зразка	Міцність бетону (матриці) МПа	Міцність ремонтного бетону МПа	Міцність зчеплення, МПа. Поверхня контакту					Межа руйнування взірців: 1-між бетоном і торкрет-бетоном 2- в шарі торкрет-бетону	
			Плита перекриття		Зразки-куби				
	$f_{c,cube}$	$f_{c,cube}$	шорстка, прорізи і раковини		шорстка	шорстка, фрезерован			
1	29,7	38	0,95	0,65	--	--		1	
2			0,37					2	
3			0,46					2	
4			0,40					2	
5			1,06					1	
6			0,38					2	
7			0,77					2	
8			1,41					1	
9			0,35					2	
10			0,31					2	
11			1,08					1	
12			0,26					2	
1	31,2	38,1	--		1,55	1,51		1	
2								1,77	1
3								1,38	1
4								1,78	1
5								1,35	1
6								0,95	1
7								1,55	1
8								1,79	1, 2
			1,83				1		



Рис. 2. Загальний вигляд поверхні при нанесенні шару торкретбетону



Рис. 3. Зразок куба із торкретбетону на фрезерованій поверхні



Рис. 4. Підготовлений зразок для оцінки адгезійної міцності торкретбетону



Рис. 5. Шурф після відривання від масиву поверхні



Рис. 6. Дослідні зразки із шарів торкрет бетону перекриття



Рис. 7. Покази адгезиметра



Рис. 8. Зразок шорсткої поверхні торкретбетону в обоймі



Рис. 9. Зовнішній вигляд, після розриву поверхні шорсткого бетону і торкретбетону

Роботи із підсилення перекриття зупинили, щоб виявити технологічні чинники невідповідності належного зчеплення шарів бетону і торкретбетону. Так як контрольні зразки виконувались з однієї відстані під належним кутом нанесення, одним шаром та однорідною струєю і подачею води (в сухій технології виконання це дуже важливо), результат міцності зчеплення отримали добрий. Зразки в перекритті в основному зруйнувались в масиві торкретбетону, тобто його міцність по товщині шару є неоднорідною. Міцність на стиск на поверхні ремонтного шару сягала 38 МПа, що було задовільним результатом.

Проаналізувавши процес виконання робіт з підсилення залізобетонного перекриття, а також провівши заміри окремих ділянок, нами виявлено основні відхилення в технології виконання робіт (неналежну відстань від поверхні сопла при нанесенні ремонтної суміші та неоднорідність її подачі при сухому нанесенні торкретбетону).

Враховавши виявлені недоліки технології виконання, було рекомендовано процес нанесення торкрету на плиту перекриття продовжити. Після врахованих рекомендацій оцінка міцності на розтяг торкрет-бетону (адгезія до поверхні) після забезпечення належного технологічного регламенту перевищила проєктні величини і склала 1,57 МПа.

Висновки

У результаті проведених досліджень експериментально оцінили міцність зчеплення бетону плити перекриття з ремонтним шаром армованого торкрет-бетону за різних умов виконання. Врахували технологічні чинники при підсиленні плити перекриття, які впливають на міцність зчеплення ремонтного шару, а саме відстань до поверхні нанесення та однорідність суміші торкрету. Забезпечили належний технологічний регламент виконання робіт, збільшивши міцність на розтяг і зчеплення

ремонтного шару з 0,65 МПа до 1,57 МПа, тобто в 2,41 рази.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося в межах госпдоговірної тематики.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Boyarchuk B.A. Strength, crack resistance and deformation of reinforced concrete structures with different methods of strengthening the tension zone: author's abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences: speciality 05.23.01 "Building structures, buildings and structures" - Lviv, 2003. - 20p.

2. Valovoy O. I., Popruga D. V. Strength of contact seams of reinforced reinforced concrete structures. Roads and bridges: collection of scientific works. Kyiv: DerzhdorNDI, 2009. Issue 11. P. 57-65.

3. Mazurak A. V., Kovalyk I. V., Mykhailechko V. O., Kalitovsky V. M. Strength of contact seams during repair or reinforcement of concrete elements. Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic": theory and practice of construction. Lviv. NU "LP", 2013. No. 755. P. 249-254.

4. Pshynko O. M., Krasnyuk A. V., Gromova O. V. Selection of materials for repair and restoration of concrete and reinforced concrete structures of transport facilities taking into account the compatibility criterion: monograph. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan. - Dnipropetrovsk, 2015. - 195

Література

1. Боярчук Б.А. Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення розтягнутої зони: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 „Будівельні конструкції, будівлі та споруди” Львів, 2003. - 20с.

2. Валоной О. І., Попруга Д. В. Міцність контактних швів підсилених залізобетонних конструкцій. Дороги і мости: зб. наук. пр. Київ: ДерждорНДІ, 2009. Вип. 11. С. 57-65.

3. Мазурак А. В., Ковалик І. В., Михайлечко В. О., Калітовський В. М. Міцність контактних швів під час ремонту чи підсилення бетонних елементів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія та практика будівництва. Львів. НУ «ЛП», 2013. № 755. С. 249-254.

4. Пшінько О. М., Краснюк А. В., Громова О. В. Вибір матеріалів для ремонту

та відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням критерію сумісності: монографія. Дніпропетр. нац. ун-т залізн.трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 195 с.

5. Andrii Mazurak, Ivan Kovalyk, Vasyi Mykhailechko, Justyna Sobczak-Piąstka Strength of joints of concrete abutment surfaces Author & Article Information. AIP Conf. Proc. 2077, 020041-1–020041-7 (2019) <https://doi.org/10.1063/1.5091902>.

6. Xuan-Bach Luu, Seong-Kyum Kim. Finite element modeling of interface behavior between normal concrete and ultra-high performance fiber-reinforced concrete. Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 39177, Republic of Korea, *Buildings 2023, 13(4), 950; <https://doi.org/10.3390/buildings13040950>.

7. Mazurak A.V., Sanitskiy M.A., Mazurak O.T. Estimation of joined operation of shotcrete layer with the surface of concrete and reinforced constructions Praca zbiorowa pod redakcja T. Bobki, J. Rajczyka - «Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym». – Częstochowa. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. – 2010. – S. 211 – 216.

8. Seymour B; Martin L; Clark C; Stepan M; Jacksha R; Pakalnis R; Roworth M; Caceres C. A practical method of measuring shotcrete adhesion strength./ 2010 SME Annual Meeting and Exhibit, February 28 - March 3, Phoenix, Arizona, Preprint 10-137. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2010 Feb 1-9. <https://www.cdc.gov/niosh/mining/works/cover-sheet1456.html>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 13.11.2025	Received 13.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

A.V. Mazurak*

PhD, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7367-774X>

Department of Building Structures

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

T.Yu. Osadchuk

PhD, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>

Department of Building Structures

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

T.A. Mazurak

PhD, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8789-3224>

Department of Construction Technology and Organization

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

O.T. Mazurak

Ph.D, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7846-2799>

Department of Ecology and Environmental Protection

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

N.B. Davydovskiy

Postgraduate student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5138-889X>

Department of Building Structures

Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky,
Pekarska St., 50, Lviv, Ukraine, 79010

*corresponding author, e-mail: amazurak@ukr.net

Reinforcement of the reinforced concrete slab with reinforced shotcrete concrete

How to Cite:

Mazurak A.V., Osadchuk T.Yu., Mazurak T.A., Mazurak O.T., Davydovskyi N.B. (2025). Reinforcement of reinforced concrete floors with reinforced shotcrete. Modern technologies and calculation methods in construction, 24, 196-206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-16)

Abstract. Today, there is a significant need to restore, repair, and strengthen concrete and reinforced concrete structures. The composite action of the existing reinforced concrete structure and the newly applied reinforced concrete layer plays a crucial role in the load-bearing capacity of strengthened or repaired building structures. Experience in performing repair and strengthening works on reinforced concrete structures confirms that shotcreting technology is one of the most effective and reliable methods for applying protective coatings to concrete surfaces, correcting concrete defects, and reinforcing concrete and reinforced concrete structures.

The study aimed to experimentally evaluate the bond strength between the “old” concrete of the slab and the “new” reinforced shotcrete, and to compare the obtained bond parameters with the design values. Additionally, the study aimed to identify the factors influencing bond strength during the strengthening of a monolithic slab using reinforced shotcreting.

According to the design calculations, the damaged reinforced concrete slab was strengthened with No. 10 A500C mesh with a 200×200 mm spacing and shotcrete applied using the dry-mix “Kimtek” technology.

The tensile strength and adhesive bond strength of the shotcrete applied to the slab were evaluated using an adhesion tester. Control cubes with a shotcrete layer applied were also produced and tested under laboratory conditions.

The experimental studies showed that the bond strength between the concrete slab layer and the shotcrete was 2–3 times lower than the design values. Therefore, it became necessary to identify technological factors under real production conditions that affect bond strength when strengthening a monolithic slab with reinforced shotcrete, and to account for these factors during the execution of the work.

Keywords: reinforcement of reinforced concrete structures, bond strength, reinforced shotcrete, load-bearing capacity.