

## АНОТАЦІЯ

*Шарикіна Н. В.* Технологія відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України. Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню задачі відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій, у тому числі і на нижніх поверхнях пролітних конструкцій, яка вирішується шляхом формування високорухливої ремонтної суміші в опалубку конструкцію.

У проаналізованих наукових працях здебільшого розглянуті способи ремонту захисних шарів залізобетонних конструкцій горизонтальних (підлогових) та вертикальних (бокових) поверхонь. При цьому відновлення нижніх поверхонь пролітних конструкцій пропонується виконувати торкретуванням, ручним нанесенням ремонтних сумішей або вкладанням суміші в опалубку. Слід зазначити, що при торкретуванні відбувається перевитрата ремонтної суміші у наслідок відскоку, тому таким способом неможливо виконувати роботи в приміщеннях з обладнанням, при ремонті надводних споруд та на конструкціях з обмеженим доступом. При цьому технологія відновлення захисного шару вручну є трудомісткою, через що збільшує тривалість та вартість виконання ремонтних робіт. В свою чергу дослідження, направлені на відновлення захисних шарів формуванням суміші в опалубку, фактично відсутні, а досвід використання такої технології саме для відновлення нижніх поверхонь пролітних конструкцій налічується поодинокими прикладами.

З аналізу наукової літератури стало відомо, що комплексного дослідження з виявлення впливу технологічних чинників, що виникають в процесі виконання ремонтно-відновлювальних робіт на проектні параметри відремонтованих конструкцій не проводилося. А отже, дана робота спрямована на вирішення актуальної наукової задачі, результати якої дадуть можливість сформулювати

науково-обґрунтовану технологію відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій.

Окремої уваги потребують дослідження таких визначальних техніко-економічних показників для остаточного прийняття конкретної технології як: трудомісткість, вартість та тривалість ремонтних робіт. Завершальною задачею, яку передбачено виконати у межах даної роботи, є впровадження результатів досліджень, тобто досліджену технологію, в будівельну практику.

У **вступі** обґрунтовано актуальність напрямку наукового дослідження, сформульовано мету і основні завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** розглянуто передумови актуальності дослідження технології відновлення захисного шару способом формування ремонтного розчину в опалубку.

За напрямком наукової роботи та для виявлення обґрунтованих результатів наукових досліджень було проаналізовано відомі технології ремонту залізобетонних конструкцій і визначено їх переваги та недоліки. Аналіз науково-технічної літератури показав, що проблема ремонту залізобетонних конструкцій залишається відкритою, оскільки ефективні способи відновлення мають високі техніко-економічні показники, а технології відновлення нижніх поверхонь горизонтальних конструкцій майже відсутні.

Також виявлено та класифіковано основні чинники, що погіршують стан залізобетонних конструкцій. До них відносяться: хімічні, фізичні та механічні, що впливають на зовнішній вигляд конструкцій та погіршують їх проєктні параметри.

Виявлено технологічні чинники, що можуть впливати на проєктні параметри відновлених залізобетонних конструкцій та формувати технологію виконання робіт. До них відносяться: стан основи відновлюваної конструкції; спосіб нанесення ремонтних матеріалів; положення ремонтної поверхні відносно лінії горизонту; умови твердіння ремонтного розчину; ущільнення ремонтного

матеріалу при влаштуванні контактного шару; час витримування між нанесенням та його товщина; вологість відновлюваної поверхні; температура навколишнього середовища при виконанні ремонтних робіт.

У **другому розділі** дисертаційної роботи виконано аналітичне дослідження, спрямоване на визначення важливості технологічних чинників, які мають найбільший вплив на проєктні параметри відновлених частин залізобетонних конструкцій. Розроблено загальну методику досліджень за обраним науковим напрямком, яка базується на теоретичних дослідженнях, спрямованих на виявлення технологічних чинників, що виникають в процесі ремонтно-відновлювальних робіт та експериментальних дослідженнях, спрямованих на виявлення залежностей впливу таких чинників на проєктні параметри відновленої конструкції. В результаті на основі отриманих теоретичних та експериментальних досліджень передбачено запропонувати науково-обґрунтовану технологію відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій.

У **третьому розділі** представлено методику експериментальних досліджень, відповідно до якої поетапно виконувалася дослідницька робота з виявлення впливу технологічних чинників на проєктні параметри відновленої конструкції. Такі дослідження розділено на чотири етапи.

На *першому етапі* експериментальних досліджень визначено, як рухливість ремонтної суміші впливає на якість наповнення опалубної конструкції при відновленні та міцність зчеплення ремонтного шару з основою. Дослідження проводили з сумішами різної рухливості, а саме з розпливом конуса (РК): РК – 30-35 см, РК – 45-45 см, та РК – 55-60 см. Серії бетонних зразків відновлювали по трьох поверхнях (зверху, збоку та знизу). За результатами досліджень з'ясувалося, що якісно заповнює порожнину опалубки при відновленні нижніх поверхонь пролітних конструкцій лише суміш з розпливом конуса – 55-60 см.

Також перший етап експериментальних досліджень передбачав визначення впливу способу підготовки бетонної поверхні та просторового положення ремонтної ділянки відносно лінії горизонту на міцність зчеплення ремонтного

розчину з відновлюваним бетоном. Відповідно до методики експериментальних досліджень передбачено виконання відновлення зразків п'ятьма серіями, в яких змінювали спосіб підготовки основи.

*Перша серія* підготовки зразків основи полягала в нанесенні на очищену суху поверхню двокомпонентного клею «Ерогір» виробництва ТМ «МАПЕІ» за допомогою щітки, на який через 40 хв вкладали ремонтну суміш.

*Друга серія* з використанням адгезійного шару – двокомпонентного клею «Едмок» виробництва ТОВ «Композит».

*Третя серія* включала нанесення на очищену суху бетонну поверхню одного шару композиції «Консолід 1» виробництва ТОВ «Композит». Через 24 год на поверхню наносили ще один шар композиції «Консолід 2» та через 2 год відновлювали зразки, вкладаючи бетонний розчин в опалубку.

*Четверта серія* підготовки основи – контрольна. Поверхню зразків лише очистили, знепилили та зволожили водою, після чого відновили зразки.

*П'ята серія* підготовки основи полягала у зволоженні водою підготовленої поверхні та влаштуванні зразків в опалубку з подальшим вкладанням модифікованої бетонної суміші.

За результатами даного етапу досліджень визначено пріоритетний напрямок подальших експериментальних досліджень і як ремонтний розчин надалі використано високорухливу модифіковану бетонну суміш.

На *другому етапі* визначали вплив стану підготовки поверхонь бетонних зразків та просторового положення ремонтної поверхні на міцність з'єднання шарів.

Різними серіями досліджень даного етапу досліджень передбачено наступну підготовку основи бетонних зразків: ніяким чином не готували (гладка основа); зачищали кутовою шліфувальною машиною; зачищали та робили по ній насічки (50% від площі) кутовою шліфувальною машиною; механічним способом штучно руйнували.

Всі серії зразків після підготовки поверхонь знепилювали стисненим повітрям, зволожували та проводили відновлення по трьох поверхнях.

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, було встановлено, що підготовка ремонтної основи перед відновленням верхньої горизонтальної поверхні та вертикальної бокової поверхні бетонних зразків при вкладанні на них модифікованої суміші фактично не впливає на проєктні показники відновлених зразків. При відновленні нижніх поверхонь горизонтальних конструкцій найвищий показник міцності зчеплення ремонтного шару з відновлюваною конструкцією спостерігався на зачищеній поверхні. Інші серії зразків мали нижчі показники.

*На третьому етапі експериментальних досліджень* встановили вплив вологості відновлюваної поверхні та тривалості вібрування опалубки при відновленні зразків на трьох поверхнях (зверху, збоку та знизу) на проєктні параметри відновленої конструкції.

При плануванні експерименту було обрано три вологісні стани поверхні, а саме: суха, волога та мокра. Тривалість вібрування опалубки змінювали на трьох рівнях. Відновлені частини зразків після вкладання в опалубку вібрували, прикладаючи до боковиків опалубної конструкції вібраційну шліфувальну машину на 10 – 15 с, 30 – 35 с та 55 – 60 с. В результаті експериментальних досліджень визначено, що найбільша міцність зчеплення ремонтного шару з відновлюваною поверхнею спостерігалась при відновленні вологих бетонних поверхонь. Найгірші результати отримано при відновленні сухих поверхонь. Оптимальною тривалістю вібрування опалубки слід вважати 30 – 35 с. Найвища міцність зчеплення ремонтного розчину з бетонною основою отримана при відновленні верхніх горизонтальних поверхонь, найгірша – при відновленні нижніх горизонтальних поверхонь.

*На четвертому етапі експериментальних досліджень* визначали залежність міцності зчеплення ремонтного шару з основою від його товщини. За планом експериментів зразки відновлювали на нижніх поверхнях, при цьому змінювали товщину відновленого шару, а саме: 1,5 см, 2 см, 3 см, 5 см, та 7 см. Результати дослідів дали змогу визначити, що зі збільшенням товщини ремонтного шару зменшується міцність зчеплення шарів.

Разом з тим проводили дослідження, спрямовані на визначення впливу температури навколишнього середовища на міцність зчеплення шарів конструкції. Для цього проводили відновлення на нижніх поверхнях бетонних зразків при різних температурних режимах: +4 – +7 °С; +20 – +23 °С; +30 – +35 °С. Визначено, що оптимальна температура при виконанні відновлюваних робіт та твердінні ремонтної суміші повинна становити  $20 \pm 2$  °С при відносній вологості повітря  $50 \pm 5$  %.

На завершальному етапі виконано дослідження техніко-економічних показників вдосконаленої технології відновлення та альтернативних технологій ремонту захисного шару нижніх пролітних залізобетонних конструкцій. За результатами таких досліджень встановлено найбільш оптимальну технологію з економічної та технологічної точки зору.

У **четвертому розділі** розроблено та викладено основні положення технології відновлення захисного шару залізобетонних конструкцій способом вкладання ремонтної суміші в опалубку. Технологія полягає у підготовці основи конструкції, монтажі опалубної конструкції, наповненні її ремонтним розчином, розпалубленні та догляді за відновленою поверхнею.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень вдосконалено технологію відновлення захисного шару нижніх поверхонь пролітних залізобетонних конструкцій способом вкладання ремонтної суміші в опалубку через отвори в плитах перекриття, в якій враховано вплив технологічних чинників, що досліджувалися в третьому розділі.

Запропоновану технологію перевірено в напівнатурних та натурних умовах. Виконано відновлення залізобетонних балок в умовах наближених до реальних. В результаті встановлено, що міцність зчеплення ремонтного розчину з основою балки становить 0,88 МПа.

З використанням розроблених в даній роботі теоретичних та практичних положень проведено ремонт щілини на нижній поверхні монолітної плити басейну, що утворилася в процесі бетонування на об'єкті «Торговельний центр в передмісті м. Києва». Також проведено ремонтні роботи з відновлення геометрії

пролітних залізобетонних конструкцій в підземному переході по вул. Лермонтова в м. Кривий Ріг.

**Ключові слова:** залізобетон, захисний шар, відновлення, ремонтний розчин, опалубка, технологічні чинники, міцність зчеплення.

## ABSTRACT

*Sharykina N. V.* Technology of restoration of the protective layer of reinforced concrete structures – qualification scientific work on the rights of a manuscript.

The thesis paper for the degree of Doctor of philosophy in specialty 192 "Construction and civil engineering". – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine. Kyiv, 2023.

The thesis paper is devoted to solving the problem of restoring the protective layer of reinforced concrete structures, including on the lower surfaces of span structures, which is solved by forming a highly mobile repair mixture into a formwork structure.

In the analyzed scientific works, methods of repairing the protective layers of reinforced concrete structures of horizontal (floor) and vertical (side) surfaces are mainly considered. At the same time, it is proposed to restore the lower surfaces of span structures by shotcrete, manual application of repair mixtures, or embedding the mixture in the formwork. It should be noted that shotcrete overspends the repair mixture, as a result of rebound, and in this way it is impossible to perform work in rooms with equipment, when repairing surface structures and on structures with limited access. At the same time, the technology of restoring the protective layer manually is time-consuming, which in turn increases the duration and cost of repair work. In turn, research aimed at restoring protective layers by forming a mixture into the formwork is virtually nonexistent, and the experience of using this technology specifically for restoring the lower surfaces of span structures is a rare example.

From the analysis of scientific literature, it became known that a comprehensive study to identify the influence of technological factors that arise in the process of performing repair and restoration work on the design parameters of repaired structures was not carried out. This means that this work is aimed at solving an urgent scientific

problem, the results of which will make it possible to form a scientifically based technology for restoring the protective layer of reinforced concrete structures.

Special attention should be paid to the study of such defining technical and economic indicators for the final adoption of a particular technology as: labor intensity, cost and duration of repair work. The final task that is planned to be performed within the framework of this work is to introduce the results of research, that is, the studied technology, into construction practice.

In the **introduction** the relevance of the direction of scientific research is substantiated, the purpose and main objectives of the research are formulated, the object and subject of research are determined, the scientific novelty and practical value of the results obtained are revealed.

In **the first section** the prerequisites for the relevance of studying the technology of restoring the protective layer by forming a repair solution into a formwork are considered.

In the direction of scientific work and to identify reasonable results of scientific research, well-known technologies for repairing reinforced concrete structures were analyzed and their advantages and disadvantages were determined. Analysis of scientific and technical literature has shown that the problem of repair of reinforced concrete structures remains open, since effective methods of restoration have high technical and economic indicators, and technologies for restoring the lower surfaces of horizontal structures are almost nonexistent.

The main factors that worsen the condition of reinforced concrete structures are also identified and classified. These include chemical, physical, and mechanical factors that affect the appearance of structures and degrade their design parameters.

Technological factors that can affect the design parameters of restored reinforced concrete structures and shape the technology of work are identified. These include: the condition of the base of the restored structure; the method of applying repair materials; the position of the repair surface relative to the horizon line; the conditions of hardening of the repair solution; compaction of the repair material; when installing the contact



layer, the holding time between application and its thickness; humidity of the restored surface; ambient temperature when performing repair work.

**In the second section** an analytical study aimed at determining the importance of technological factors that have the greatest impact on the design parameters of restored parts of reinforced concrete structures was carried out. A general research methodology for the chosen scientific direction has been developed. Which is based on theoretical studies aimed at identifying technological factors that arise in the process of repair and restoration works and experimental studies aimed at identifying dependencies of the influence of such factors on the design parameters of the restored structure. As a result, based on the obtained theoretical and experimental studies, it is planned to offer a scientifically based technology for restoring the protective layer of reinforced concrete structures.

**In the third section** the methodology of experimental research is presented, according to which research work was carried out in stages to identify the influence of technological factors on the design parameters of the restored structure. Such studies are divided into four stages.

On *the first stage* experimental studies have determined how the mobility of the repair mixture affects the quality of filling the formwork structure during restoration and the strength of adhesion of the repair layer to the base. The study was conducted with mixtures of different mobility, namely, with a cone flow (CF): CF – 30-35 cm, CF – 45-45 cm, and CF – 55-60 cm. A series of concrete samples were restored on three surfaces (top, side, and bottom). According to the results of research, it turned out that only a mixture with a cone flow – 55-60 cm – fills the formwork cavity efficiently when restoring the lower surfaces of span structures.

Also, the first stage of experimental studies provided for determining the influence of the method of preparing the concrete surface and the spatial position of the repair site relative to the horizon line on the adhesion strength of the repair solution to the restored concrete. In accordance with the methodology of experimental studies, it is planned to perform the restoration of samples in five series, in which the method of preparing the base was changed.

*The first series* of preparation of the base samples consisted in applying two-component "Eporip" glue produced by MAPEI TM to the cleaned dry surface using a brush, on which the repair mixture was applied after 40 minutes.

*The second series* was using an adhesive layer – two-component "Edmok" glue produced by "Composite" LLC.

*The third series* included applying one layer of the composition "Consolid 1" produced by "Composite" LLC to the cleaned dry concrete surface. After 24 hours, another layer of the composition "Consolid 2" was applied to the surface, and after 2 hours the samples were restored by putting concrete mortar in the formwork.

*The fourth series* of preparation of the basics is control series. The surface of the samples was only cleaned, dedusted and moistened with water, after which the samples were restored.

*The fifth series* of preparation of the base consisted in moistening the prepared surface with water and placing samples in the formwork, followed by embedding a modified concrete mixture.

Based on the results of this stage of research, the priority direction of further experimental research was determined, and a highly mobile modified concrete mixture was used as a repair solution in the future.

On *the second stage* the influence of the state of preparation of concrete samples' surfaces and the spatial position of the repair surface on the strength of the joint layers was determined.

Various series of studies of this stage of research provides for the following preparation of the base of concrete samples: in no way prepared (smooth base); cleaned with an angle grinder; cleaned and made notches on it (50% of the area) with an angle grinder; mechanically artificially destroyed.

After surface preparation, all series of samples were dedusted with compressed air, moistened, and restored on three surfaces.

Analyzing the results of experimental studies, it was found that the preparation of the repair base before restoring the upper horizontal surface and vertical side surface of concrete samples when laying a modified mixture on them does not actually affect

the design parameters of the restored samples. When restoring the lower surfaces of horizontal structures, the highest adhesion strength of the repair layer to the restored structure was observed on the cleaned surface. Other series of samples had lower rates.

*At the third stage of experimental tests* studies have established the influence of the humidity of the restored surface and the duration of vibration of the formwork during the restoration of samples on three surfaces (top, side and bottom) on the design parameters of the restored structure.

When planning the experiment, three wet surface states were selected, namely: dry, moist and wet. The duration of vibration of the formwork was changed at three levels. The recovered parts of the samples were vibrated after being placed in the formwork by applying a vibration grinder to the sides of the formwork structure for 10 – 15 seconds, 30 – 35 seconds and 55 – 60 seconds. As a result of experimental studies, it was determined that the greatest adhesion strength of the repair layer to the restored surface was observed during the restoration of wet concrete surfaces. The worst results were obtained when restoring dry surfaces. The optimal duration of vibration of the formwork should be considered 30 – 35 seconds. The highest adhesion strength of the repair mortar to the concrete base is obtained when restoring the upper horizontal surfaces, the worst – when restoring the lower horizontal surfaces.

On *the fourth stage* experimental studies have determined the dependence of the adhesion strength of the repair layer to the base on its thickness. According to the experiment plan, the samples were restored on the lower surfaces, while changing the thickness of the restored layer, namely: 1.5 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm, and 7 cm. The results of experiments made it possible to determine that with an increase in the thickness of the repair layer, the adhesion strength of the layers decreases.

At the same time, studies were conducted aimed at determining the effect of ambient temperature on the adhesion strength of structural layers. For this purpose, restoration was carried out on the lower surfaces of concrete samples under various temperature conditions: +4 – +7 °C; +20 – +23 °C; +30 – +35 °C. It is determined that the optimal temperature for performing restoration work and hardening of the repair mixture should be  $20 \pm 2$  °C at a relative humidity of  $50 \pm 5$  %.

At the final stage, a study of the technical and economic indicators of the improved restoration technology and alternative technologies for repairing the protective layer of lower span reinforced concrete structures was carried out. Based on the results of such studies, the most optimal technology has been established from an economic and technological point of view.

In **the fourth chapter** the main provisions of the technology for restoring the protective layer of reinforced concrete structures by embedding the repair mixture in the formwork are developed and described. The technology consists in: preparing the base of the structure, installing the formwork structure, filling it with repair mortar, demoulding and caring for the restored surface.

On the basis of theoretical and experimental studies, the technology of restoring the protective layer of the lower surfaces of span reinforced concrete structures by embedding the repair mixture in the formwork through holes in the floor slabs has been improved, which takes into account the influence of technological factors studied in the third chapter.

The proposed technology was tested in semi-natural and full-scale conditions. Reinforced concrete beams were restored in conditions close to real ones. As a result, it was found that the adhesion strength of the repair solution to the beam base is 0,88 MPa.

Using the theoretical and practical provisions developed in this paper, a gap was repaired on the lower surface of a monolithic pool slab formed during the concreting process at the facility "Shopping centre in the suburbs of Kyiv". Repair work was also carried out to restore the geometry of the span reinforced concrete structures in the underpass on Lermontova Street in Kryvyi Rih.

**Keywords:** reinforced concrete, protective layer, restoration, repair mortar, formwork, technological factors, adhesion strength.