

**ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ
НАРОЩЕННЯМ ПЕРЕРІЗУ: СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

**STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE SLABS BY CROSS-
SECTION ENLARGEMENT: CURRENT STATE AND PERSPECTIVES**

Іванейко М. М., аспірант <https://orcid.org/0000-0002-5390-0446>
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), **Хміль Р. С., д.т.н., професор** <https://orcid.org/0000-0001-7578-8750> (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), **Бліхарський З. Я., д.т.н., професор** <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405> (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Ivaneiko M.M., PhD student, (Lviv Polytechnic National University, Lviv), **Khmil R. Ye., Doctor of Technical Sciences, Professor**, <https://orcid.org/0000-0001-7578-8750> (Lviv Polytechnic National University, Lviv), **Blikharskyi Z. Ya. Doctor of Technical Sciences, Professor**, <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405> (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

У статті досліджено ефективність підсилення залізобетонних плит перекриття шляхом нарощення поперечного перерізу. Розглянуто різні аспекти цього методу, включаючи вплив товщини нового шару, застосування анкерів зсуву та взаємодію старого й нового бетону. Надано рекомендації для подальших досліджень, спрямованих на підвищення ефективності та надійності таких конструкцій.

The article researches the strengthening of reinforced concrete floor slabs through cross-section enlargement. Various aspects (the impact of the thickness of the additional concrete layer, the use of shear connectors) of this method are considered, , The overall methods effectiveness for increasing the load-bearing capacity and deformability of the slabs are analyzed. The primary focus is on the analyzing the results of previous studies. The article highlights the benefits of using cross-section enlargement as a strengthening technique, especially in cases where other methods may be constrained by spatial or economic limitations. The article emphasizes the critical importance of bonding quality between old and new concrete layers in the process of strengthening reinforced concrete slabs. Achieving a strong and durable bond is essential, as poor adhesion can cause the significant reduction of load-bearing capacity and potential structural failures. However, one of the most crucial but underexplored aspects of this strengthening method is the partial

structural failures. However, one of the most crucial but underexplored aspects of this strengthening method is the partial interaction between the layers when the bond is not fully achieved. Current research often neglects scenarios where the old and new concrete layers work together only partially, resulting in complex structural behavior that is difficult to predict. Recommendations for further research are provided. e Comprehensive experimental studies to determine influence of the real parameters on the method effectiveness is necessary. This research aims to fill existing knowledge gaps and provide practical guidelines for engineers to apply this technique more effectively in future construction and reconstruction projects.

Ключові слова: підсилення, плита, нарощення, міцність, зчеплення, переріз, залізобетон, реконструкція.
strengthening, slab, increase, bearing capacity, bonding, cross-section, reinforced concrete (RC), reconstruction.

Вступ. Залізобетонні плити перекриття є важливими елементами сучасних будівельних конструкцій, забезпечуючи їхню стійкість і здатність витримувати значні експлуатаційні навантаження. Часто в процесі експлуатації будівель та споруд виникає потреба в зміні функціонального призначення. Із зміною функціонального призначення можливе збільшення навантажень на перекриття і відповідно виникає потреба в їх посиленні. Часто плити за час тривалої експлуатації отримують значні корозійні чи експлуатаційні пошкодження, що також викликає необхідність їх підсилення для відновлення проектної несучої здатності.

Методи підсилення залізобетонних плит можуть включати використання додаткової арматури, зовнішнє напруження, а також застосування композитних матеріалів або нарощення перерізу [1,2]. Метод нарощування перерізу дозволяє інженерам збільшувати міцність та несучу здатність плит шляхом додавання нового шару бетону або інших підсилюючих матеріалів. Крім цього таким методом можна змінити існуюче перекриття новим, використовуючи нижнє перекриття як опалубку. Цей метод потребує хорошого зчеплення між старим і новим бетоном, задовольняти вимоги [3,4,5], а також точний збір навантажень, які новий переріз здатний забезпечити. Нарощування перерізу може бути особливо корисним у випадках, коли інші методи недоступні через обмеження в просторі (влаштуванням додаткових розвантажувальних конструкцій) або коли інші рішення (застосування сучасних композитних матеріалів) виявляються економічно дорогими.

Враховуючи, що посилення цим методом не складно технологічно виконувати, проте фактично складно забезпечити повноцінну сумісну роботу шарів плити після підсилення, а також для нових будівель інколи виникає потреба в посиленні монолітних безригельних каркасів внаслідок окремих помилок проектування чи будівництва, залишається необхідність у подальших наукових дослідженнях для визначення оптимальних параметрів підсилення та прогнозування довгострокової поведінки таких конструкцій..

Мета роботи – провести огляд літературних джерел щодо підсилення залізобетонних плит за допомогою нарощення поперечного перерізу. Ми зосередимо увагу на аналізі наукових досліджень, присвячених нарощуванню поперечного перерізу, визначимо ключові виклики та можливості цього методу і намітимо потребу для подальших досліджень, що дозволять ширше його використання та вирішити існуючі проблеми у цій області.

Історичний огляд. На сьогоднішній день підсилення залізобетонних конструкцій набуло значної актуальності. При цьому, проектування підсилення вимагає значно більше зусиль порівняно з проектуванням нових будівель. Це пов'язано з тим, що кожен проект має свої специфічні вимоги, які необхідно враховувати, а також з браком достатньої чіткості нормативних документів у галузі розрахунку підсиленних конструкцій. У 1919 році інженер Струве Б. А. реалізував першу спробу підсилення залізобетонної конструкції, використовуючи обойми з додатковою арматурою. Цей підхід збільшив міцність залізобетону, заклавши основу для подальших інновацій у цій галузі [6].

Науковцями ЦНІМПС [7] у 1933-1935 роках розробили методи вивчення адгезії між новим і старим бетоном. Їхні дослідження включали використання спеціальних добавок для покращення зчеплення між бетонними шарами. Ці методи були спрямовані на підвищення міцності та довговічності залізобетонних конструкцій при ремонті та реконструкції. У 1937 році наукові дослідження М.М. Литвинова [8] були розпочаті у Українському науково-дослідницькому інституті будівельних конструкцій. Згодом, у 1938 році, у лабораторії ЛНІМС було проведено значну кількість експериментів, які досліджували метод підсилення залізобетонних конструкцій одностороннім нарощенням із додаванням арматури. Наукові колективи різних дослідницьких інститутів та університетів активно розвивали методи підсилення залізобетонних конструкцій, включаючи плити перекриття. Значний внесок у цю галузь зробили науковці з Харківського інженерно-будівельного інституту [9] та

Львівської політехніки [10,11], які досягли значних результатів у цій області. Окремі дослідники, такі як Валовой [12], Голишев [13], Клименко, Є. В. [14] також зробили вагомий внесок у дослідження та розробку методів підсилення.

У практиці підсилення залізобетонних плит, зміна функціонального призначення конструкції без належного посилення може призвести до катастрофічних наслідків. Прикладом є обвалення будівлі торгового центру Сампун [15], де початково п'ятий поверх був запроєктований під роллердром з розрахунковим навантаженням 1040 кг/м^2 . Однак, після зміни функціонального призначення, навантаження зросло на 50%. Через відсутність належного підсилення несучих конструкцій це спричинило руйнування (рис. 1,2).



Рис 1 Будівля торгового центру до руйнування, Сеул, Південна Корея



Рис 2 Будівля торгового центру після руйнування

На відміну від подій у Сеулі, ситуація з будівлею Visconde de Alvalade [16], не призвела до серйозних наслідків завдяки своєчасному підсиленню. Виявлені тріщини навколо колон вказували на ослаблення конструкції, але додатковий шар бетону з відповідним армуванням дозволив зміцнити плити і запобігти подальшому руйнуванню (рис. 3-4).



Рис 3 Будівля Visconde de Alvalade, Лісабон, Португалія

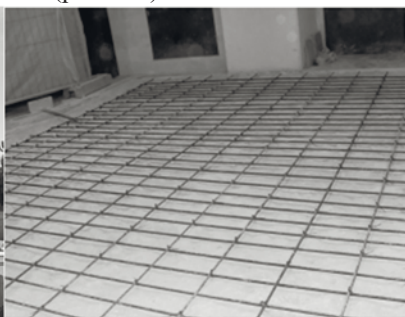


Рис 4 Процес підсилення нарощенням перерізу плити

Отже, підсилення залізобетонних плит нарощенням перерізу бетоном є ефективним методом, що дозволяє відновлювати та підвищувати несучу здатність плит. Однак при зміні функціонального призначення будівель, особливо за умов збільшення навантажень, виникає потреба у більш глибокому дослідженні конструкцій, підсилених за цим методу. Необхідно враховувати не лише взаємодію нового шару бетону зі старим, а й вплив змінених навантажень на поведінку всієї конструкції. Подальші дослідження у цьому напрямку допоможуть розробити більш точні рекомендації щодо застосування нарощення перерізу для забезпечення необхідної несучої здатності та безпеки плит перекриття в умовах нових експлуатаційних вимог, зокрема при значних змінах навантажень.

Експериментальні дослідження. Як описано вище, підсилення залізобетонних плит шляхом нарощення поперечного перерізу бетоном є одним із ефективних методів підвищення несучої здатності та жорсткості. Для глибшого розуміння механізмів роботи таких підсилених конструкцій та оптимізації технології їх виконання було проведено низку експериментальних досліджень.

Згідно з дослідженням, проведеному Sayan Sirimontree [17] та співавторами, було досліджено підсилення залізобетонних плит шляхом нарощення перерізу бетонним шаром 5 см, 10 см, 15 см, використовуючи або не використовуючи анкери зсуву. Використання анкерів зсуву дозволило підвищити міцність плити на 1,2–1,9 рази в порівнянні з контрольним зразком, причому найбільший приріст був досягнутий при товщині накладного шару 100 мм. Однак, при відсутності з'єднувачів спостерігалися руйнування зсуву через велике навантаження на контактну поверхню (рис. 5-6). Це підкреслює важливість забезпечення належного зчеплення між шарами бетону.



Рис. 5 Процес нарощення перерізу плити

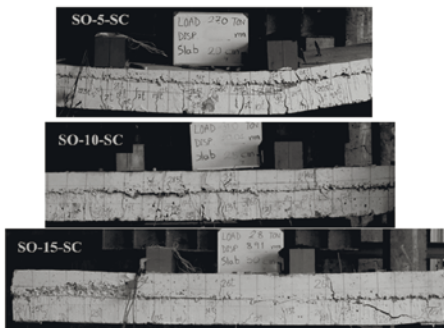


Рис. 6 Руйнування дослідних зразків

У дослідженні, проведене Samih Jada та Mohamed Ziara [18], для забезпечення надійного зчеплення між старою плитою та новим шаром бетону також використовувалися анкерні з'єднувачі довжиною 80 мм і діаметром 8 мм. Ці анкери запобігали зсуву шарів, забезпечуючи спільну роботу плити під навантаженням. Завдяки такому підсиленню несуча здатність плити збільшилась до 310%, що підтверджує ефективність цього методу підвищенням міцності і жорсткості конструкцій, особливо для підсилення мостових плит. Але у цих роботах для підсилення використовується лише додатковий шар бетону без додаткової робочої арматури у ньому.

D. Čereš та K. Gajdošová [19], підсилювали плоскі залізобетонні плити шляхом нарощення поперечного перерізу без анкерів зсуву. В ході дослідження було розглянуто вплив різних товщин додаткового шару (50 мм, 100 мм, 150 мм) та різних діаметрів анкерів (8 мм, 12 мм, 16 мм) на несучу здатність плит (рис. 7-8). Дослідження показали, що збільшення товщини плити та застосування більшої арматури значно підвищують стійкість плит. Порівняння результатів за моделями Eurocode 2 [20] та Model Code 2010 [21] показало суттєві відмінності, особливо при збільшенні товщини нового бетонного шару. Eurocode 2 враховує опір зсуву плити через коефіцієнт армування та товщину, за умови ідеального зчеплення між старою плитою і новим шаром бетону. Натомість, Model Code 2010, базуючись на теорії критичної тріщини зсуву, враховує деформацію плити, що робить його підхід складнішим.

Дослідження [22], зосереджене на чисельному моделюванні залізобетонних плит, підсиленних високоміцним бетоном. Основною задачею було оцінити вплив між старим залізобетоном і новим, а також наявних тріщин у нижній плиті на результати підсилення. Для цього використовували два підходи до моделювання: за нормами AASHTO [23], які враховують як адгезію, так і тертя між шарами бетону, та за нормами ACI [24], які враховують тільки тертя. Було розроблено модель скінченних елементів, що враховувала наявні тріщини в старій плиті та стик між старим бетоном і новим. Розрахунки за нормами AASHTO, які враховували міцність адгезії на рівні 1,65 МПа для шорсткої поверхні та коефіцієнт тертя 1,0, показали кращу відповідність експериментальним даним. Несуча здатність плит з нарощенням 50 мм досягала 1301 кН, а для плит із товщиною 70 мм – 2107 кН. Водночас розрахунки за нормами ACI, які не враховували адгезію, систематично недооцінювали несучу здатність конструкцій, що призвело до занижених результатів у порівнянні з експериментом. Під час дослідження було встановлено, що наявність

тріщин у старій плиті знижує несучу здатність від 4,5% до 28,5%, залежно від товщини нарощення.

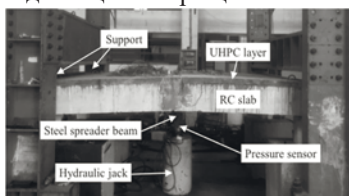


Рис.7 Схема випробувального зразка

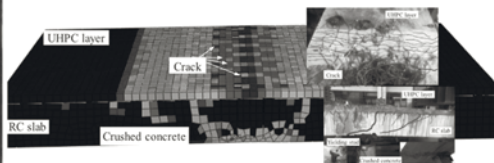


Рис. 8 Схема деформування плити

Дослідження, проведене Amged O. Abdelatif та Abubakr A. Wahab [25], було зосереджене на підсиленні балочних залізобетонних плит. В експерименті використовувалися чотири різні системи зчеплення між новим і старим бетоном: без використання адгезивних матеріалів, з використанням епоксидної смоли, з використанням анкерів зсуву та анкерів зсуву з додатковим армуванням у верхньому шарі плити. Результати показали, що всі підсилені плити демонстрували значне підвищення несучої здатності та зменшення деформацій. Зокрема, підсилення за допомогою анкерів зсуву і епоксидної смоли призвело до збільшення несучої здатності до 400%, а також забезпечило попередження про настання не крихкого руйнування через утворення великих і глибоких тріщин. Випробування показали, що використання армованого накладного шару є ефективним методом підсилення, який простий у виконанні та не потребує спеціалізованої робочої сили.

У дослідженні Канкері та Прашаса [26], було досліджено кілька методів підсилення порожнистих плит перекриття, включаючи використання бетонного нарощення (рис. 9,10). Перед нанесенням додаткового шару бетону товщиною 50 мм на верхню поверхню плити очистили від пилу та сміття, а також створили шорсткість для покращення зчеплення. Для забезпечення повної композитної дії між старим і новим бетоном у плиті були встановлені анкери зсуву, які розміщувалися з кроком 300x250 мм. Результати експериментів показали, що таке підсилення збільшило несучу здатність плити у середньому на 59,2%. Крім того, застосування анкерів зсуву запобігло відшаруванню бетонного нарощення від основної плити, що дозволило забезпечити надійне зчеплення та повну композитну дію між шарами. Підсилені таким чином плити також показали зниження прогинів. У дослідженні розглядається лише короткотривалі навантаження не враховуючи вплив тривалих навантажень.

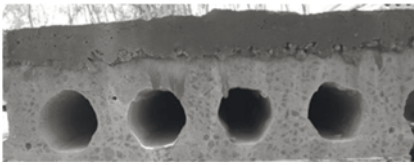


Рис.9 Схема нарощення плити

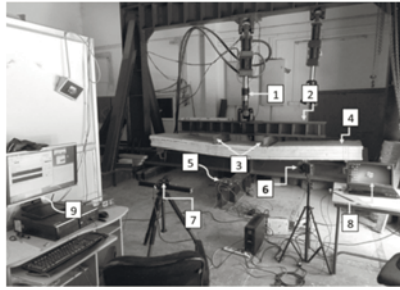


Рис. 10 Схема дослідного зразка

У дослідженні Крамарчука та Ільницького [27], було розглянуто підсилення залізобетонної плити, пошкодженої через неякісний склад бетонної суміші, що призвів до утворення усадочних тріщин. Для забезпечення подальшої безпечної експлуатації плити було запропоновано збільшити її товщину на 80 мм і виконати додаткове армування основною та додатковою арматурою. Особливу увагу було приділено забезпеченню належного зчеплення між існуючим бетоном плити та новим шаром за допомогою спеціальної склеювальної речовини типу MasterBrace ADH 1420 та анкерів, встановлених у шахматному порядку. Це підсилення дозволило значно підвищити жорсткість та несучу здатність плити. Незважаючи на значне практичне значення дослідження, у роботі не розписано чіткої методики прийнятого теоретичного розрахунку підсилених плит.

Експериментальними дослідженнями підсилення залізобетонних плит нарощенням перерізу бетоном також займались дослідники з Лісабонського університету [28,29], університету Архітектури, цивільної інженерії та геодезії у Болгарії [30], Інженерного факультету університету Газі у Туреччині [31] та інші.

Ці та вище розглянуті експериментальні дослідження демонструють можливість суттєвого підвищення несучої здатності плит шляхом збільшення їх поперечного перерізу залізобетонних плит. У більшості досліджень йдеться про заходи забезпечення ефективного зчеплення між старим і новим бетоном, але не згадано питання, що відбувається, коли ідеального зчеплення між старим і новим шарами бетону не досягнуто, і плити не працюють як єдиний елемент, що досить часто трапляється в умовах реального будівництва. Зокрема, потребує подальшого дослідження, як в таких умовах існуюча нижня плита впливає на несучу здатність верхньої, і як визначити їх внесок у несучу здатність підсиленої

двошарової плити.. Особливо коли кожен шар підсиленої плити є несучим та містить робочу арматуру.

Висновки. Підсилення залізобетонних плит перекриття шляхом нарощування поперечного перерізу бетоном дозволяє значно підвищити несучу здатність, довговічність та надійність. Дослідження показують, що важливими чинниками є товщина та клас бетону нарощення, а також анкери зсуву та адгезивні матеріали, які впливають на ступінь сумісної роботи плит. Важливою залишається необхідність подальших досліджень, коли з різних причин, наприклад неякісного виконання підрядником, зчеплення між шарами не вдається забезпечити повністю а лише частково. Застосування цього методу є актуальним для реконструкції існуючих будівель і споруд, де інші підходи можуть бути економічно недоцільними або технологічно складними. Подальші дослідження з акцентом на фактичний стан взаємодії між старим і новим бетоном, яка не завжди є повноцінною, дозволять запропонувати використання даного методу з більшою ефективністю та забезпечити його надійність в дійсних умовах експлуатації.

1. Бондаренко С. В., Санжаровський Р. С. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий. М.: Стройиздат, 1990. 250 с.

Bondarenko S. V., Sanzharovskyi R. S. Usylenye zhelezobetonnykh konstruktsiyi pry rekonstruktsyyi zdanyi. M.: Stroiizdat, 1990. 250 s.

2. Гольшев А. Б., Ткаченко И. Н. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. К.: Логос, 2001. 172 с.

Holyshev A. B., Tkachenko Y. N. Proektyrovanye usyleniy nesushchykh zhelezobetonnykh konstruktsiyi proyvodstvennykh zdanyi y sooruzheniy. K.: Lohos, 2001. 172 s.

3. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинні від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2016. 32 с.

DSTU B V.3.1-2:2016. Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnnykh konstruktsiyi ta osnov budivel i sporud. [Chynni vid 2017-04-01]. Vyd. ofits. Kyiv: DP «Derzhavnyi naukovo-doslidnyi instytut budivelnnykh konstruktsiyi», 2016. 32 s.

4. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 166 с.

DSTU B V.2.6-156:2010. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi z vazhkooho betonu. Pravyla proektuvannia. [Chynnyi vid 2011-07-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 2010. 166 s.

5. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинні від 2011-06-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с. (Конструкції будинків і споруд).

DBN V.2.6-98:2009. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia. [Chynni vid 2011-06-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 71 s. (Konstruksii budynkiv i sporud).

6. Онуфриев Н. М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. М.–Л.: Стройиздат, 1965.

Onufriyev N. M. Usylenye zhelezobetonnykh konstruksiyi promyshlennykh zdaniy y sooruzheniy. M.–L.: Stroyizdat, 1965.

7. Гвоздев А. А. Восстановление железобетонных сооружений и конструкций // В кн.: Материалы технической конференции з відновлювального будівництва. 1944.

Hvozdev A. A. Vosstanovlenye zhelezobetonnykh sooruzheniy y konstruksiyi // V kn.: Materialy tekhnichnoi konferentsii z vidnovliuvalnoho budivnytstva. 1944.

8. Литвинов И. М. Усиление и восстановление железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1942.

Lytvynov Y. M. Usylenye y vosstanovlenye zhelezobetonnykh konstruksiyi. M.: Stroyizdat, 1942.

9. Рекомендації по забезпеченню надійності та довговічності залізобетонних конструкцій промислових будівель і споруд при їх реконструкції та відновленні. Харків: ПромстройНИИпроект. М.: Стройиздат, 1990. 176 с.

Rekomendatsii po zabezpechenniu nadiinosti ta dovhovichnosti zalizobetonnykh konstruksii promyslovykh budivel i sporud pry yikh rekonstruksii ta vidnovlenni. Kharkiv: PromstroinYUproekt. M.: Stroyizdat, 1990. 176 s.

10. Бліхарський З. Я. Реконструкція та підсилення будівель та споруд: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. 108 с.

Blikharskyi Z. Ya. Rekonstruksiia ta pidsylennia budivel ta sporud: navch. posibnyk. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2008. 108 s.

11. Іваник І. Г., Віхоть С. І., Пожар Р. С. та ін. Основи реконструкції будівель і споруд: навч. посіб. / за ред. І. Г. Іваника; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. 268 с.

Ivanyk I. H., Vikhot S. I., Pozhar R. S. ta in. Osnovy rekonstruksii budivel i sporud: navch. posib. / za red. I. H. Ivanyka; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. un-t «Lviv. politekhnika». Lviv: Vyd-vo Lviv. politekhniki, 2018. 268 s.

12. Валовой О. І. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд. Кривий Ріг: Мінерал, 2003. 270 с.

Valovoi O. I. Efektyvni metody rekonstruksii promyslovykh budivel ta inzhenernykh sporud. Kryvyi Rih: Mineral, 2003. 270 s.

13. Гольшев А. Б., Ткаченко И. Н. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. К.: Логос, 2001. 172 с.

Holyshev A. B., Tkachenko Y. N. Proektyrovanye usyleniy nesushchykh zhelezobetonnykh konstruksiyi proyzvodstvennykh zdaniy y sooruzheniy. K.: Lohos, 2001. 172 s.

14. Клименко Є. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд. 2004.

Klymenko Ye. V. Tekhnichna ekspluatatsiia ta rekonstruksiia budivel i sporud. 2004.

15. Park T. W. *Inspection of collapse cause of Sampoong Department Store*. Forensic Science International, 2012, 217(1-3), 119-126.

16. Fernandes H. D. P. *Strengthening of flat slabs with reinforced concrete overlay – Analysis and development of the solution*: Doctoral dissertation. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal), 2019.

17. Sirimontree S., Witchayangkoon B., Lertpocasombut K., Sornchomkaew P. *Strengthening of Reinforced Concrete Slab by Concrete Overlay*. Manzar-the Scientific Journal of Landscape, 2018, 10(44), 60-67.

18. Ziara M., Jada S. *Repair and Strengthening of Slabs Using Bonded Concrete Overlays*. IABSE Reports, 1998, 373-374.

19. Čereš D., Gajdošová K. *Strengthening flat slabs without shear reinforcement against punching shear by concrete overlay*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, Vol. 1209, No. 1, p. 012056. IOP Publishing.

20. Єврокод 2. *Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд* (EN 1992-1-1:2004, IDT): ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Вид. офіц. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2012. VIII, 156 с. (Національний стандарт України).

20. Еврокод 2. *Proektuvannia zalizobetonnykh konstruksii. Chastyna 1-1. Zahalnyi pravyla i pravyla dlia sporud* (EN 1992-1-1:2004, IDT): DSTU-N B EN 1992-1-1:2010. Vyd. ofits. Kyiv: DP «Ukrarkhbudinform», 2012. VIII, 156 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).

21. Fédération Internationale du Béton (fib). *Model Code, final draft. Fédération internationale du béton*, Bulletin 65 vol. 1. Lausanne, 2010. 350 p.

22. Zhu Y., Zhang Y., Hussein H. H., Chen G. *Numerical modeling for damaged reinforced concrete slab strengthened by ultra-high performance concrete (UHPC) layer*. Engineering Structures, 2020, 209, 110031.

23. American Association of State Highway and Transportation Officials. *Load and resistance factor design* (AASHTO, LRFD). Bridge design specifications. 8th Ed. Washington, DC: AASHTO, 2017. 973 p.

24. ACI Committee 318. *Building code requirements for structural concrete* (ACI 318M-08) and commentary. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2011. 473 p.

25. Abdelatif A. O., Wahab A. A. *Flexural strengthening of one-way slabs using concrete overlay*. Sudan Eng. Soc., 2016, 62, 17-21.

26. Kankeri P., Prakash S. S. *Efficient hybrid strengthening for precast hollow core slabs at low and high shear span to depth ratios*. Composite Structures, 2017, 170, 202-214.

27. Крамарчук А., Льницький Б., Копійка Н. *Виведення із аварійного стану монолітної залізобетонної плити перекриття, пошкодженої наскрізними тріщинами*. Institute of Civil Engineering and Building System, Lviv Polytechnic National University, 2021.

Kramarchuk A., Ilnytskyi B., Kopyika N. *Vyvedennia iz avariinoho stanu monolitnoi zalizobetonnoi plyty perekryttia, poshkodzhenoi naskriznymy trishchynamy*. Institute of Civil Engineering and Building System, Lviv Polytechnic National University, 2021.

28. Fernandes H., Lúcio V., Ramos A. *Strengthening of RC slabs with reinforced concrete overlay on the tensile face*. Engineering Structures, 2017, 132, 540-550.

29. Fernandes H., Lúcio V., Ramos A. *Strengthening of concrete flat slabs with an overlaid reinforced concrete layer*. In Proceedings of the 14th Fib Symposium, Performance-Based Approaches for Concrete Structures, Cape Town, South Africa, 2016, pp. 21-23.

30. Chardakova T., Traykova M. *Comparison of the sustainability of different techniques for the strengthening of reinforced concrete slabs*. Keeping Up with Technologies to Make Healthy Places, 2015.

31. Aykac S., Kalkan I., Tankut T. *Flexural strengthening and repair of RC slabs by adding a new RC layer*. Structural Concrete, 2016, 17(5), 896-909.