

МЕТОДИКИ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ НА ЗРІЗ КОНТАКТНИХ ШВІВ БЕТОННИХ ШАРІВ

А. Мазурак, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0001-7367-774X

В. Кальченко, аспірант

ORCID ID: 0000-0003-2394-260X

О. Цап, аспірант

ORCID ID: 0000-0001-5404-8892

В. Михайлечко, старший викладач

Львівський національний аграрний університет

Ю. Собчак-Пястка, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-50529362

Університет Технологічно-природничий у Бидгощі, Польща

<https://doi.org/10.31734/architecture2020.21.021>

Мазурак А., Кальченко В., Цап О., Михайлечко В., Собчак-Пястка Ю. Методики оцінки міцності на зріз контактних швів бетонних шарів

У сучасному 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.

Проблему опору зсуву контактних швів бетонних і залізобетонних конструкцій досліджували чимало науковців, але понині не запропонований надійний і фізично обґрунтований метод розрахунку міцності контактних швів на дію зсувних зусиль. Сумісна робота бетону наявної конструкції матриці й нового бетону чи залізобетону, як показують практика використання і вже проведені експериментальні дослідження, є основним критерієм несучої здатності за підсилення, ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій.

Здійснивши аналітичний огляд літератури, опираючись на досвід попередників і відомі методики оцінки міцності, запропоновано експериментальні дослідження характеристик міцності контактних швів на зріз за підсилення бетонних і залізобетонних елементів.

Для експериментальних досліджень використали бетонні зразки «Г»-подібної форми з перерізом 100 x 100 мм і висотою 400 мм. Зразки між собою з'єднувались за різних комбінацій: неармована зона контакту, також із застосуванням промазок для підвищення адгезії; нагельне з'єднання; комбіноване з'єднання елементів із різними характеристиками бетону. Підготовлені зразки витримувались протягом 60 діб. Після належної підготовки зразки вертикально навантажувались із забезпеченням чистого зрізу.

Проведені дослідження дали змогу оцінити вплив на міцність при зрізі контактних швів: класу бетону, наявності з'єднувальних підкладів; наявності клеєних металевих анкерів.

Результати досліджень показують, що міцність на зсув зростає у дослідних зразках бетону з більшою міцністю на стиск, а також контактних швах при обробці зразків з'єднувальними емульсіями й ремонтними розчинами. Використання анкерів також збільшує міцність на зсув у контактних швах, проте приріст міцності не задовільний, оскільки менший за розрахункові значення.

Ключові слова: контактний шов, міцність на зріз, сумісна робота, анкер, зв'язувальний підклад.

Mazurak A., Kalchenko V., Tsap O., Mikhailechko V., Sobchak-Piastka Yu. Methods of estimation of the shear strength of the contact joints of concrete layers

In the modern construction, there is often a need to restore, repair, reinforce concrete and reinforced concrete structures. In its turn, it requires a strong connection of different layers of concrete.

The problem of shear resistance of contact joints of concrete and reinforced concrete structures has been investigated by many scientists, but today a reliable and physically sound method of calculating the strength of contact joints for the action of shear forces has not been proposed. Concurrent work of concrete of the existing matrix structure and new concrete or reinforced concrete, as shown by the practice of use and already conducted experimental researches, is the basic criterion of bearing capacity for reinforcement, repair of concrete and reinforced concrete structures.

After conducting the analytical review of the literature, based on the experience of predecessors and known methods of strength assessment, experimental studies of the characteristics of the cut strength of contact seams are proposed at reinforcement of concrete and reinforced concrete elements.

To make experimental studies, the researchers used concrete samples "G" of the similar shape with a cross section of 100x100mm and a height of 400 mm. The samples were interconnected with different combinations: unreinforced contact area, also using adhesive coatings to increase adhesion; tilting connection; the combination of elements with different characteristics of concrete. The prepared specimens were kept for 60 days, after proper preparation, the specimens were loaded vertically to ensure a clean cut.

The studies have made it possible to evaluate the impact on the strength of the cut joints of contact seams: concrete class, the presence of connecting substrates; the presence of glued metal anchors.

The results of the studies show that the shear strength increases, in the test specimens of concrete with greater compressive strength. The shear strength is increased in the contact seams when processing specimens by connecting emulsions and repair solutions. The use of anchors also increases the shear strength in the contact seams, but the strength gain is not satisfactory, it is less than the calculated value.

Key words: contact seam, shear strength, teamwork, anchor, binding substrate.

Постановка проблеми. Збільшення несучої здатності згинальних залізобетонних елементів без зміни конструктивної схеми зазвичай передбачає збільшення поперечного перерізу елемента підсилення, введенням у стиснуту або розтягнуту зони додаткового шару армованого чи неармованого бетону.

Важливу роль за ефективного підсилення залізобетонних елементів відіграє сумісна робота бетону наявної конструкції й нового бетону.

У зоні контакту підсилення бетону конструкції виникає складний напружено-деформований стан, також там діють стискальні, розтягувальні, зсувні зусилля. Величина останніх за нарощування визначає несучу здатність підсиленої конструкції. Низька міцність контактної зони звужує коло можливостей підсилення за нарощування.

Для підвищення зчеплення «старого» та «нового» бетонів ефективно використовувати композиції на основі епоксидного, акрилового та інших видів синтетичних клеїв. Адгезійну міцність експериментально визначають за безпосереднього руйнування з'єднання [11].

Основним способом підвищення несучої здатності конструкцій, що потребують підсилення, є збільшення площі поперечного перерізу конструкції. Переважно це відбувається за рахунок нашарування бетону й залізобетону в стиснутих чи розтягнутих зонах. Однак за використання такого способу підсилення конструкцій виникають контактні шви.

Одним із найважливіших питань є визначення опору контактних швів дії зсувних зусиль, особливо за наявності арматури, що перетинає контактний шов. При зсуві контактні шви проявляють складний характер роботи, що залежить від багатьох факторів. Водночас від правильної оцінки міцності контактного шва на зсув залежить спільна робота примикальних до контактного шва елементів конструкції та несуча здатність конструкції загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні вже виконано чимало експериментально-теоретичних досліджень опору зсуву кон-

тактних швів, але й досі не розроблено достатньо надійних і фізично обґрунтованих методів розрахунку міцності контактних швів на дію зсувних зусиль.

Над тематикою працювали такі українські й зарубіжні вчені як О. Валовой, П. Герб, В. Рожко, О. Єрьоменко, Д. Попруга, Я. Колчин, А. Гвоздев, Д. Мерш, Д. Хагер, Е. Громова, В. Колчунов, В. Калитуха, А. Иванов, А. Скворцов, S. Kaaya, D. Salim, S.-J. Kwon, K. H. Yang, Ju-H. Mun, P. Kaar, J. Saemann, G. Washa, K. Furtak.

Науковець А. Голишев пропонує визначати граничне зсувне зусилля, яке сприймає контактний шов, за формулою:

$$R_{sh} Q_{shu} = + R_{sh} + l_{sh} + b_{sh}, \quad (1)$$

де R_{sh} – середній за довжиною ділянки зсуву розрахунковий опір зсуву контактного шва; b_{sh} – розрахункова ширина поверхні зсуву; l_{sh} – розрахункова довжина поверхні зсуву [3].

Відповідно середній сумарний розрахунковий опір зсуву контактного шва приймаємо за формулою:

$$R_{sh} = R_{sh,b} + R_{sh,k} + R_{sh,s} + R_{sh,n}, \quad (2)$$

де $R_{sh,b}$ – опір шва зсуву за рахунок зчеплення, механічного зачеплення та обтиску бетону; $R_{sh,k}$ – опір шва зсуву за рахунок роботи клею (визначено експериментально за методикою) [8]; $R_{sh,s}$ – опір шва зсуву за рахунок роботи на зрізування поперечної арматури, яка перетинає шов; $R_{sh,n}$ – опір шва зсуву за рахунок роботи поперечних шпонок (рис. 1).

Науковці О. Валовой та П. Герб досліджували контактний шов за підсилення залізобетонних конструкцій методом приклеювання. За дослідні зразки використовували залізобетонні балки, підсилені за рахунок збільшення поперечного перерізу, методом нашарування бетону в розтягнутій зоні [1; 2].

Провівши низку досліджень, учені дійшли висновку щодо доцільності використання клею (зокрема Cerinol ZH) для забезпечення сумісної роботи шарів бетону (рис. 1).

Автор В. Рожко досліджував вплив контактного шва за підсилення залізобетонних перекриттів нарощенням поперечного перерізу в стиснутій зоні, забезпечуючи зчеплення різних шарів

бетону за рахунок влаштування армованих шпонок (рис. 2).

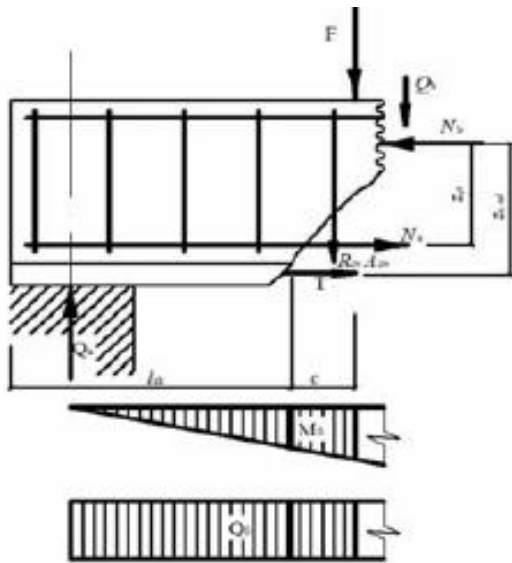


Рис. 1. Розрахункова схема контактної шви

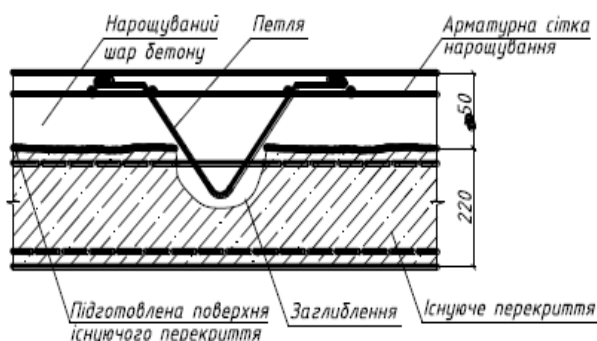


Рис. 2. Забезпечення сумісної роботи шарів старого й нового бетонів влаштуванням залізобетонних шпонок

Порівнявши теоретичну міцність шпонок із дослідною, В. Рожко підтвердив доцільність використання залізобетонних шпонок для забезпечення зчеплення різних шарів бетону, зокрема за підсилення перекриттів, нарощуванням стиснутої зони [9].

Учений О. Єрмоєнко досліджував ефективність підсилення залізобетонних балок методом нашарування стиснутої зони такими матеріалами, як: армований полімербетон, сталеві фібробетон і дрібнозернистий бетон. Завдяки його дослідженням виявлені закономірності впливу властивостей різних матеріалів на міцність контактних швів у стиснутій зоні балок та запропоновані рекомендації з урахуванням особливостей роботи матеріалу при проектуванні підсилення залізобетонних балок із використанням розглянутих

матеріалів. Згідно з результатами його експериментів, на експлуатаційній стадії роботи основні конструкції балок та шари підсилення працюють спільно. Лише на останніх стадіях напружено-деформованого стану виникає розшарування. Дослідні зразки підсилених балок показали підвищені експлуатаційні якості порівняно з непідсиленими [4].

Науковець Д. Попруга порівняв різні влаштування контактної шви під час підсилення залізобетонних балок нарощуванням перерізу у стиснутій зоні. Він розглядав варіанти забезпечення сумісної роботи шарів бетону за допомогою: клею Cerinol ZH; влаштування шпонок; влаштування арматурних випусків у контактному шві.

Згідно з результатами його експериментів, найвищу міцність контактної шви показали балки, підсилені за рахунок випусків арматури, хоча сам дослідник вважає найдоцільнішим використання клею за рахунок найменшої трудомісткості порівняно з іншими методами (рис. 3) [1].

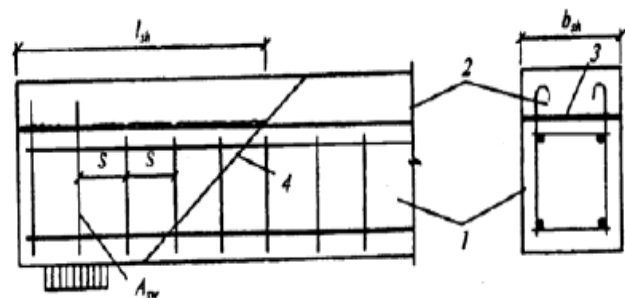


Рис. 3. Схема для визначення зсувних зусиль, які сприймає поперечна арматура в контактному шві: 1 – підсилювана конструкція; 2 – бетон підсилення; 3 – контактний шов; 4 – похилий переріз

Дослідник А. Скворцов оцінив опір контактних швів залізобетонних конструкцій на дію зсувальних зусиль. У своїх дослідженнях розглядав бетонні елементи з неармованими та армованими контактними швами [11]. Проаналізувавши свої експерименти, він дійшов таких висновків: опір зсуву неармованих бетонних контактних швів за дії стискальних зусиль суттєво залежить від міцності бетону; напруження стиску, що діють перпендикулярно до контактної шви, суттєво підвищують опір зсуву контактної шви; опір зсуву арматурних стрижнів, розташованих у бетоні, суттєво залежить від міцності бетону; опір зсуву арматурних стрижнів, розташованих у тілі бетону, залежить від їхнього поперечного перерізу.

Науковці В. Калитуха й А. Іванов досліджували міцність контактних швів складених

бетонних конструкцій, модифікованих гіперпластифікатором СТАХЕМЕНТ-2000. Дослідними зразками в експериментах слугували П-подібні складені бетонні елементи. До бетонної суміші «нового» бетону додавали пластифікатор СТАХЕМЕНТ-2000. До бетонної суміші «старого» бетону пластифікатор не додавали (рис. 4) [6].

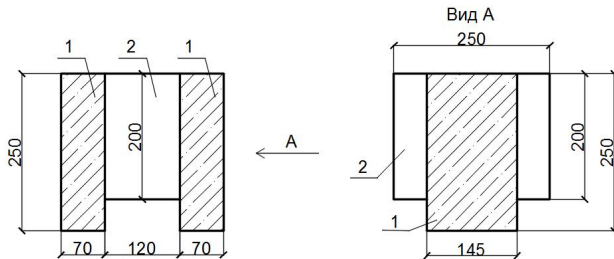


Рис. 4. Схема дослідних зразків:
1 – новий бетон; 2 – старий бетон

За результатами своїх пошуків дослідники дійшли таких висновків:

- міцність контактного шва при додаванні гіперпластифікатора СТАХЕМЕНТ-2000 у відсотковому відношенні 0,7 від ваги цементу набагато вища, ніж у зразків без додавання добавки;
- при додаванні гіперпластифікатора СТАХЕМЕНТ-2000 у новий бетон намонолічуння міцність контактного шва зростає утричі більше, що забезпечує міцне й надійне зчеплення старого та нового бетонів і гарантує їхню спільну роботу.

Шведські науковці K. Semiha та S. Delvin вивчали зсувну жорсткість між елементами збірних стін, аналізуючи опір зсуву й характер руйнувань з'єднань елементів збірних стінових панелей у вигляді шпонок за допомогою графічно-обчислювального редактора ATENA 3D [12].

Результати роботи науковців показали, що опір зсуву шпонок з'єднань можна суттєво збільшити за рахунок поперечного армування шпонок.

При дослідженні роботи контактних швів бетонних елементів учені використовували різні схеми дослідних зразків. Зокрема схема, запропонована А. Гвоздевим, забезпечує чистий зріз у перерізі (рис. 5) [5].

Дослідна схема, яку прийняв Д. Хагер, хоч і дає змогу досягти чистого зрізу в перерізі, що досліджується, проте зразки не достатньо стійкі й вимагають досить великої точності встановлення (рис. 6) [5].

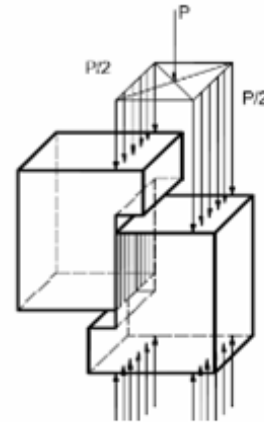


Рис. 5. Дослідна схема суміжних зразків, запропонована А. Гвоздевим

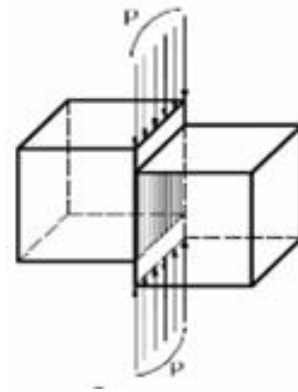


Рис. 6. Дослідна схема суміжних зразків, запропонована Д. Хагером

Постановка завдання. Наше завдання – дослідити характеристики міцності контактних швів на зріз за підсилення бетонних і залізо-бетонних елементів.

Виклад основного матеріалу. На основі аналітичного огляду літератури і практичного використання ремонтних бетонних та залізо-бетонних конструкцій розглянуто чинники, що впливають на сумісну роботу ремонтної поверхні й матриці шару, а також сформуване завдання наших досліджень: експериментальна оцінка міцності контактних швів на зсув у бетонних зразках; аналіз влаштування контактних швів за допомогою бетону, зв'язувальних підкладів та вклеєних арматурних анкерів.

Для проведення експериментальних досліджень виготовили бетонні зразки з перерізом 100 x 100 мм і висотою 400 мм. В опорних зонах бетонних зразків наявна розширена п'ята, для забезпечення центрування опорного перерізу зразків при стиску й виконання чистого зрізу.

Тому дослідні зразки нагадують «Г»-подібну форму, а проєктна площа контакту бетонних зразків із «матричного» і «нового» бетонів становить 200 см^2 (рис. 7).

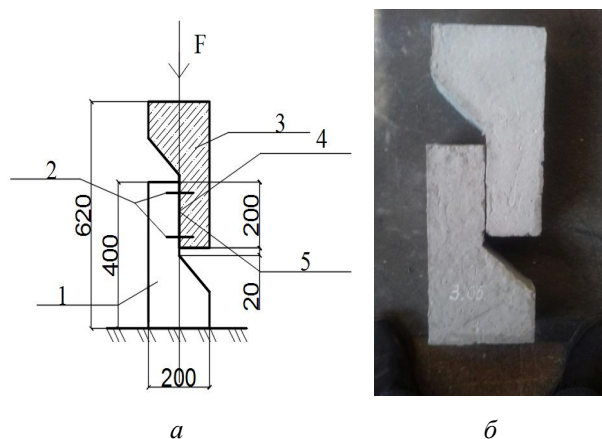


Рис. 7. Експериментальні дослідження:
 а – схема роботи контактних швів бетонних зразків: 1 – бетон матриці; 2 – анкери; 3 – новий бетон; 4 – зв'язувальний підклад; 5 – площина зрізу;
 б – зовнішній вигляд зразка

Для дослідження й вирішення проблеми розглянули різні методи сполучення суміжних елементів:

- неармована зона контакту елементів;
- неармована зона контакту із застосуванням промазок для підвищення адгезії;
- нагельне з'єднання суміжних елементів;

- комбіноване з'єднання елементів з різного бетону [7].

Експериментальні дослідження проводили в лабораторних умовах ЛНАУ. Міцність бетону визначали стисканням стандартних кубів і циліндрів. Дослідженню піддавались бетонні зразки. Для покращання зчеплення поверхню, яка вступала в сумісну роботу з монолітним бетоном у зразках, обробляли емульсією Koster SB-Haftemulsion та розчином Koster KB-Gret AC. Зразки досліджували на зсув, для додаткового зчеплення встановлювали металеві анкери $\varnothing 5$ мм (довжиною анкерування $5d$) [7; 10].

У проведених дослідженнях використали матеріали Koster KB-Gret AC (мінеральний розчин РСС для антикорозійного захисту армування та зчпного шару, адгезія не менше ніж $1,5 \text{ МПа}$) і Koster SB-Haftemulsion (полімерна емульсія для влаштування з'єднувальних шарів).

Зразки на зсув випробовували на 60-й день. Результати досліджень зразків подано в таблиці, де використано такі позначення: зліва направо С – клас бетону матриці за міцністю на стиск за стандартними кубами, МПа; С* – клас ремонтного бетону за міцністю на стиск за стандартними кубами, МПа; SB-KosterSBHaftemulsion – з'єднувальна емульсія; KB-Koster KB-GretAC – з'єднувальний мінеральний розчин; анкер – кількість вклеєних анкерів $\varnothing 5 \text{ A240}$; прокл. – два шари поліетилену 1-2-порядковий номер зразка. Результати розрахункових значень на зсув згідно з методикою, запропонованою А. Голишевим, подано в таблиці [3].

Таблиця

Розрахункові й дослідні значення міцності контактних швів на зсув

№ з/п	Шифр зразка	Міцність бетону (матриці), f_{ck} , МПа	Міцність ремонтного бетону f_{ck} , МПа	Міцність на зсув, МПа		Розр. Досл.
				Розр.	Досл.	
1	C25+C*31-1	18,55	22,8	2,16	2,14	1,01
2	C25+C*31-2	18,55	22,8	2,16	2,28	0,95
3	C40+C*25-1	28,8	18,55	2,16	2,35	0,92
4	C40+C*25-2	28,8	18,55	2,16	2,38	0,91
5	C25+SB+C*31-1	18,55	22,8	2,16	2,92	0,74
6	C25+SB+C*31-2	18,55	22,8	2,16	2,98	0,72
7	C25+AC+C*31-1	18,55	22,8	2,16	2,85	0,76
8	C25+AC+C*31-2	18,55	22,8	2,16	2,90	0,74
9	C27+C*30-1	19,9	22,4	2,31	2,38	0,97
10	C27+C*30-2	19,9	22,4	2,31	2,35	0,98
11	C27+6 анкер+ прокл.+C*30-1	19,9	22,4	1,63	1,60	1,02
12	C27+6 анкер+ прокл.+C*30-2	19,9	22,4	1,63	1,68	0,97
13	C27+6 анкер+ C*30-1	19,9	22,4	3,94	3,06	1,29
14	C27+ 6 анкер+ C*30-2	19,9	22,4	3,94	3,12	1,26

Аналіз результатів досліджень, поданих у таблиці, доводить, що міцність на зсув зазначених зразків зростає у дослідних зразках бетону з більшою міцністю на стиск (С25 і С40, зразки № 1, 2 і 3, 4). Приріст міцності на зсув за обробки зразків з'єднувальними емульсіями й ремонтними розчинами зростає до 23% (зразки № 1–4 і 5–8), а також збільшується розбіжність між дослідними й розрахунковими величинами до 26 %.

Використання анкерів збільшує міцність зчеплення (зразки 13, 14), але приріст в експериментальних значеннях не відображає суми складових зчеплення шарів (зразки № 9, 10) та анкерів (зразки № 11, 12) розбіжність сягає 22% [7].

Висновки. Зразки із вклеєними тонкими анкерами працювали не сумісно з різними контактними поверхнями (змінали бетон і деформувались). Тому це явище, а також розбіжність дослідних даних із розрахунковими, необхідно враховувати в подальших дослідженнях.

Бібліографічний список

1. Валовой О. І., Попруга Д. В. Міцність контактних швів підсиленних залізобетонних конструкцій. *Дороги і мости* : зб. наук. пр. 2009. Київ: ДерждорНДІ, 2009. Вип. 11. С. 57–64.
2. Валовой О. І., Герб П. І. Дослідження роботи контактної шва при підсиленні залізобетонних конструкцій методом приклеювання. *Вісник Криворізького національного університету*. 2016. Вип. 43. С. 34–38.
3. Гольшев А. Б., Кривошеев П. І., Козелецький П. М. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований. Київ: Логос, 2004. 219 с.
4. Єрмоєнко О. Ю. Ефективність варіантів підсилення залізобетонних елементів, що працюють на згин: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.23.01. Київ, 2006. 19 с.
5. Калитуха В. В., Иванов А. А. Выбор схемы испытаний составных бетонных конструкций для определения прочности контактного шва. *Електронний збірник трудов молодих спеціалістів Полоцького державного університету*. 2016. Вип. 14(84). С. 158–160.
6. Калитуха В. В. Прочность контактного шва бетонных составных конструкций, модифицированных гиперпластификатором СТАХЕМЕНТ-2000. *Електронний збірник трудов молодих спеціалістів Полоцького державного університету*. 2012. Вип. 14(84). С. 161–163.
7. 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 і практика будівництва*. 2013. № 755. С. 249–254.
8. Попруга Д. В., Валовой М. А. Ефективні матеріали для підсилення залізобетонних конструкцій. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. пр. 2008. Вип. 17. Рівне: НУВГП, 2008. С. 7–13.
9. Рожко В. Н. Обстеження та реконструкція консервного цеху ТОВ «Куп'янський молочноконсервний комбінат». *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 61. С. 365–370.
10. Салійчук Л. В., Кваша В. Г. Застосування клеєстержневих анкерів при реконструкції мостів. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 9. С. 220–227.
11. Скворцов А. Г. Сопротивление контактных швов железобетонных конструкций при действии сдвигающих сил: автор. дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Москва, 2000. 23 с.
12. Semiha K., Delvin S. Shear Stiffness and Capacity of Joints Between Precast Wall Elements, Kaya, Salim 2017 Royal Institute of Technology (KTH) Department of Civil and Architectural Engineering Division of Concrete Structures Stockholm, Sweden, 2017.

Стаття надійшла 24.01.2020