

УДК 624.012.25: 539.386

**БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

**THE SAFETY OPERATION OF BENDING REINFORCED-CONCRETE ELEMENTS, STRENGTHENED BY COMPOSITE MATERIALS**

**Мельник С.В., к.т.н., асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Мельник С.В., к.т.н., асистент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)**

**Melnik S.V., candidate of technical sciences, assistant (National university of water management and nature resources use, Rivne)**

**В статті розглядається проблема забезпечення безпечної експлуатації згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитними матеріалами.**

**В статье рассматривается проблема обеспечения безопасной эксплуатации изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами.**

**The article addresses the problem of ensuring the safe operation of the bending concrete elements reinforced by composite materials. Efficient usage of composite materials based on carbon fibers is not fully researched. In addition, there are no any recommendations for the design of such structures in the current design standards of Ukraine. Composite materials based on carbon fibers of Swiss company Sika (tape Sika Carbodur and canvas Sika Wrap) used the most in Ukraine. Therefore, further experimental data accumulation and analysis of the literature on the subject is topical task.**

**There was performed research of 12 reinforced-concrete beams with dimensions 2000 x 160 x 100 millimeters. During the first research phase was carried out testing of 8 beams without strengthening. Two of them were tested under single load. Other beams were tested under low-cycle loading using different levels. At the next stage was done strengthening of inclined sections of all beams. And then they were tested in the same way as beams without**

strengthening. The research found that such strengthening increases the carrying capacity of the beams at least 35%. But to achieve this is possible only provided enough anchoring of strengthening system. Also was found that the safety using of these structures depend on load mode. Another factor that must be considered to ensure safe operation of bending reinforced-concrete elements strengthened by composite materials is to limit the maximum deformation of the outside transverse reinforcement during the design stage.

**Ключові слова:**

Бетон, армування, балка, підсилення.

Бетон, армирование, балка, усиление.

Concrete, reinforcement, beam, strengthening.

**Фізичне зношення** конструкцій будівель і споруд, а також утворення в них різних пошкоджень та дефектів, призводять до зменшення їх несучої здатності. У зв'язку з цим, виникає необхідність у заміні таких конструкцій або їх підсиленні. Досить часто економічно обґрунтованим визначається саме підсилення будівельних конструкцій.

В більшості випадків, згинальні залізобетонні елементи підсилюють за допомогою збільшення їх поперечних перерізів з використанням бетону, залізобетону, сталевібробетону, а також ефективних та перспективних композитних матеріалів.

Підсилення конструкцій з використанням композитних матеріалів мають ряд переваг, у порівнянні з традиційним підсиленням:

- висока статична і втомна міцність;
- близький до металу модуль пружності;
- мала власна вага (в 5 раз легші від сталі);
- відсутність обмежень в розмірах по довжині;
- можливість з'єднання з конструкцією, що підсилюється, тільки за рахунок клею;
- висока стійкість до корозії;
- можливість офарбування та ін.

Головним недоліком композитних матеріалів є їх відносно висока вартість, однак цей фактор слід розглядати з врахуванням сукупних витрат.

Найбільшого використання в Україні для підсилення згинальних залізобетонних елементів здобули композитні матеріали на основі вуглецевих волокон швейцарської фірми Sika, зокрема стрічка SikaCarbodur та полотно SikaWrap.

**Вивченню роботи** підсилених залізобетонних конструкцій сучасними композитними матеріалами, в тому числі вуглепластиковими, присвятили свої роботи В.Кваша, І.Мельник, Р.Добрянський, А.Мурин, О. Борисюк, О.Конончук, Я.Римар, В.Чернявський, М.Климуш, М.Камінська, Р.Катиня, Я.Кубіцкі, Т.Бартошик та ін.

Однак ефективно використання композитних матеріалів на основі вуглецевих волокон залишається не до кінця вивченим. Крім того, в чинних нормах проектування [1], відсутні будь-які рекомендації для проектування таких конструкцій. Тому подальше накопичення експериментальних даних, а також проведення аналізу літературних джерел з даного питання є **актуальною задачею**.

Переважає більшість експериментальних досліджень по використанню композитних матеріалів у якості підсилення конструкцій, які проведені у світі та в Україні, спрямовані на збільшення несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних конструкцій. Автори [2, 3, 4] відмічають збільшення несучої здатності підсилених конструкцій на різну величину у порівнянні з непідсиленими. Однак безпечна експлуатація таких конструкцій можлива лише за умови забезпечення сумісної роботи бетону та наклеєних елементів підсилення. В.Л. Чернявський [4] наводить приклади технічних рішень по підсиленню різних видів залізобетонних конструкцій житлових будинків методом зовнішнього армування композитними матеріалами. Зокрема автор відмічає, що поздовжньо наклеєні стрічки забезпечують підвищення несучої здатності, тріщиностійкості і жорсткості балки на дію згинального моменту, а поперечні U-подібні хомути мають подвійне значення, а саме забезпечують надійне включення стрічок в роботу (відіграють роль анкерів) і підвищують несучу здатність балки по похилим перерізам, що особливо важливо в приопорних ділянках (рис.1).

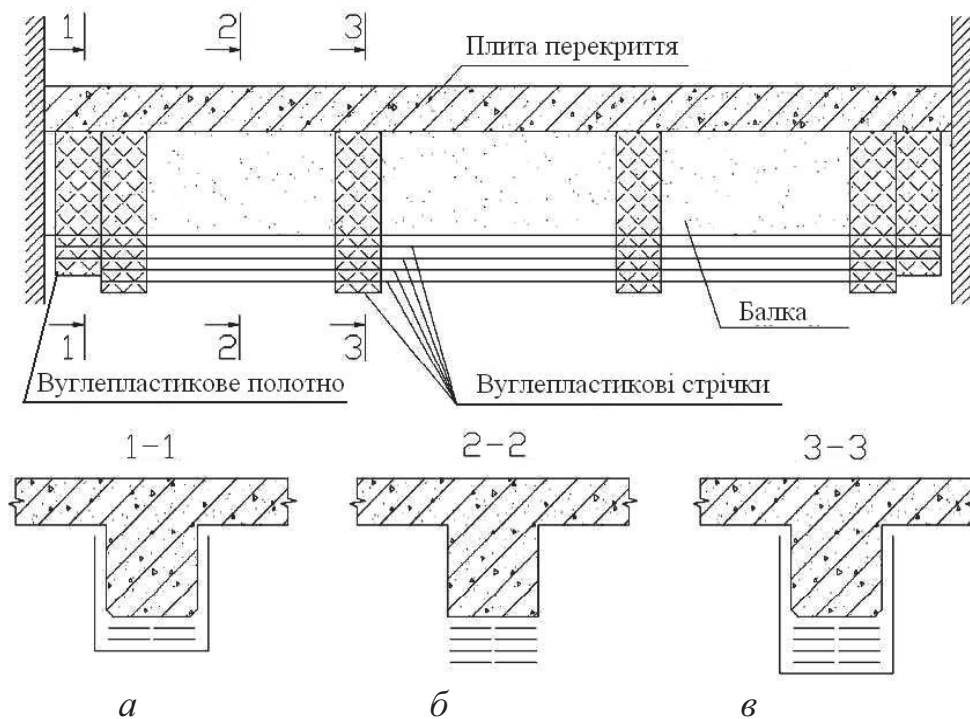


Рис. 1. Схема підсилення залізобетонної балки:  
*а* – в приопорній ділянці; *б* – в прольоті;  
*в* – періодичне анкерування поздовжніх стрічок.

**Методика досліджень.** Було виконано експериментальні дослідження 12 залізобетонних балок розмірами 2000 x 160 x 100 мм із бетону заводського замісу класу С30/35. Для поздовжнього армування балок було використано 2 стержні Ø12 А500С, а поперечне із стержнів діаметром 3 мм класу Вр-І та кроком  $s_w = 75$  мм.

Всі балки випробовувались згідно наступної статичної схеми – балка на двох опорах, прольотом 1800 мм, завантажена двома симетричними зосередженими силами, відстань між якими становить 1200 мм.

На першому етапі виконувалось випробування 8 балок без підсилення. Дві балки випробовувалися однократним навантаженням. Навантаження на балки збільшували до моменту, коли ширина розкриття похилих тріщин досягала значення  $w_k = 0,4$  мм. Після цього балки розвантажувалися, а отримане навантаження прийняли як контрольне експлуатаційне навантаження. Інші 6 балок випробовувалися малоцикловим навантаженням різних рівнів, прийнявши за одиницю контрольне експлуатаційне навантаження, отримане при випробуванні контрольних балок без підсилення. Після цього проводили підсилення похилих перерізів 12 дослідних балок (рис. 2).

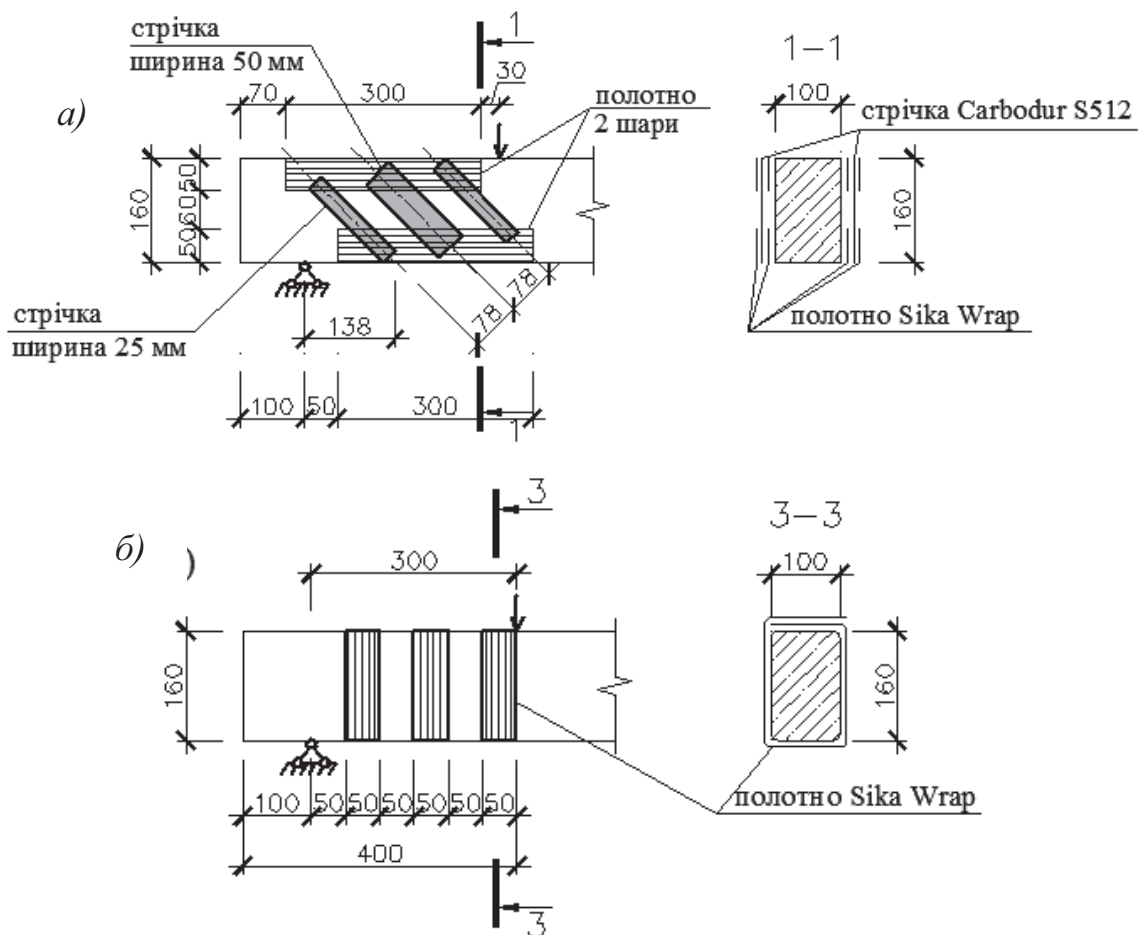


Рис.2.Схеми підсилення дослідних балок вуглепластиковими матеріалами:  
а) – стрічками; б) – полотном.



Методика випробування тих 8 балок, які до підсилення навантажувалися, була такою ж як і до підсилення: дві балки – на однократне навантаження, але вже до руйнування, а інші 6 – на малоциклове навантаження з руйнуванням на останньому напівциклі. Інші 4 балки, які до підсилення не навантажувалися, випробовувалися наступним чином: дві – на однократне навантаження, і ще дві – на малоциклове навантаження.

Малоциклове навантаження на підсилені балки прикладали в два етапи. На першому етапі за 1 приймали контрольне експлуатаційне навантаження, отримане при випробуванні балок до підсилення. На другому етапі за 1 приймали руйнівне навантаження, отримане при випробуванні підсилених балок. Кількість циклів і рівнів приймали такими ж як і до підсилення.

**За результатами досліджень** було встановлено, що таке підсилення дозволяє збільшити несучу здатність досліджуваних зразків не менше ніж на 35%. Однак досягнути цього вдається лише за умови достатнього анкерування елементів підсилення. Так під час випробування балок, підсилених стрічками, при граничних значеннях навантаження спостерігалось поступове відшарування системи підсилення від поверхні бетону зразків (рис. 3, а). При випробуванні балок, підсилених обоймами з полотна, система підсилення працювала сумісно з бетоном (рис.3, б).



Рис. 3. Нижня грань підсилених балок в приопорній зоні після їх руйнування:

а) підсилення стрічками; б) підсилення обоймами з полотна

Тому, при використанні вуглепластикових матеріалів у якості підсилення згинальних залізобетонних елементів, для безпечної їх експлуатації вагому роль необхідно приділити забезпеченню сумісної роботи матеріалів на всіх етапах роботи таких конструкцій. Особливо при виборі способу підсилення, коли елементи наклеюються лише на бічні поверхні, оскільки можливий їх відрив від поверхні бетону.

Також виявлено, що на безпеку експлуатації таких конструкцій суттєвий вплив має режим навантаження. Так при малоциклових навантаженнях спостерігалось збільшення деформацій внутрішньої і зовнішньої (підсилення) поперечної арматури в 1,2...1,5 разів, внаслідок чого втрата несучої здатності зразків відбувалася при навантаженнях до 15% менших, у порівнянні з аналогічними зразками, що випробовувалися на дію одноразового навантаження.

Ще одним фактором, який необхідно врахувати для забезпечення безпечної експлуатації згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитними матеріалами, є обмеження максимальних деформацій зовнішньої поперечної арматури на стадії проектування. Експериментальні дослідження [2, 3, 4] показали, що максимальні деформації вуглепластикових стрічок SikaCarbodur та полотна SikaWrap необхідно обмежувати до величини  $400 \times 10^{-5}$ .

**Висновки.** 1. Композитні матеріали можуть ефективно використовуватися для підсилення згинальних залізобетонних елементів.

2. Безпечна експлуатація залізобетонних конструкцій, підсилених композитами, можлива лише за умови забезпечення сумісної роботи бетону та наклеєних елементів підсилення.

3. При проектуванні таких конструкцій необхідно враховувати режими навантаження, при яких вони будуть працювати, а також обмежувати максимальні деформації композитів до величини, визначеної виробником та підтвердженої експериментальними дослідженнями.

1. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування // Мінрегіонбуд України, Київ, 2010. – 166с.

2. Кваша В.Г. Реконструкція залізобетонного моста з підсиленням балок приклеєними вуглепластиками / В.Г. Кваша, І.В. Мельник, М.Д. Климпуш // Ресурсоекономні конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Рівне: Видавництво РДТУ, 2003. – Випуск 10 – С. 267 – 275.

3. Мурин А.Я. Міцність, жорсткість і тріщиностійкість залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / А.Я. Мури. - Львів, 2011.- 163с.

4. Чернявський В.Л. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / В.Л. Чернявський, Ю.Г. Хаютин, Е.З. Аскельрод, В.А. Клевцов, Н.В. Фаткуллин. – М.: ООО «ИнтерАква», 2006. – 113 с.