

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)

Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

магістра

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **«Дослідження деформативності залізобетонних балок
підсилених композитними матеріалами»**

Виконав: студент VI курсу, групи МБмн-61

спеціальності (напряму підготовки) 192

«Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Стельмах Р.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Коваль І.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мещерякова О.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Кошалко С.А.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Будівельної механіки

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Стельмах Роман Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження деформативності залізобетонних балок підсилених композитними матеріалами

Керівник проекту (роботи) Коваль Ігор Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від « 10 » квітня 2023_ року № 4/7 – 364

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 22.05.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дослідження несучої здатності та деформативності згинальних залізобетонних балок до та після їх підсилення композитними матеріалами.

Визначення напружено-деформованого стану до та після підсилення дослідних зразків при дії одноразового саттичного та малоциклового статичного навантаження. Порівняння деформативності згинальних залізобетонних балок до та після їх підсилення, а також при дії одноразового та малоциклового навантаження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд літературних джерел в напрямку дослідження підсилення згинальних залізобетонних балок, зокрема за допомогою композитних матеріалів. Методика попередньо проведених експериментальних досліджень згинальних залізобетонних балок до та після їх підсилення при дії одноразового статичного та малоциклового навантаження. Аналіз попередньо отриманих даних експериментальних досліджень та їх аналіз. Встановлення дійсного напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних балок до та після їх підсилення. Визначення деформативності дослідних зразків. Розробка заходів по охороні праці. Розробка заходів з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) Постановка мети та задач досліджень. Найпоширеніші методи підсилення залізобетонних згинальних балок. Методика проведення експериментальних досліджень. Характер прикладених навантажень до дослідних зразків. Напружено-деформований стан дослідних балок. Фотографії експериментальних досліджень. Результати експериментальних досліджень. Аналіз отриманих даних. Висновки.

Зміст

	Вступ.....	5
	Розділ 1 Стан питання підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів та прогнозування їх подальшої роботи.	7
1.1	Аналіз стану питання підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів	7
1.2	Постановка мети і задач дослідження	15
	Висновки до розділу 1	16
	Розділ 2 Програма і методика проведення експериментальних досліджень	17
2.1	Програма експериментальних досліджень	17
2.2	Матеріали та конструкція дослідних зразків	19
2.3	Методика проведення експериментальних досліджень	23
2.4	Випробування згинальних залізобетонних балок	26
	Висновки до розділу 2	27
	Розділ 3 Аналіз результатів експериментальних досліджень	28
3.1	Напружено-деформований стан згинних армованих балок при дії одноразового статичного навантаження	28
3.2	Деформативність експериментальних балок при дії одноразового статичного навантаження	32
3.3	Напружено-деформований стан згинальних залізобетонних балок випробуваних при малоциклового навантаженні	35
3.4	Деформативність експериментальних балок при малоциклового навантаженні	44
	Висновки до розділу 3	46
	Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	47
4.1	Загальні положення охорони праці	47
4.2	Правила техніки безпеки при роботі в лабораторії	48

4.2.1	Загальні положення електрозварювальних робіт	50
4.2.2	Безпечна експлуатація електрозварювальних установок	50
4.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях	53
	Висновки до розділу 4	55
	Загальні висновки	56
	Бібліографія	57

ВСТУП

Актуальність теми роботи. В галузі будівництва виникає значний інтерес питання відновлення та реконструкції існуючих будівель, особливо пов'язаних з підсиленням конструкцій, що пошкоджені або зруйновані без можливості для подальшої експлуатації. Такий стан може бути спричинений помилками у проектуванні, неправильною експлуатацією або зміною призначення будівлі.

Дослідження підтверджують, що правильне підсилення залізобетонних конструкцій може підвищити їх тріщиностійкість та міцність при багаторазово повторних навантаженнях, що має практичне значення в області будівництва та інфраструктурних ремонтних робіт. На сьогоднішній день не досліджений вплив малоциклових навантажень високих рівнів на роботу підсилених залізобетонних елементів в розтягнутій зоні згину. Це робить проведення досліджень в даному напрямку актуальним і необхідним для сучасного будівництва, що стрімко розвивається.

Мета роботи: встановлення впливу підсилення композитними матеріалами нормальних перерізів згинальних залізобетонних балок в розтягнутій зоні на їх деформативність.

Для досягнення цієї мети передбачено наступні **задачі:**

- аналіз попередніх експериментальних даних щодо підсилення згинальних залізобетонних елементів композитними матеріалами під дією одноразового та малоциклового статичного навантаження;

- встановлення дійсного напружено-деформованого стану згинних підсилених частин зміцнених композиційними матеріалами під дією одноразового та малоциклового статичного навантаження;

- визначення впливу підсилення згинальних залізобетонних елементів композитними матеріалами на їх деформативність під дією одноразового та малоциклового статичного навантаження.

-

Об'єкт досліджень: збірні залізобетонні згинальні балки, підсилення композитними матеріалами.

Предмет дослідження: деформативність збірних залізобетонних згинальних балок до та після їх підстлення.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел; аналіз експериментальних досліджень, аналіз теоретичних досліджень за спеціально розробленою методикою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності із науковою тематикою кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

Наукова новизна отриманих результатів:

- надалі продовжено дослідження напружено-деформативного стану згинальних залізобетонних балок підсилених композитними матеріалами;
- отримано нові дані деформативності згинальних залізобетонних балок підсилених композитними матеріалами.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані в роботі результати можуть бути використані будівельними організаціями при проектуванні підсилення згинальних залізобетонних конструкцій.

Апробація. Окремі результати роботи доповідались на VI Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» Тернопіль, ТНТУ, 27 – 28 квітня 2023 року.

Публікації. Карбонове волокно в будівництві / Стельмах Р. // Матеріали VI Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023.- С. 47-48.

Ключові слова. Деформативність, напружено-деформований стан, композитні матеріали, підсилення.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ПІДСИЛЕННЯ РОЗТЯГНУТОЇ ЗОНИ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ПРОНОЗУВАННЯ ЇХ ПОДАЛЬШОЇ РОБОТИ

1.1 Аналіз стану питання підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів

В галузі будівництва виникає значний інтерес питання відновлення та реконструкції існуючих будівель, особливо пов'язаних з підсиленням конструкцій, що пошкоджені або зруйновані без можливості для подальшої експлуатації. Такий стан може бути спричинений помилками у проектуванні, неправильною експлуатацією або зміною призначення будівлі.

Зазвичай, реконструкційні роботи вважаються економічно доцільними, якщо витрати на них не перевищують 70% вартості нової будівлі. Проте, зовсім інша ситуація, коли відбувається модернізація та відновлення історичних або архітектурних пам'яток. За досвідом, реконструкція майже завжди є більш доцільним рішенням, ніж нове будівництво [1, 2].

Найпоширенішими дефектами, які виникають при експлуатації залізобетонних конструкцій, є такі: занадто великі деформації конструкцій, широке розкриття тріщин у зоні розтягування, пошкодження захисного шару з виглядом відкритої арматури та корозія останньої, втрата цілісності конструкцій (вигини, відколи, отвори, розшарування тощо), зволоження та замерзання поверхонь конструкцій, випаровування та відшаровування бетону на поверхнях конструкцій. Однак, необхідно враховувати, що підсилення може бути необхідним навіть за відсутності дефектів, наприклад, при зміні навантаження, збільшенні навантажень або збільшенні прольотів та вільних довжин стискаючих елементів [1, 2].

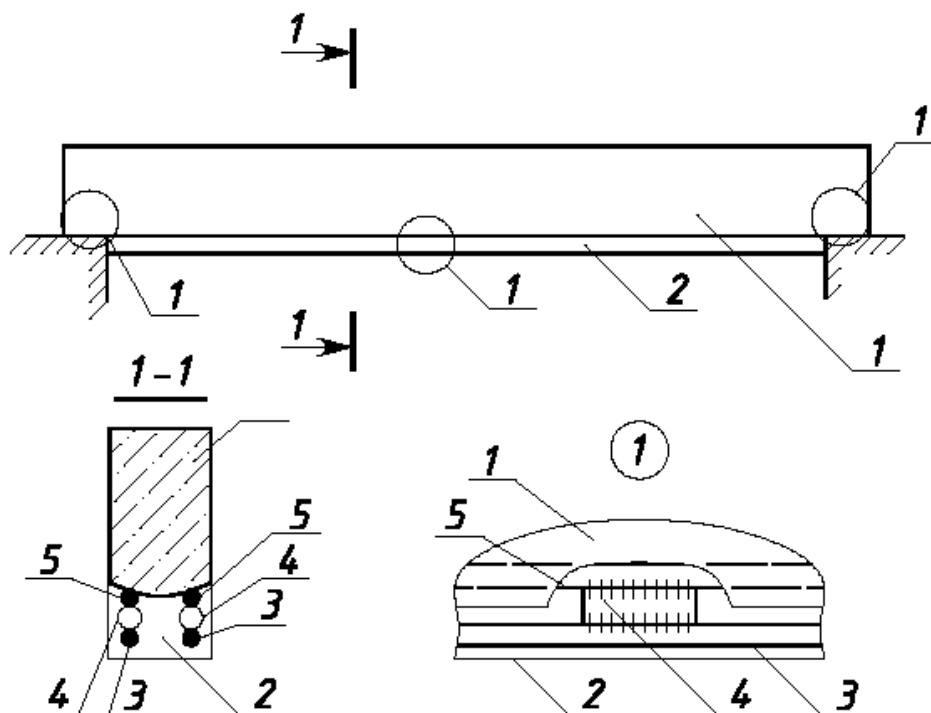
Аналіз методів підсилення залізобетонних конструкцій показує, що підсилення згинальних елементів можна здійснювати шляхом збільшення поперечного перерізу або зміни розрахункової схеми роботи конструкції [1, 3].

Дослідження з підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів за дії статичного навантаження були проведені такими вченими, як Б.А. Ашимов, А.Б. Барашиков, Є.М. Блалі, З.Я. Бліхарський, Б.А. Боярчук, А.П. Васільєв, Є.О. Гриневич, С.С. Давидов, А. Касасбех, М.І. Кісілієр, О.П. Кричевський, С.О. Кричевський, М.А. Мощанський, Л.А. Мурашко, С.М. Новікова, В.В. Потураєв, Ф.І. Рабінович, Я.В. Римар, А.К. Салеха, М.Ю. Смолянінова, О.П. Сунак, П.О. Сунак, Г.К. Хайдуков, О.Л. Шагін та інші [4].

У роботі М.І. Кісілієра [4] представлені дослідження щодо роботи згинальних залізобетонних елементів з приклеєною епоксидним клеєм в розтягнутій зоні та листовою арматурою. Було виявлено три схеми руйнування клеєних балок: відшарування захисного шару бетону в розтягнутій зоні, зсув в клеєвому з'єднанні та текучість зовнішньої розтягнутої арматури.

Дослідження А.К. Салеха [5] включали в себе вивчення роботи згинальних залізобетонних елементів, в яких стиснута зона складалася з одного до трьох шарів ослабленого бетону з різною міцністю. Міцність цих шарів варіювалася від 16,3 МПа до 30,7 МПа. Зразки використовувалися для моделювання конструкцій, в яких фізична неоднорідність стиснутої зони була відома. Була запропонована методика і отримані розрахункові формули для визначення міцності перерізів, нормальних до повздожньої осі згинальних елементів з фізичною неоднорідністю структури стиснутої зони.

Г.В. Гетун [6] займалася вивченням роботи підсилення залізобетонних балок в розтягнутій зоні за допомогою сталевібробетонного шару. В роботі Б.А. Боярчука [7] були проведені експериментальні дослідження підсилення згинальних залізобетонних елементів за допомогою нарощування розтягнутої зони шарами сталевібробетону, полімербетону та важкого бетону (див. рис.1). Була розроблена методика розрахунку згинальних залізобетонних елементів, підсилення розтягнутої зони за допомогою різних матеріалів з використанням нормальних перерізів.



1 - балка яка підсилюється; 2 - залізобетонний шар підсилення; 3 - поздовжня арматура підсилення; 4 - арматурні коротиші; 5 – оголена арматура балки (частинки з кроком 0,1м).

Рисунок 1.1 – Нарощення балок знизу для підвищення їх несучої здатності

Дослідження Є.О. Гриневича [8] зосереджені на підсиленні залізобетонних згинальних елементів за допомогою додаткової зовнішньої арматури горизонтального і криволінійного обрису в обмеженій ділянці, де відбувається значний згинальний момент. Цей метод базується на локальному попередньому напруженні. Випробування показали, що завдяки додатковій зовнішній арматурі несуча здатність балок зросла на 40-50%. Руйнування відбувається через роздроблення стиснутого бетону при досягненні текучості в додатковій арматурі.

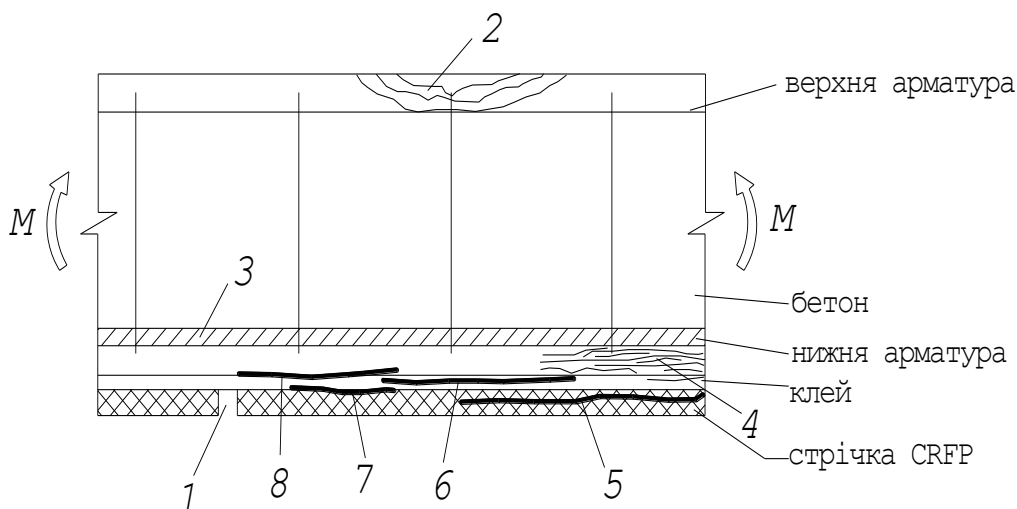
У своїх дослідженнях Я.В. Римар [9] займався підсиленням залізобетонних балок шляхом нарощування перетину арматури в розтягнутій зоні під навантаженням. Він розробив методику розрахунку підсилених згинальних елементів залізобетону на основі деформаційної моделі. Розрахунок міцності виконується з урахуванням рівноваги зовнішніх сил і внутрішніх зусиль у перерізі елемента. Розрахунок підсилених залізобетонних конструкцій під навантаженням пропонується виконувати в два етапи: спочатку визначаються відносні деформації

в перерізі основного елемента при підсиленні, а потім проводиться розрахунок підсилених перерізів методом послідовних навантажень.

М.Ю. Смолянінов [10] проводив експериментальні та теоретичні дослідження міцності, тріщиностійкості і деформативності підсиленого акриловим полімеррозчином залізобетону. Він встановив, що підсилення поверхневим шаром акрилового полімеррозчину збільшує несучу здатність залізобетонних балок залежно від схеми і товщини шару. Застосування шару акрилового полімеррозчину товщиною 9 мм збільшило несучу здатність балок відповідно на 19%, 31,5% і 72,3% в порівнянні з балками без підсилення. Руйнування бетону, підсиленого полімеррозчином, відбувається пізніше, а тріщини у розтягнутій зоні утруднюються.

Композитні полімери, такі як арамідні, скляні та вуглецеві волокна, широко використовуються для підсилення будівельних конструкцій. Українські дослідники, такі як В.Г. Кваша, М.Д. Клампуш, І.В. Мельник, А.Я. Мурин, В.М. Сорохтей та ін., проводили дослідження щодо підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів композитними матеріалами [12]. Наприклад, М.Д. Клампуш провів дослідження на залізобетонних балках, підсилення яких проводилося за допомогою композитних стрічок CFRP від фірми Sika. У результаті були виявлені деякі особливості роботи таких підсилених балок, зокрема проблеми заанкерування стрічки.

Також в Україні проводилися дослідження підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів композитними матеріалами, такими як арамідні, скляні, вуглецеві волокна, а також базальтові волокна. Композитні матеріали, такі як AFRP, GFRP, CFRP, широко використовуються для підсилення будівельних конструкцій у багатьох країнах. Компанія Sika з Швейцарії виготовляє композитні матеріали, які широко застосовуються в Європі.



1 - руйнування (розрив) стрічки CFRP; 2 - руйнування бетону стиснутої зони; 3 - текучість повздовжньої розтягнутої арматури; 4 - відривання стрічки з захисним шаром бетону (зріз по бетону); 5 - розшарування стрічки в межах її товщини; 6 - руйнування (зріз) в межах товщини шару клею; 7 - руйнування склейки по поверхні стрічки CFRP; 8 - руйнування стрічки по поверхні бетону.

Рисунок 1.2 – Можливі види руйнування залізобетонної балки, підсиленої стрічкою CFRP

В.Г. Кваша [11, 12] розробив методику для обчислення міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, які були підсилені наклеєними композитними стрічками. Цей підхід базується на нелінійній деформаційній моделі та використовує методику норм проектування, адаптовану для підсилених наклеєними стрічками CFRP елементів.

Розрахунки ґрунтуються на системі рівнянь рівноваги та додаткових рівнянь сумісності деформацій.

Дослідження підсилення залізобетонних елементів композитними матеріалами проведені численними вченими у всьому світі. Зокрема, М.А. Аиелло, Л. Валенте, Л.А. Панченком, В.И. Римшин, А. Риццо, В.П. Установ, А.А.

Шилін, Аль Махайді Рід, Хі Адріан та ін. внесли свій внесок у цю галузь досліджень.

А.А. Шилін [13] розробив керівництво, що стосується підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою композитних матеріалів. Це керівництво містить основи проектування та технології зовнішнього армування залізобетонних конструкцій за допомогою сучасних композитних матеріалів, таких як вуглеводні, арамідні та скловолокна. Керівництво також охоплює важливі аспекти проектування підсилення залізобетонних конструкцій відповідно до групи граничних станів 1 і 2. Також надані вимоги до якості матеріалів та умов виконання робіт з підсилення, а також вимоги до обов'язкового моніторингу після укріплення.

В.І. Римшин розглядає використання волокнистих композитних матеріалів для підсилення залізобетонних конструкцій. Він описує стадії руйнування елемента під час зростання навантаження.

Аль Махайді Рід та Хі Адріан [14] зазначають, що у сучасних умовах дуже важливо виконувати швидкий та економічний ремонт інфраструктурних об'єктів, зокрема мостів. Один із багатообіцяючих матеріалів для зовнішнього армування залізобетонних елементів згину і зрізу є полімер, підсилений волокнами. Дослідження вже показали ефективність такого підсилення на нормальну міцність, але менше уваги приділено питанням підвищення міцності на кручення. У виконаних дослідженнях описано використання зовнішнього підсилення полімером на згин і зріз залізобетонних балок коробчастого перерізу. Під час досліджень за допомогою фотограметрії фіксувалося відшарування зовнішнього армування перед моментом руйнування конструкцій. Аль Махайді Рід та Хі Адріан зазначають необхідність швидкого та економічного виконання ремонту інфраструктурних об'єктів, зокрема мостів. Вони розглядають використання композитних матеріалів, таких як карбонові волокна, для підсилення залізобетонних мостів.

Л.А. Панченко представив диференціальні рівняння для нормальних і тангенціальних напружень у складеній балці і надав їх розв'язок в гіперболічних

функціях. Було показано, що зі збільшенням жорсткості згину бетонної балки, максимальне нормальне напруження між балкою і підкріплюючим ламінатом зменшується.

В.П. Установ розглянув використання сучасних полімерних композитних матеріалів у будівництві і систематизував наявну інформацію, а також вказав на шляхи впровадження композитів.

М.А. Аіелло, Л. Валенте, А. Ріццо представили результати досліджень залізобетонних балок, підсилені вуглепластиковими волокнами. Внутрішня стальна арматура була розроблена з урахуванням деформації до руйнування балок. Для запобігання зсуваючому руйнуванню були використані сталеві хомути. Контрольний експеримент був проведений на балках без підсилення.

Для запобігання передчасного руйнування підсилюючого вуглепластику використовувалася композитна обмотка.

Експериментальні результати показали, що при правильній конфігурації підсилення можна досягти достатньої перерозподілу моментів, що також підтверджено теоретичними результатами, отриманими за допомогою двох числових моделей.

Проведено ряд досліджень підсиленних згинальних залізобетонних елементів за дії повторних навантажень: М.Ю. Смолянїною, М.О. Валовим та ін.

Було проведено ряд досліджень підсилення залізобетонних елементів на згин за дії повторних навантажень, зокрема М.Ю. Смолянїною, М.О. Валовим та іншими. Досліди М.Ю. Смолянїноюї [15] були спрямовані на підвищення міцності і тріщиностійкості залізобетонних елементів, підсилення акриловим полімерним розчином, при дії як статичних, так і багаторазово повторних навантажень.

Було випробувано зразки залізобетонних балок прямокутного і таврового перерізу з підсиленням при різних частотах, з метою вивчення впливання армуючого шару і варіантів розміщення підсилюючих елементів на їх тривалість, міцність і тріщиностійкість.

Результати досліджень на балках довжиною 0,8 м показали, що зі збільшенням товщини підсилюючого шару для однакових варіатів підсилюючих розміщень кількість циклів зростає, а тріщини у бетоні виникають із затримкою. Наприклад, у випадку балок, що були підсиленими хляхом одностороннього нарощування при $\omega = 4,2$ Гц, $\eta_t = 0,31$, $\rho = 0,34$ і $\delta_{m,ad} = 3, 6$ і 9 мм, число витриманих циклів n до того, як відбулося руйнування, збільшується порівнянно зі контрольними, відповідно на 10, 31 і 40%.

Для розрахунку підсилених залізобетонних конструкцій на дію багаторазово повторних навантажень необхідно враховувати схеми підсилення і товщину підсилюючого шару.

Це важливо для забезпечення належної тривалості, міцності і тріщиностійкості конструкцій. Значення, яке необхідно обрахувати, для досліджуваних підсилених балок в умовах багаторазового навантаження M_f , визначаємо за формулою (1.1):

$$M_f = K_f M_{tot,sh}. \quad (1.1)$$

де $M_{tot,sh}$ – граничний момент при короткочасному статичному навантаженні.

Згідно з дослідженнями М.О. Валового [16], встановлено, що при збільшенні товщини підсилюючого шару до 9 мм, число циклів до руйнування залізобетонних балок, при інших рівних умовах, збільшується в середньому до 70% порівняно з балками без підсилення.

У дослідженні було проведено підсилення залізобетонних балок шляхом нарощування у стиснутій зоні шаром бетону товщиною 210x45 мм. З'єднання "старого" і "нового" бетону було здійснене за допомогою клею Ceginol ZH від фірми Dietermann.

Дослідження показали, що несуча здатність балок, що випробувалися повторними навантаженнями до рівня 0,75 від руйнівного, практично не змінилася. Однак, балки з рівнем навантаження до 0,85 від руйнівного зазнали зниження несучої здатності в середньому на 8%.

Вплив повторних навантажень на кількість та розвиток тріщин був значний для балок з меншим рівнем навантаження, тоді як для балок з вищим рівнем навантаження вплив був незначним. Значення прогину балок, які випробувалися повторними навантаженнями до рівня 0,75 від руйнівного, майже не змінилося, але для балок з навантаженням до рівня 0,85 від руйнівного, прогин збільшився в середньому на 8%.

1.2 Постановка мети і задач дослідження

На підставі аналізу науково-технічної літератури встановлено, що вплив малоциклових навантажень високих рівнів на роботу підсилених залізобетонних елементів в розтягнутій зоні згину не досліджений. Отже, ведення дослідження для цього випадку є актуальним і необхідним для сучасного будівництва, що стрімко розвивається.

Метою досліджень є встановлення впливу підсилення композитними матеріалами нормальних перерізів згинальних залізобетонних балок в розтягнутій зоні на їх деформативність.

Для досягнення цієї мети передбачено наступні задачі:

- аналіз попередніх експериментальних даних щодо підсилення згинальних залізобетонних елементів композитними матеріалами під дією одноразового та малоциклового статичного навантаження;
- встановлення дійсного напружено-деформованого стану згинних підсилених частин зміцнених композиційними матеріалами під дією одноразового та малоциклового статичного навантаження;
- визначення впливу підсилення згинальних залізобетонних елементів композитними матеріалами на їх деформативність під дією одноразового та малоциклового статичного навантаження.

Висновки до розділу 1

Дослідження підтверджують, що правильне підсилення залізобетонних конструкцій може підвищити їх тріщиностійкість та міцність при багаторазово повторних навантаженнях, що має практичне значення в області будівництва та інфраструктурних ремонтних робіт. На сьогоднішній день залишається малодослідженим напрямком дія малоциклових навантажень із високими рівнями, та їх вплив на зміцнені залізобетонні елементи в розтягнутій зоні згину. Це робить проведення досліджень в даному напрямку актуальним і необхідним для сучасного будівництва, що стрімко розвивається.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма експериментальних досліджень

Для отримання визначеної мети та виконання поставлених задач було виготовлено дванадцять дослідних балок. Окрім цього, для визначення міцнісних і деформативних характеристик матеріалів було випробувано 18 бетонних призм, 18 бетонних кубів і чотири арматурних відрізки одночасно з дослідженням балок.

Деталі програми експериментальних досліджень можна знайти у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Програма та обсяг експериментальних досліджень

Характеристика і розміри зразків (мм)	Маркування балок	К-сть зразків	Предмет дослідження
Залізобетонні балки 100×160×2000	БО-1	1	Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість нормальних перерізів балок за дії однократного навантаження
	БО-2	1	
	БЦ1-1	1	Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість нормальних перерізів балок за дії малоциклового навантаження різних рівнів
	БЦ1-2	1	
	БЦ2-1	1	
	БЦ2-2	1	
	БЦ3-1	1	
	БЦ3-2	1	

Продовження таблиці 2.1

Підсилені залізобетонні балки 100×160×2000	БО-1(П2)	1	Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість нормальних перерізів підсилених балок, що до підсилення експлуатувались, за дії однократного навантаження
	БО-2(П1)	1	
	П1	1	Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість нормальних перерізів підсилених балок, що до підсилення не експлуатувались, за дії однократного навантаження
	П2	1	
	БЦ1-1(П2)	1	Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість нормальних перерізів підсилених балок, що до підсилення експлуатувались, за дії малоциклового навантаження різних рівнів
	БЦ1-2(П1)	1	
	БЦ2-1(П2)	1	
	БЦ2-2(П1)	1	
	БЦ3-1(П1)	1	
	БЦ3-2(П2)	1	
П1-Ц4	1	Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість нормальних перерізів підсилених балок, що до підсилення не експлуатувались, за дії малоциклового навантаження	
П2-Ц4	1		
Бетонні призми 150×150×600		18	Призмova міцність і деформативні характеристики бетону у віці 28 діб та протягом випробування балок
Бетонні куби 150×150×150		18	Кубова міцність бетону у віці 28 діб та протягом випробування балок

2.2 Матеріали та конструкція дослідних зразків

Для досліджень були виготовлені залізобетонні балки з номінальними розмірами $100 \times 160 \times 2000$ мм, а їх армування було виконане з урахуванням запобігання похилим тріщинам та забезпечення мінімального армування нормальних перерізів. Деталі конструкції та схему армування дослідних балок можна знайти на рисунку 2.1.

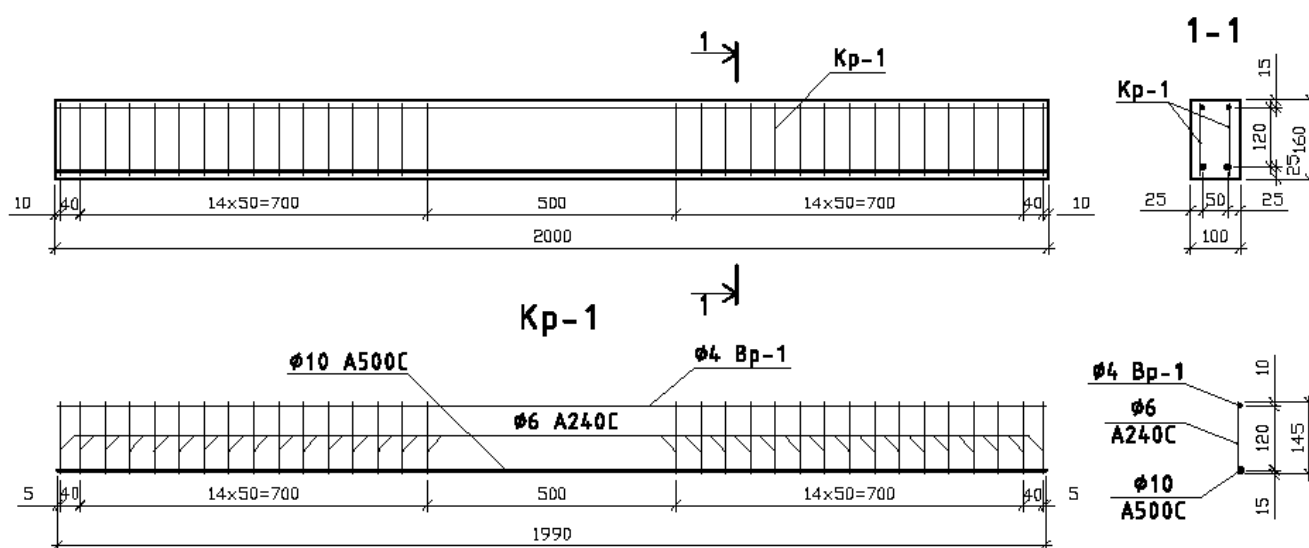
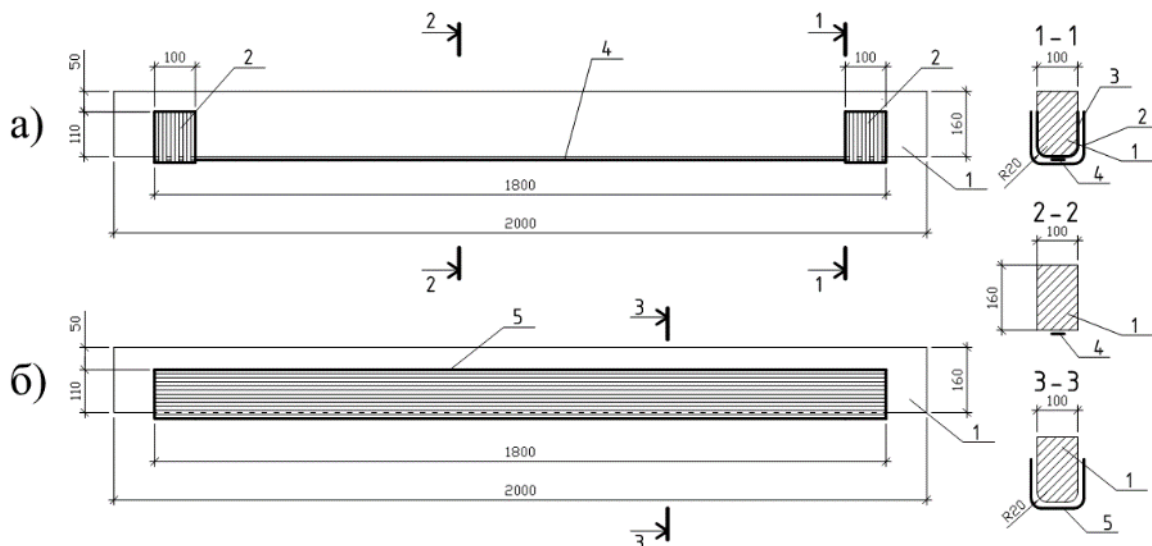


Рисунок 2.1 – Конструкція та схема армування дослідних балок

У процесі підсилення залізобетонних балок при одноразових та малоциклових навантаженнях було використано матеріали від фірми Sika. Після виконання попередніх досліджень усіх отриманих зразків, їх підсилювали із використанням двох різних схем (див. рис. 2.2). У першому випадку, залізобетонні балки були підсилені композитною стрічкою Sika CarboDur S-512, яка була приклеєна в нижній розтягнутій зоні конструкції вздовж всієї її довжини, а на приопорних ділянках було застосовано однонаправлене полотно Sika Wrap. За другою схемою, було використано однонаправлене полотно Sika Wrap, яке було наклеєне вигляді П-подібної обойми вздовж всієї довжини прольоту балки. Приклеювання підсилюючих матеріалів здійснювалося за допомогою двокомпонентних клеїв: Sikadur-30 для стрічки і Sikadur-330 для полотна.



а) – підсилення стрічкою Sika CarboDur S-512; б) – підсилення полотном Sika Wrap; 1 – дослідна балка; 2 – верхній шар анкерування із полотна Sika Wrap; 3 – нижній шар анкерування із полотна Sika Wrap; 4 – стрічка Sika CarboDur S-512; 5 – П-подібна обойма із полотна Sika Wrap

Рисунок 2.2 – Конструкція підсилення дослідних балок

В таблицях 2.2 – 2.4 наведені фізико-механічні характеристики матеріалів, що були використані при підсиленні згинальних залізобетонних балок.

Таблиця 2.2 – Фізико-механічні характеристики композитної стрічки

Назва характеристики	Одиниці виміру	Sika® CarboDur® S-512
Ширина	мм	50
Товщина	мм	1,2
Площа перерізу	мм ²	60
Модуль пружності	МПа	160 000 - 165 000
Щільність	г/см ³	1,6
Термостабільність	°С	> 150
Вміст волокон	%	> 68
Міцність на розтяг	МПа	2800 - 3100
Деформація руйнування (мінімальне значення)	%	> 1,70

Таблиця 2.3 – Фізико-механічні характеристики композитного полотна

Назва характеристики	Одиниці виміру	SikaWrap®-230 C/45
Ширина тканини	мм	300
Вага тканини	г/м ²	230 ± 10
Проектна товщина тканини	мм	0,131
Товщина ламінату	мм	1,0
Щільність волокон	г/см ³	1,76
Міцність на розтяг волокон	МПа	4300
Модуль пружності волокон	МПа	238 000
Деформація руйнування волокон	%	1,8
Руйнівне навантаження на 1м ширини ламінату	кН	350
Модуль пружності ламінату	МПа	28 000
Деформація руйнування ламінату (max)	%	0,6
Міцність на розтяг ламінату при деформації розтягу 0,4 %	кН/м	100
Міцність на розтяг ламінату при деформації розтягу 0,6 %	кН/м	150

Таблиця 2.4 – Фізико-механічні характеристики клеїв, що застосовувались при підсиленні

Назва характеристики	Одиниці виміру	Sikadur®-30	Sikadur®-330
Хімічна основа	-	Епоксидна смола	Епоксидна смола
Щільність, при +23°C	кг/л	1,65 ± 0,1	1,3 ± 0,1
Стисливість, при +15°C на 15 кг	мм	4000	-
Максимальна товщина шару	мм	30	-
Усадка	%	0,04	-
Коефіцієнт температурного розширення	-	2,5×10 ⁻⁵ на °C	4,5×10 ⁻⁵ на °C
Час твердіння, при > +23°C	днів	7	7
Міцність на стиск	МПа	70-95	-
Міцність на зріз, при +23°C	МПа	18	-
Міцність на розтяг	МПа	24-31	30
Модуль пружності при стиску, при +23°C	МПа	9 600	-
Модуль пружності при розтягу, при +23°C	МПа	11 200	4 500
Модуль пружності при згині, при +23°C	МПа	-	3 800
Видовження при руйнуванні, при +23°C	%	-	0,9

На рисунку 2.3 наведено процес підсилення дослідних балок.

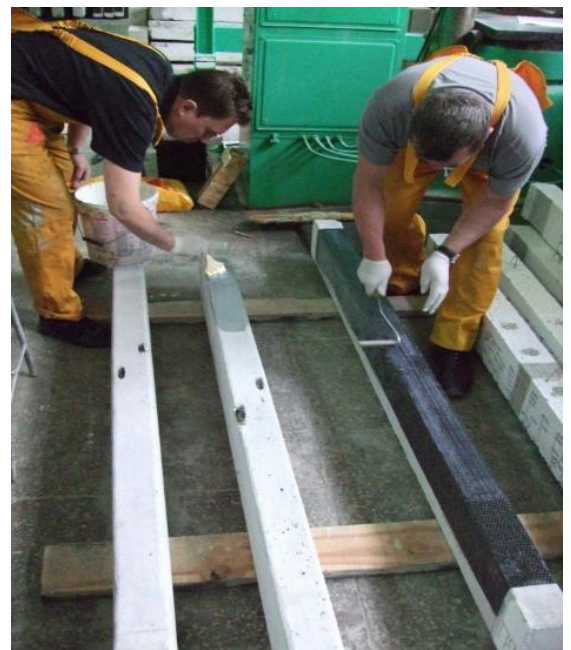
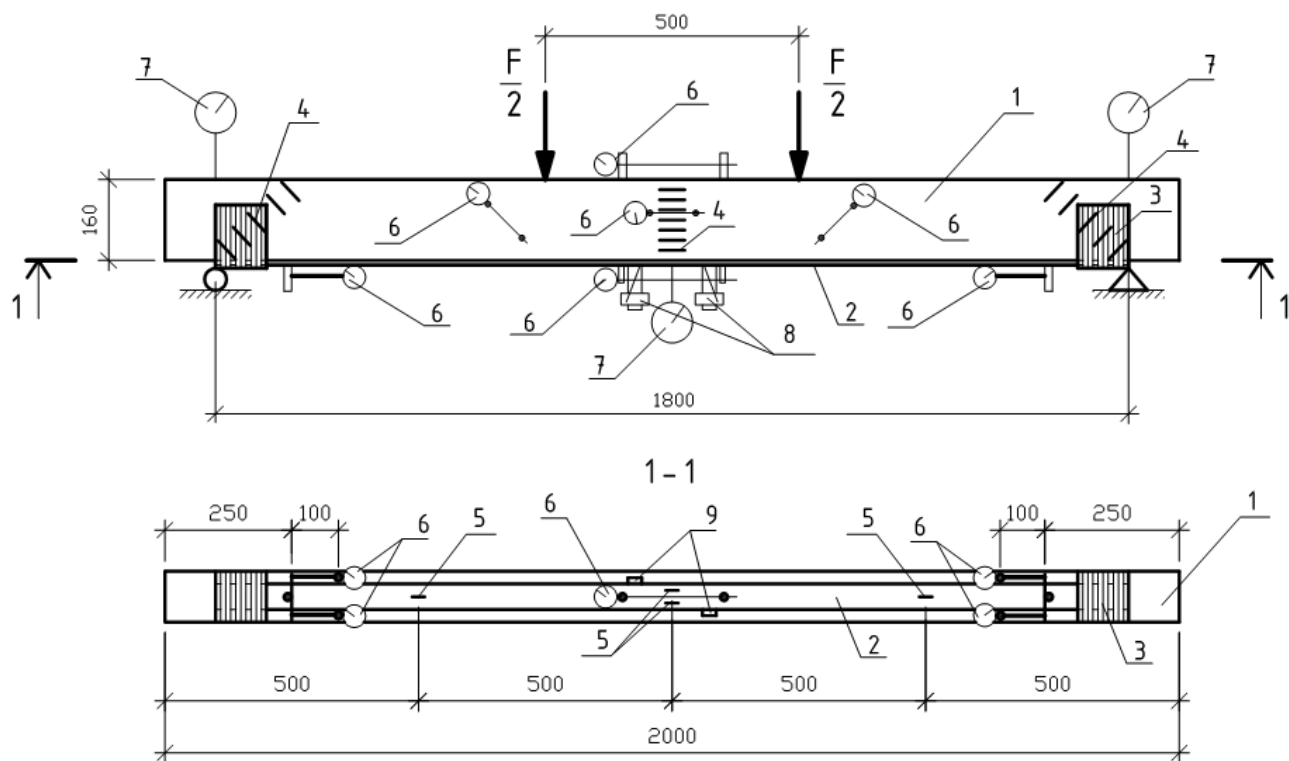


Рисунок 2.3 – Процес підсилення дослідних залізобетонних балок композитними метеріалами

2.3 Методика проведення експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень було використано статичну схему однопролітної вільно обпертої балки на двох опорах з прольотом 1800 мм. Балка була завантажена двома симетричними силами, розташованими на відстані 500 мм одна від одної. Для створення зусиль використовувався домкрат, а навантаження фіксувалося кільцевим динамометром. Усі вимірювання здійснювалися за допомогою механічних та тензометричних приладів, які дублювали один одного. При обробці експериментальних даних використовувалися дані з механічних приладів (див. рис. 2.4 та рис. 2.5).



1 – дослідна балка; 2 – стрічка Sika Carbodur S-512; 3 – анкерування з полотна Sika Wrap; 4 – електротензодатчики з базою 50 мм; 5 – електротензодатчики з базою 20 мм; 6 – індикатор годинникового типу; 7 – прогиномір; 8 – тензометр Гугенбергера; 9 – отвори в бетоні, для влаштування тензометрів

Рисунок 2.4 – Схема розташування приладів на балці підсиленій композитною стрічкою



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд балки підсиленої композитними полотном в ході експерименту

Навантаження на зразки здійснювалося ступінь за ступенем, де величина кожного ступеня становила 8-10% від теоретично розрахованої несучої здатності. Після кожного ступеня навантаження проводилися витримки тривалістю 7-10 хвилин для вимірювання показів приладів, огляду поверхні зразка, фіксації розвитку тріщин та зміни ширини розкриття тріщин. В таблиці 2.4 наведено особливості кожного виду навантаження, що застосовувалися до згинальних залізобетонних балок.

Для позначення балок у програмі експериментальних досліджень використовувались такі умовні позначення: "Б" – позначається балка, наступна буква характеризує навантаження детальніше, а саме: "О" - одноразове, "Ц" - циклічне. Цифри поряд з літерою "Ц" (у балках, що були випробувані на циклічних навантаженнях) обов'язково позначає яке саме навантаження. (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Методика експериментальних досліджень

№ п/п	Маркування балок	Відсоток армування, %	К-сть циклів	Рівні навантаження
1	П1	1,16	-	Однократне навантаження
2	П2			
3	БО-1			
4	БО-2			
5	БО-1(П2)			
6	БО-2(П1)			
7	БЦ1-1(П2)		13	
8	БЦ1-2(П1)			
9	БЦ1-1			
10	БЦ1-2		13	
11	БЦ2-1			
12	БЦ2-2			
13	БЦ2-2(П1)		13	
14	БЦ2-1(П2)			
15	БЦ3-1(П1)			
16	БЦ3-2(П2)		13	
17	БЦ3-1			
18	БЦ3-2			

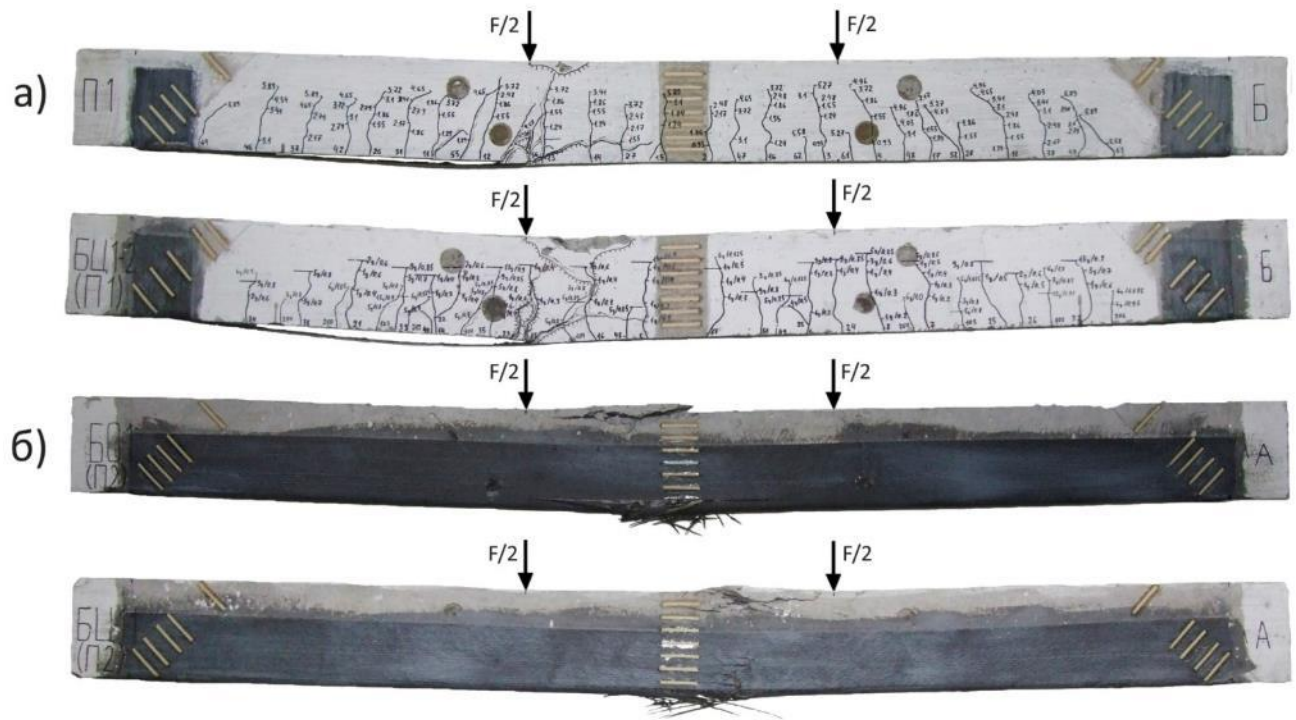
Продовження таблиці 2.4

19	П2-Ц4		5	
20	П1-Ц4		22	

Цифра після дефісу вказує на номер балки, яка була випробувана при даному навантаженні. "П1" - балка, підсилена композитною стрічкою Sika CarboDur S-512, "П2" - балка, підсилена композитним полотном Sika Wrap.

2.4 Випробування згинальних залізобетонних балок

Всі пробні зразки без підсилення були спроектовані таким чином, щоб їх руйнування відбувалося через нормальні поперечні перерізи, викликані згинальним моментом. Система підсилення пробних зразків була розроблена з урахуванням рівномірного розподілу напружень у стиснутих і розтягнутих зонах поперечного перерізу. Всі підсилені балки були піддані повному руйнуванню, навіть після досягнення максимального робочого навантаження. Деталі руйнування пробних зразків можна побачити на рисунку 2.6.



а) – підсилення балки з допомогою стрічки SikaCarbodur S-512;
 б) – балка підсилена полотном SikaWrap

Рисунок 2.6 – Вигляд балок, що зруйнувались

Висновки до розділу 2

Розроблена програма та методика експериментальних досліджень виявилися ефективними для отримання нових даних про деформативність згинальних залізобетонних елементів в розтягнутій зоні до та після їх підсилення композитними матеріалами. Ці дослідження охоплювали як одноразові, так і малоциклові навантаження.

Розроблена конструкція пробних зразків та розпланований обсяг експериментальних досліджень забезпечили повну реалізацію поставленої мети та завдань у цих дослідженнях.

РОЗДІЛ 3

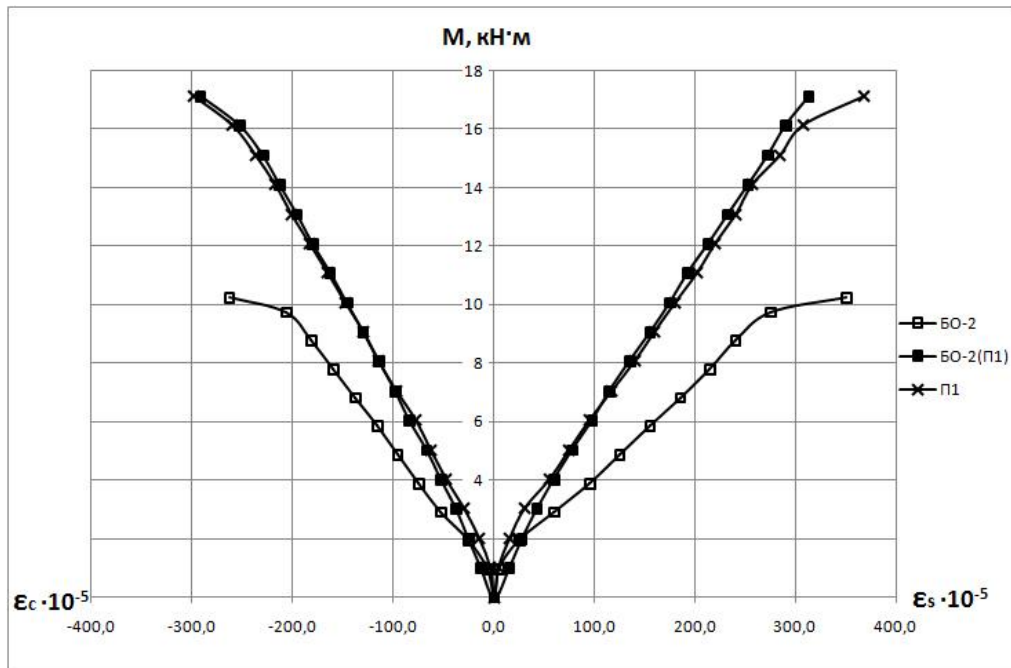
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Напружено-деформований стан згинних армованих балок при дії одноразового статичного навантаження

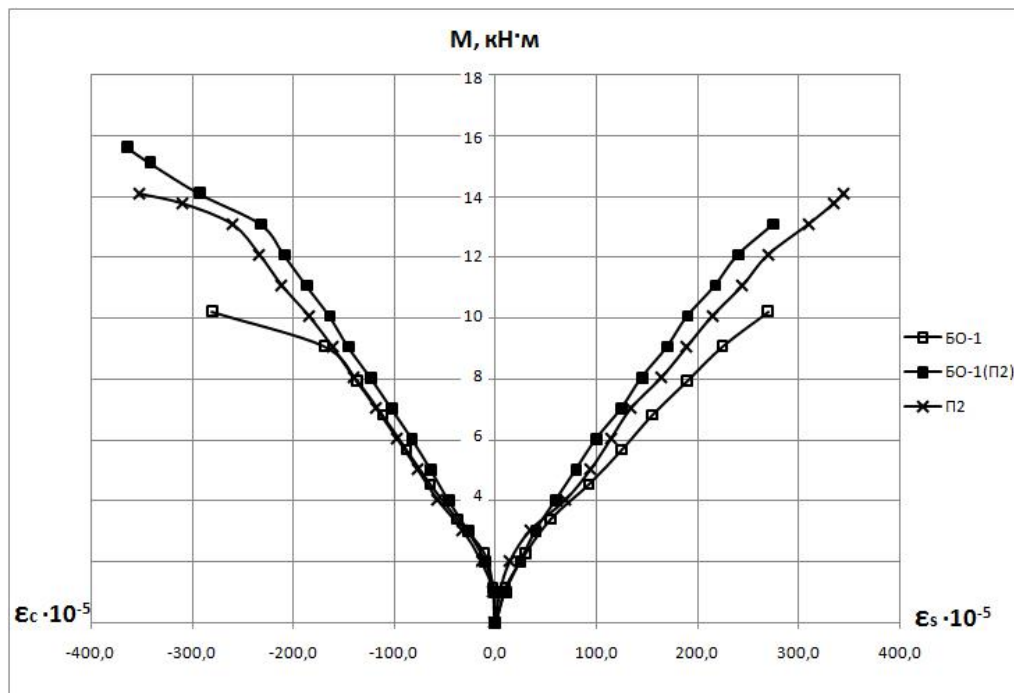
Для порівняння напружено-деформованого стану балок до та після підсилення, а також виявлення впливу історії навантаження на подальшу роботу конструкції, на рисунках 3.1, 3.2 та 3.3 наведені зведені графіки. Графіки відображають деформацію крайньої стиснутої фібри бетону, розтягнутої арматури, елемента підсилення та змінення вертикального розміру стиснутої зони бетону під час випрабування балок БО-1, БО-2 перед їх зміцненням, БО-2(П1), БО-1(П2) опісля зміцнення та армування балок П1, П2, які раніше не були піддані випробуванням.

На рисунку 3.1 показані графіки, що демонструють залежність деформацій останніх стиснутих фібр на бетоні пробних зразків від величини зовнішнього моменту для двох видів підсилення. Порівнюючи ці два види підсилення, можна зробити висновок, що балки, які підсилені композитною стрічкою, мають меншу деформативність. Зі збільшенням навантаження криві деформації балок до того, як вони були зміцнені стрічкою (БО-2), а також після їх зміцнення (БО-2(П1)) є різними. На останніх етапах навантаження, приблизно з однаковою величиною моменту, деформація стиснутого бетону підсиленого зразка становить близько 1,6 рази менше.

Аналізуючи графіки деформації балки БО-1 до та після підсилення полотном, можна побачити, що до моменту $9 \text{ кН}\cdot\text{м}$ лінії практично співпадають. Відхилення відбувається тільки на останньому етапі навантаження, коли арматура в непідсиленому зразку досягає межі текучості. Іншими словами, деформація конструкції та внутрішнього сталевого підсилення в такому зразкові під час усіх випадків є подібним.



а)



б)

а) – стрічка; б) –полотно

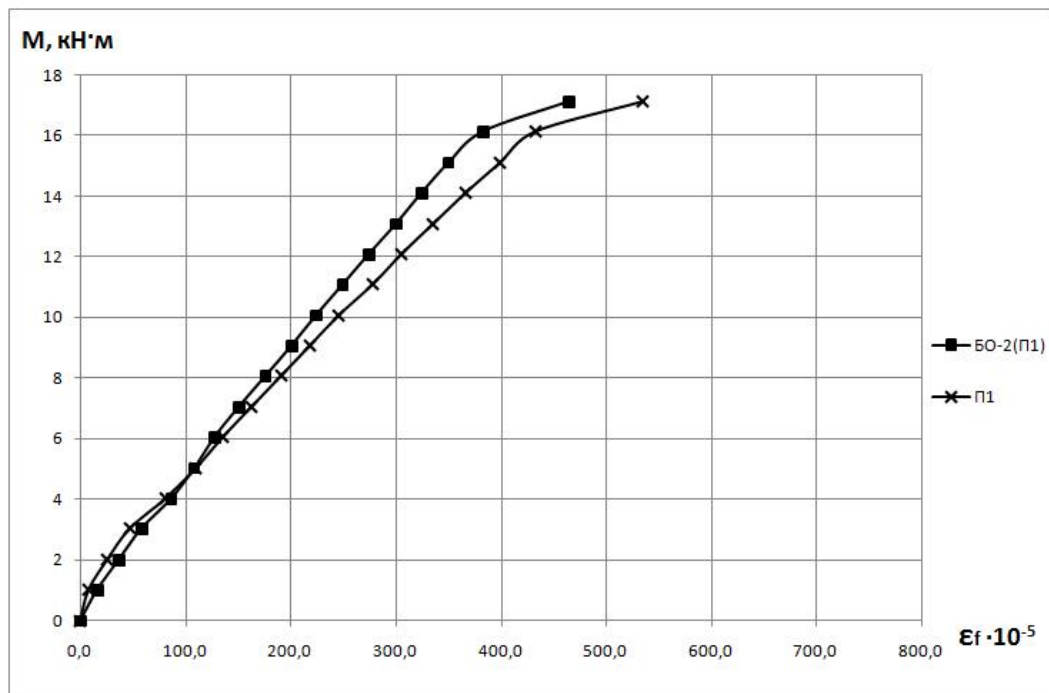
Рисунок 3.1 – Деформація останньої жгатої фібри бетону, а також внутрішньої частини сталевого арматурного підсилення досліджених балок:

Окремо варто звернути увагу на те, що працездатність балок з таким навантаженням або без нього має незначну різницю у значеннях, що

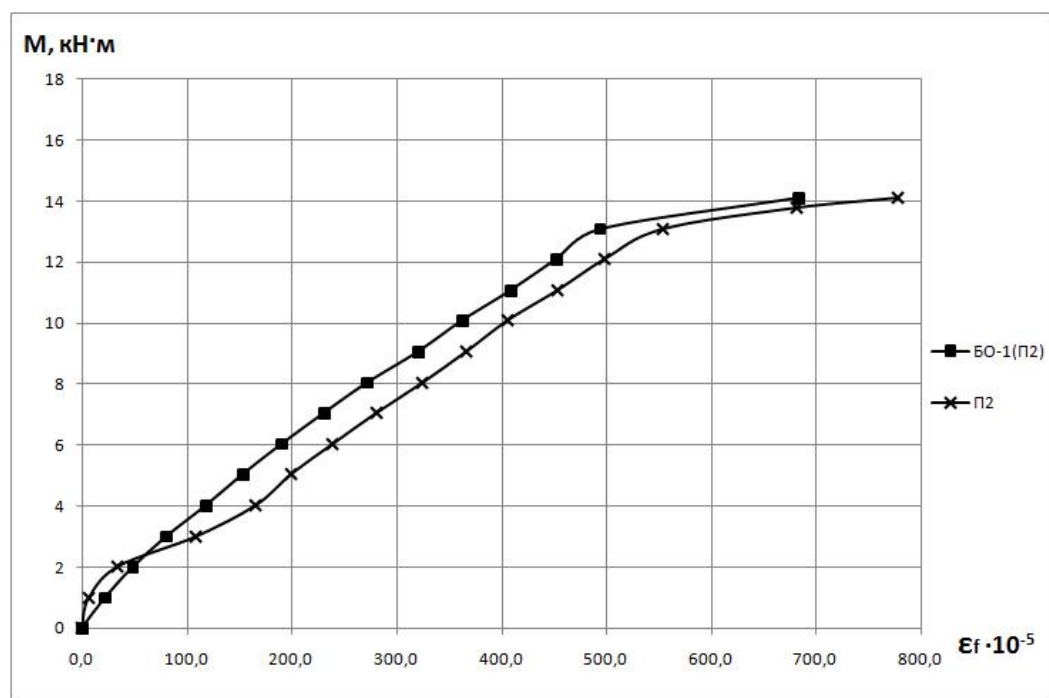
підтверджується дослідженнями. Криві деформації в підсилених стрічкою зразках повністю збігаються, за винятком незначних відхилень у зразках, що підсилені полотном. Наприклад, при величині моменту $12,09 \text{ кН}\times\text{м}$, відносні деформації стиснутої зони бетону становлять 209×10^{-5} для балки БО-1(П2) та $232,5\times 10^{-5}$ для балки П2, з розбіжністю в 11%.

Однією з відмінностей між балками БО-2(П1) та П1 є спостереження за першими двома ступенями навантаження (до моменту $2 \text{ кН}\times\text{м}$), де в зразках, що не були попередньо випробовані, відбувається утворення тріщин, а в уже випробуваних зразках спостерігається розкриття існуючих тріщин. Графічно це відображається у вигині кривої деформації для балки П1 та прямої лінії деформації для балки БО-2(П1). Варто зауважити, що в зразках, підсилені полотном, такий процес не відбувається. Лінії деформації всіх трьох зразків цього виду підсилення містять цей криволінійний етап, дає розуміння того, що у випадку використання полотна, воно забезпечує нерозкриття існуючих тріщин при здійсненні початкового його навантаження. Аналогічне відбувається і при деформації внутрішніх частин металевго підсилення.

З рисунка 3.1 видно, що деформування внутрішньої сталевго арматури має аналогічний характер деформуванню стиснутого бетону. При порівнянні деформацій зовнішньої композитної арматури та внутрішньої сталевго арматури (рисунки 3.2, 3.3), можна побачити, що деформації композиту трохи більші, оскільки він розташований нижче у поперечному перерізі дослідної балки. Максимальні деформації, зафіксовані перед розривом стрічки від тіла балки, становлять приблизно 500×10^{-5} . Це підтверджує теорію, що при розрахунках згинальних залізобетонних конструкцій, підсилені композитною стрічкою без попереднього навантаження, використовується максимальна деформація стрічки 500×10^{-5} . Найбільше значення деформацій у деформованих, розтягнутих частинах полотна до його розриву сягають 600×10^{-5} та більше у деяких балках. Важливо охарактеризувати, що відзначені значення деформацій армування не є змінами, що пропорційні до моменту розриву стрічки або розриву полотна підсилення.



а)



б)

а) –стрічка; б) –полотно

Рисунок 3.2 – Деформації на зовнішній композитній арматурі балок:

В результаті проведених експериментальних випробувань було вивчено важливу характеристику напружено-деформованого стану - висоту стиснутої зони

пробних зразків (див. рис. 3.3). Аналізуючи загальну зміну цієї характеристики під час навантаження, з графіків стає очевидним, що на першому проведеного навантаження на балках БО-2, П1, БО-1 та П2, їхня лінія нейтралі перебувала у діапазоні 65-80 мм. При подальшому збільшенні навантаження, висота стиснутої зони зменшувалась і стабілізувалась при значенні моменту 2-3 кН×м, що відповідає моменту утворення тріщин. На останніх етапах навантаження непідсилені балки проявляли збільшення висоти стиснутої зони, тоді як в підсиленому випадку спостерігалось зменшення.

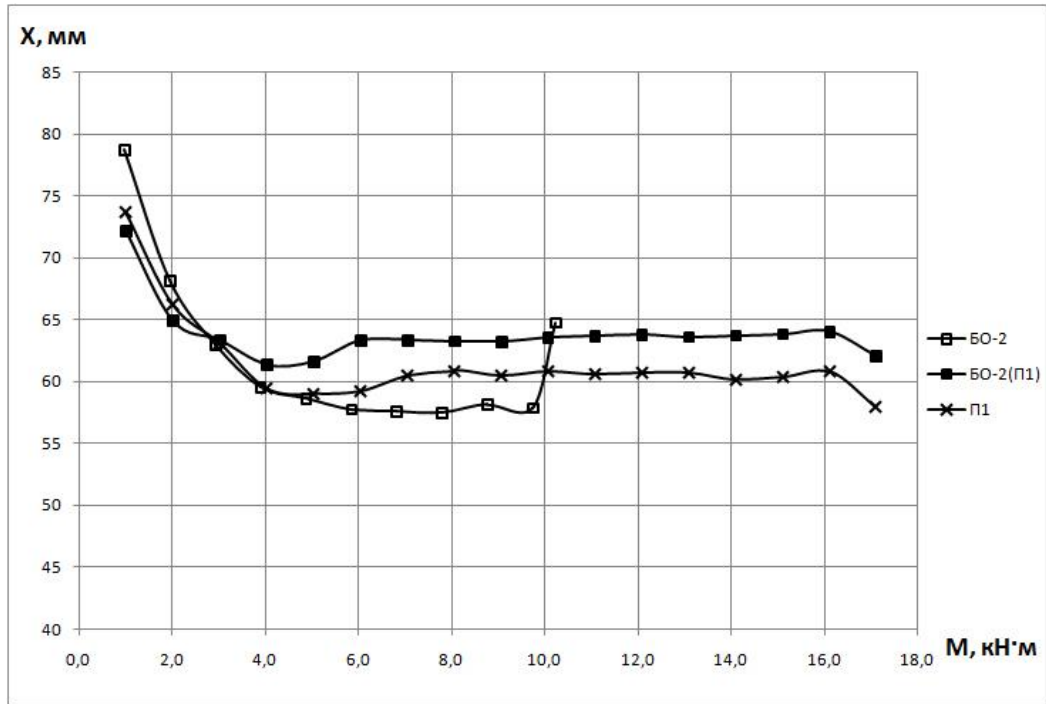
Вертикальна протяжність зони стиснення в балках БО-1 та БО-2 мало змінювалась до та після їх підсилення, при цьому розбіжність на горизонтальних ділянках кривих складала не більше 10%. Водночас, у підсиленому дослідному зразку, використаному стрічкою, спостерігалася тенденція до збільшення висоти стиснутої зони. Значення висоти при випробуванні БО-1(П2) та П2 були практично однакові, тоді як у балках БО-2(П1) та П1 вони були близькими.

3.2 Деформативність експериментальних балок при дії одноразового статичного навантаження

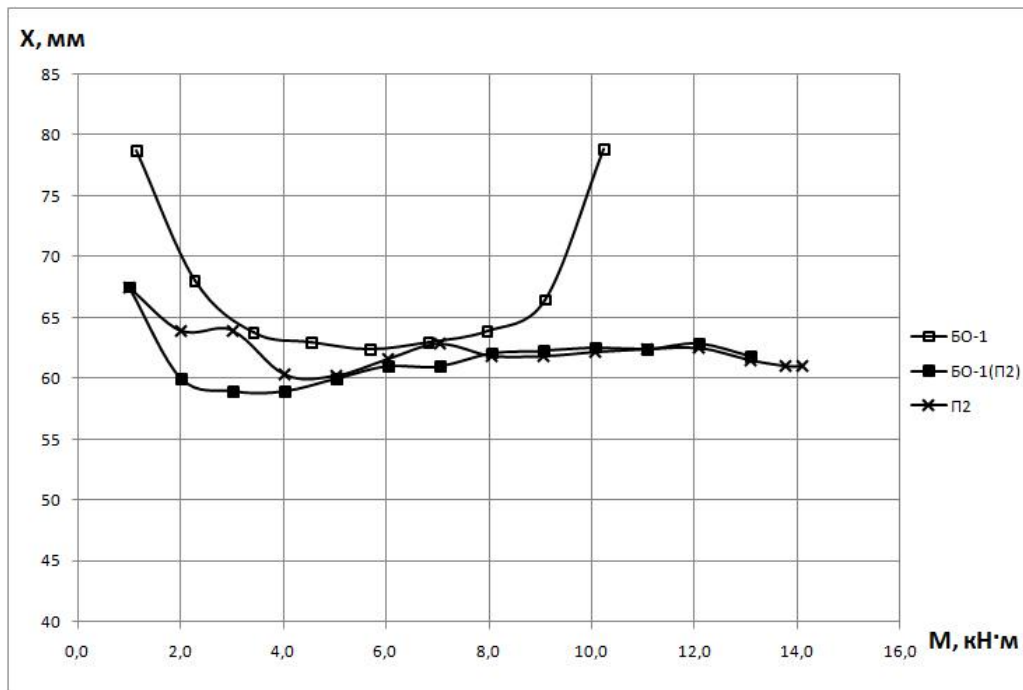
На кожному етапі навантаження було здійснено контроль за прогинами на опорах та посередині прольоту пробного зразка. Зафіксовані значення прогинів на опорах надали можливість говорити про отримання чистого прогину в середині дослідженої балки.

На рисунку 3.4 показано зміну прогинання балок залежно від значення моменту прикладеного навантаження. З цих графіків видно, що на перших етапах навантаження прогин непідсиленого та підсиленого зразків був подібним. Проте після перевищення моменту тріщиноутворення, прогин непідсиленої балки БО-1 та БО-2 почав зростати порівняно з підсиленими зразками. При цьому зберігалася залежність між прогинами підсиленого та непідсиленого зразків, які раніше не піддавалися випробуванню - їхні прогини були схожі. В у таблиці було детально,

наведено порівняння значень прогинів непідсиленого та підсиленого методами дослідних балок на кожному етапі навантаження.



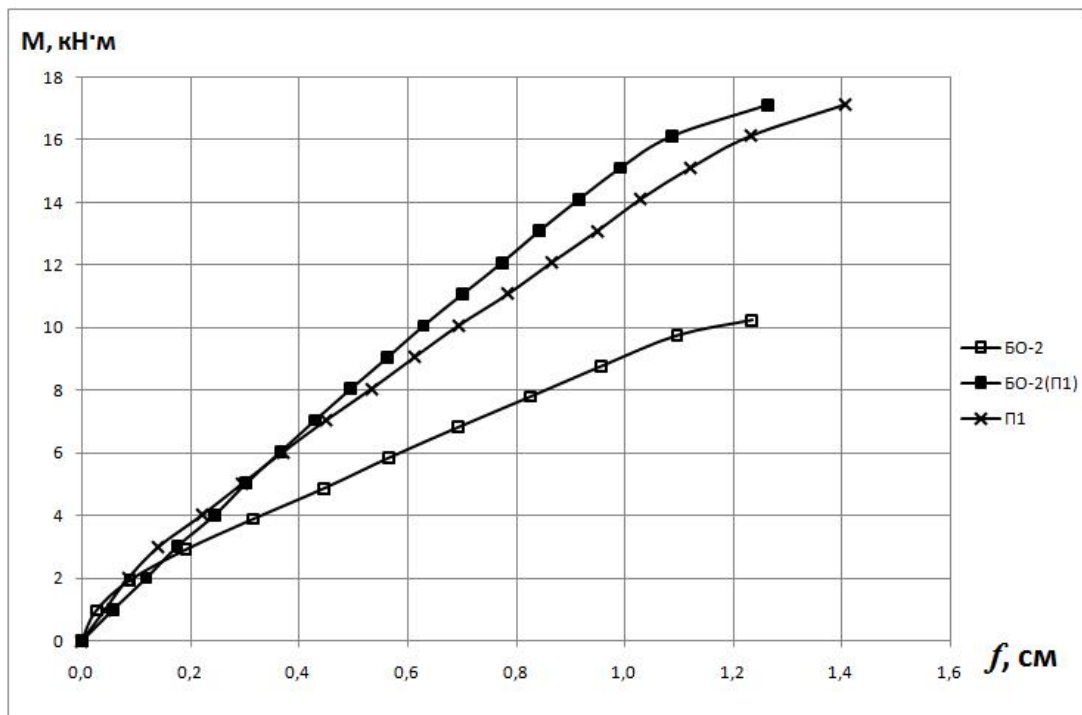
а)



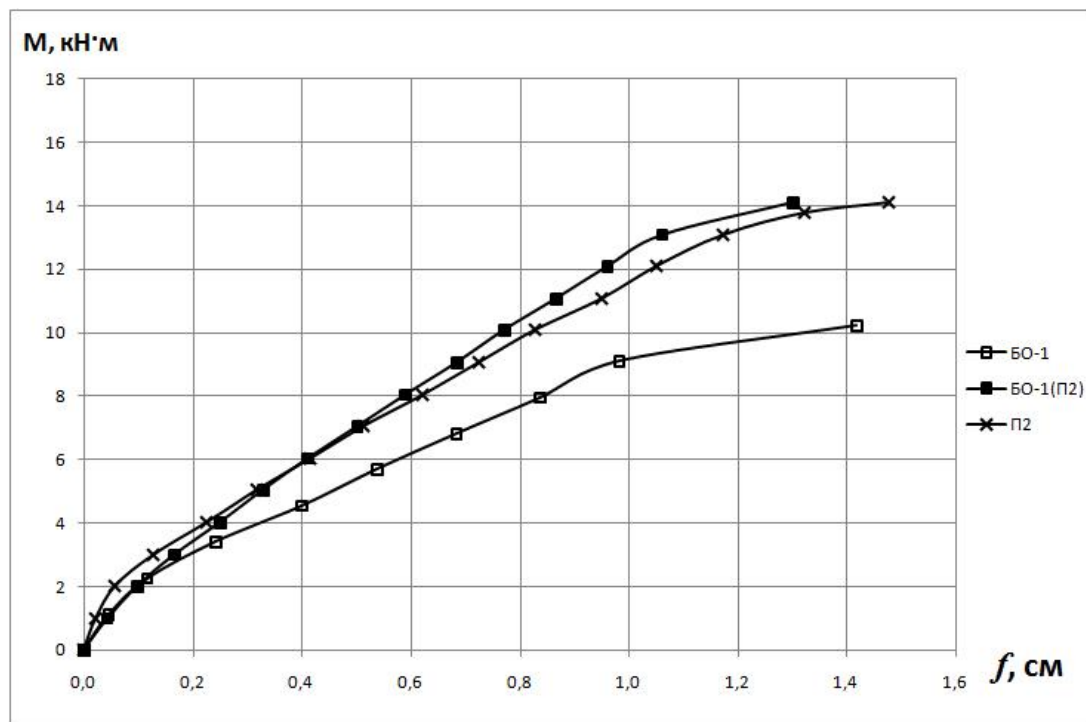
б)

а) – стрічка; б) – полотно

Рисунок 3.3 – Змінення вертикального розміру зони стиснення досліджених балок



а)



б)

а) – стрічка; б) – полотно

Рисунок 3.4 – Змінення величини прогину досліджених балок

Балки, які були підсилені стрічкою, проявляють меншу деформативність, ніж ті, що були підсилені полотном, і відповідно вони мають більшу жорсткість.

Наприклад, при моменті 14,11 кН×м прогин балки П1 становить 1,029 см, тоді як у балки П2 прогин становить 1,478 см, що на 44% більше.

Важливо зазначити, що до досягнення моменту 6 кН×м прогини у підсиленіх балках БО-2(П1), П1 та БО-1(П2), П2 були дуже схожими. Після перевищення моменту 6 кН×м спостерігається незначне зменшення прогинів у балках, підсиленіх попередньо. В останньому випадку різниця навантажень в прогинах становить 11% для балок, підсилені стрічкою, і 14% для балок, підсилені полотном.

3.3 Напружено-деформований стан згинальних залізобетонних балок випробуваних при малоцикловому навантаженні

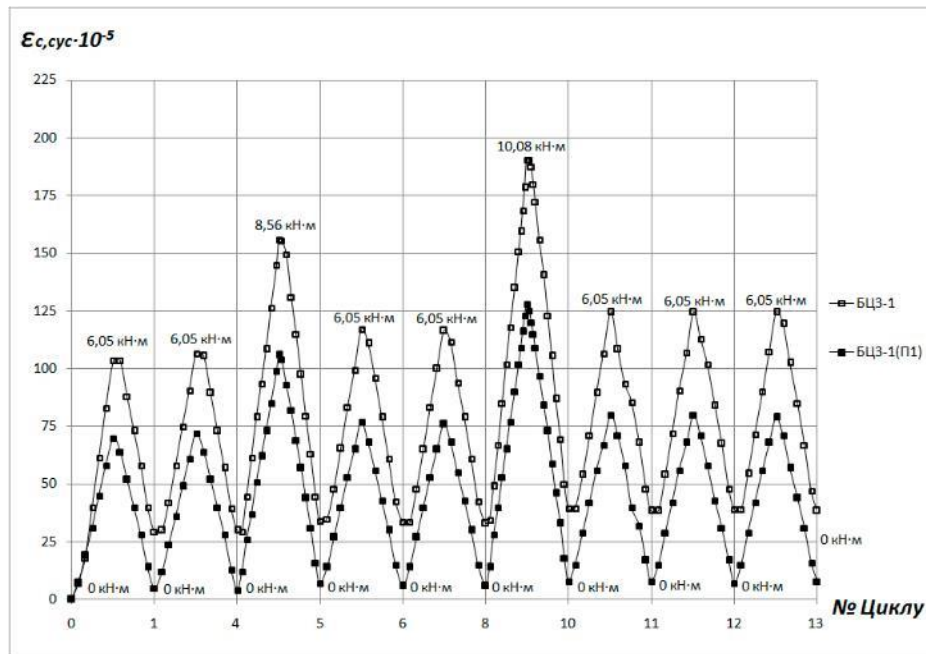
Керуючись методикою проведення досліджень, експериментальні балки були піддані впливу малоциклових навантажень трьох видів. Результати випробування балок БЦЗ-1, а також підсиленої балки П1-Ц4 без попереднього випробування представлені на рисунках 3.5, 3.6, 3.7 та 3.8. Для цих зразків було застосовано найбільш не вигідні варіанти малоциклових навантажень з рівнями 0,85 та 1,0.

На рисунку 3.5(а) показано деформацію крайньої стиснутої фібри бетону непідсиленої балки БЦЗ-1 та зміцненої частини БЦЗ-1(П1), які були випробувані з однаковими навантаженнями (за 1,0 взято граничне експлуатаційне навантаження непідсиленої балки).

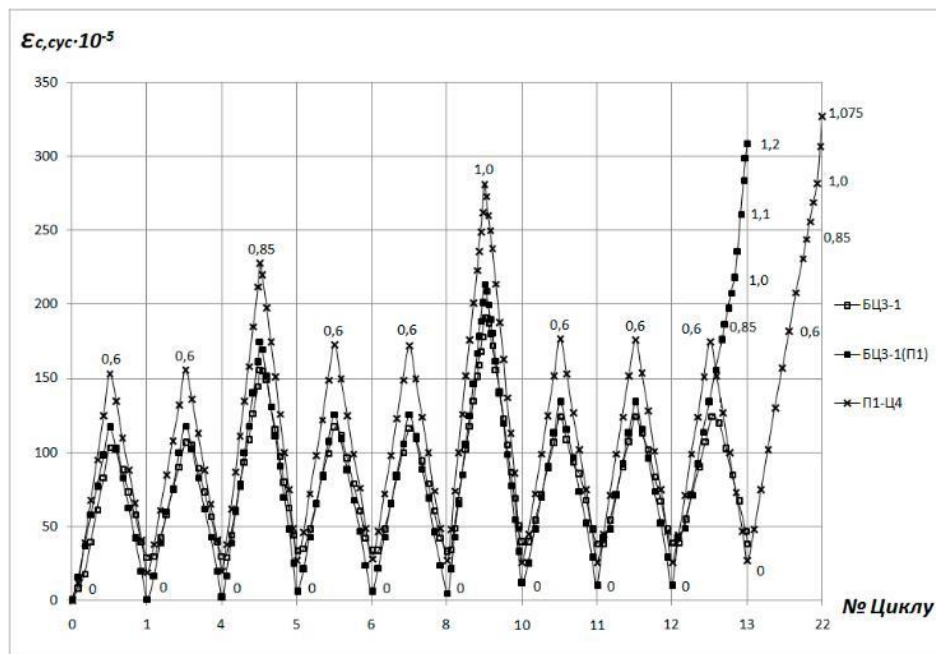
З рисунку 3.5(а) видно, що деформація стиснутого бетону непідсиленої балки при малоциклових навантаженнях у верхніх точках значно більша, ніж у підсиленої балки. Наприклад, при моменті 8,56 кН×м, що відповідає рівню 0,85, деформація стиснутого бетону балки БЦЗ-1 становить 156×10^{-5} , а для балки БЦЗ-1(П1) - 106×10^{-5} .

На рисунку 3.5(б) представлена робота стиснутого бетону непідсиленої балки БЦЗ-1 та зміцненої частини БЦЗ-1(П1) і підсиленої балки П1-Ц4, які були випробувані з однаковими рівнями навантаження. Для підсиленої балки взято

значення 1,0, що було встановлено в результаті випробування на однократне навантаження. З графіка видно, що криві балок БЦ3-1(П1) та БЦ3-1, тоді деформація балки П1-Ц4 є більшою.



а)



б)

а) – при однакових величинах моменту навантаження; б) – при однакових рівнях навантаження.

Рисунок 3.5 – Деформування крайньої стиснутої фібри бетону дослідних балок випробуваних малоцикловим навантаженням

Аналогічні деформації спостерігаються внутрішньої сталевій робочій арматури (див. рис. 3.6).

На рис. 3.6(a) видно, що деформації сталевій арматури непідсиленої балки БЦЗ-1 та зовнішньої композиційної стрічки БЦЗ-1(П1) однакові, що свідчить про те, що стрічка підсилення відносить більшу частину навантаження. У цей же час, внутрішня сталева арматура розвантажується.

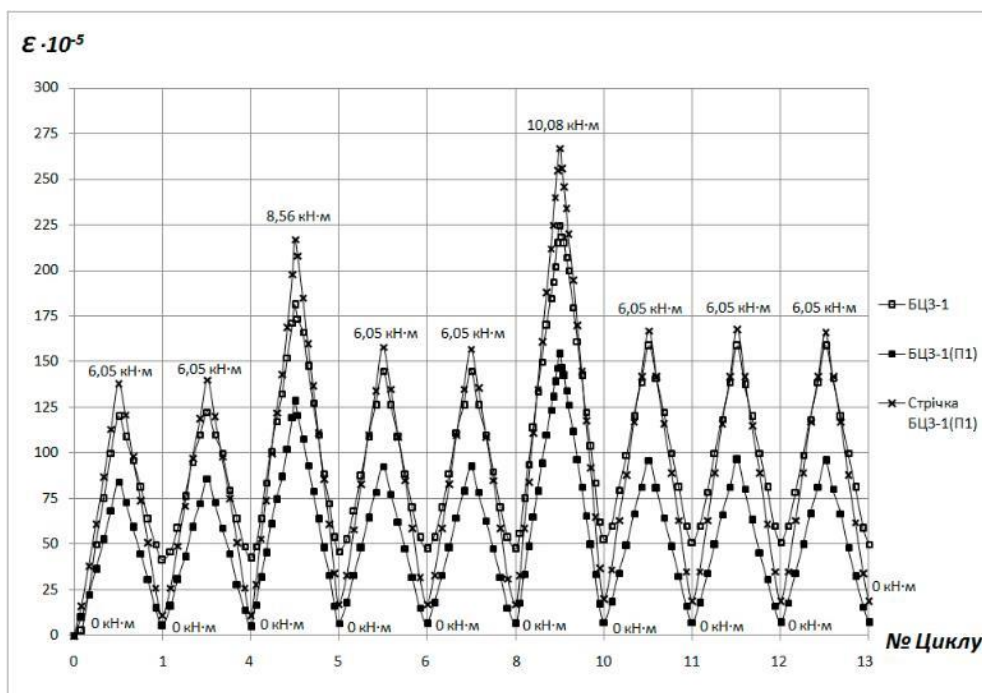
При розгляді рисунку 3.6(б) відзначається, що деформації арматури підсиленої та непідсиленої балок при однакових навантаженнях майже однакові. Особливу увагу звертається на деформацію, що залишилася опісля розвантаження до нуля при закінченні кожного циклу.

У непідсиленій та підсиленій балках без попереднього випробовування величина цих деформацій, зокрема у внутрішній сталевій арматурі, становить приблизно 50×10^{-5} . Це свідчить про пластичні деформації, які залишаються у бетоні після першого навантаження, не дозволяючи йому повністю відновити свій початковий стан. Це призводить до залишкових деформацій у внутрішній арматурі та елементах підсилення, а внаслідок цього тріщини не повністю закриваються (див. рис. 3.7).

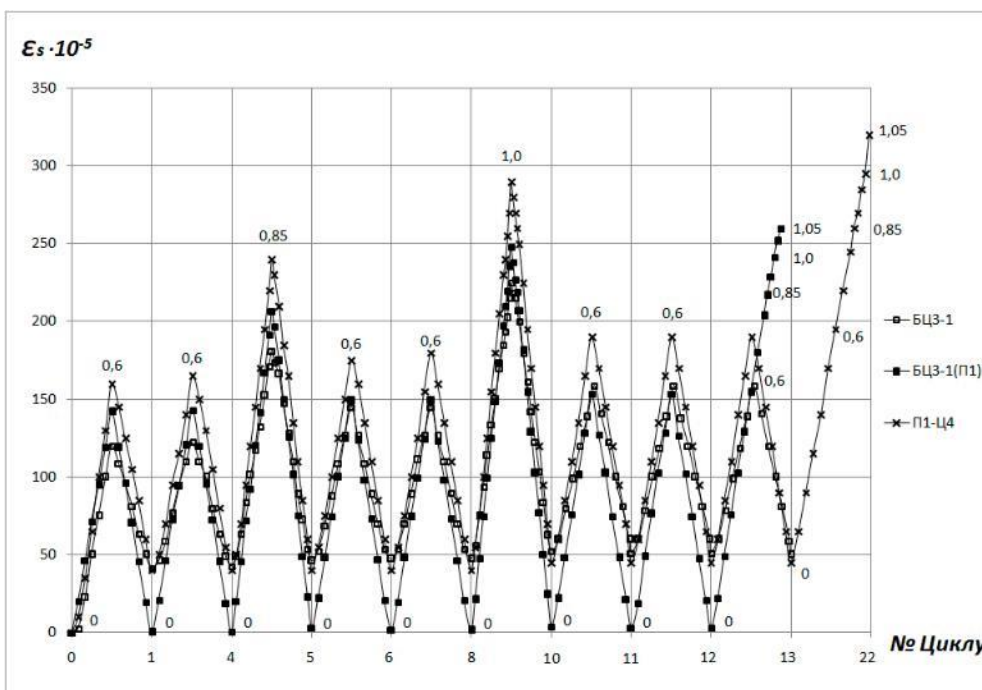
Залежно від історії навантаження в балках, що підсилені після попереднього випробовування, залишкові деформації на графіку не відображаються. Якщо врахувати залишкові деформації, при розвантаженні балки БЦЗ-1 до нуля та балки БЦЗ-1(П1) на першому етапі випробувань з малоцикловими навантаженнями, отримаємо залишкові деформації, які близькі до балок БЦЗ-1 та П1-Ц4. У випадку досліджених зразків через історію завантаження відбулося ущільнення бетону в стиснутих зонах (зазнавши пластичних деформацій), і при подальшому навантаженні він працює практично в пружній стадії.

Якщо порівняти два види підсилення при однакових навантаженнях, відомо, що підсилення стрічкою є більш деформативним. Однак слід зазначити, що при загальному розгляді деформацій балок при однакових навантаженнях (з урахуванням навантаження, взятого як 1,0 для кожного виду підсилення),

деформації всіх елементів конструкцій при обох видах підсилення майже однакові.



а)



б)

а) – при однакових величинах моменту навантаження; б) – при однакових рівнях навантаження.

Рисунок 3.6 – Деформування внутрішньої робочої сталевий арматури дослідних балок випробуваних малоцикловим навантаженням

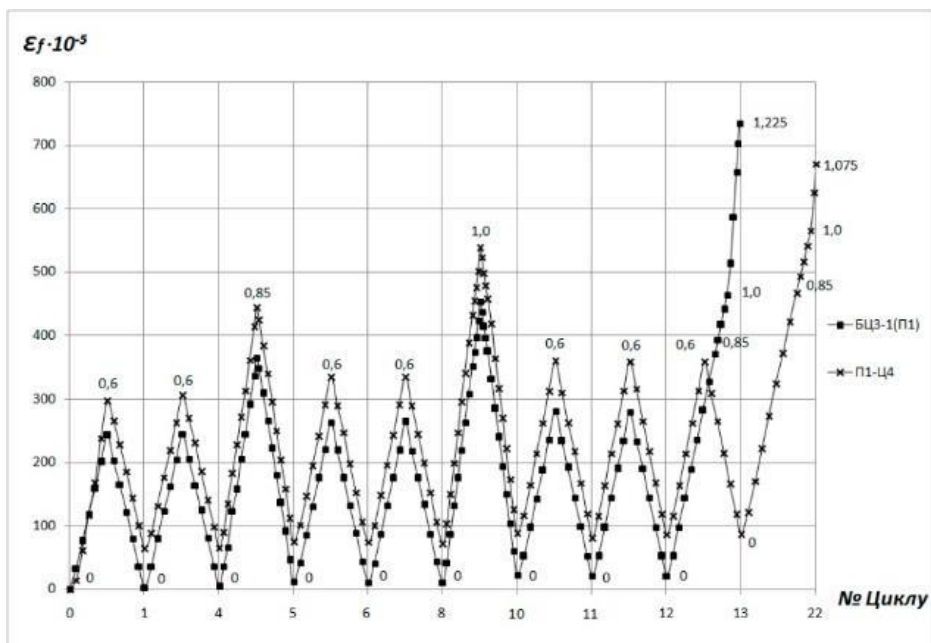


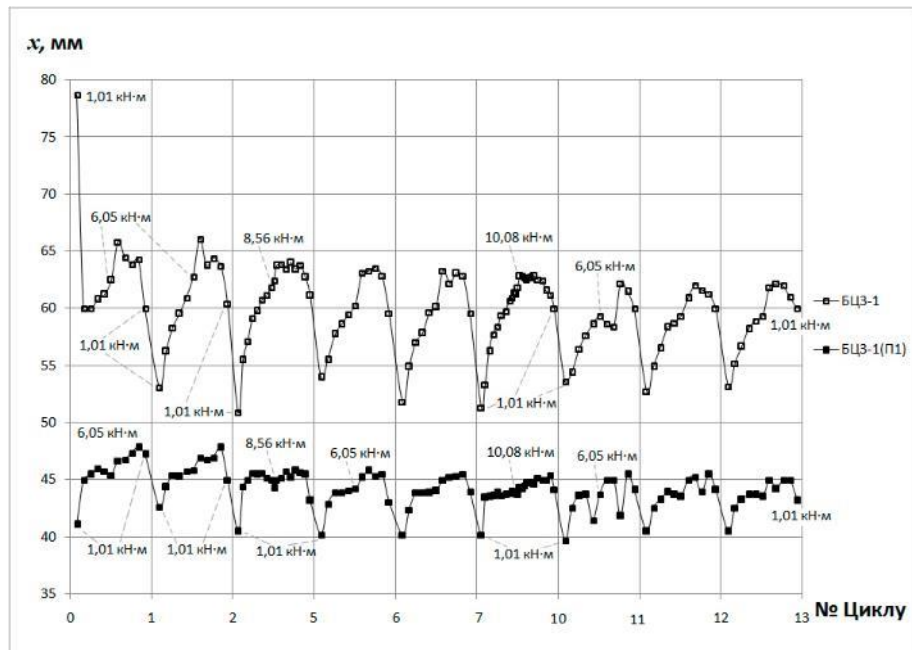
Рисунок 3.7 – Деформації зовнішньої композитної арматури досліджених та випробуваних зразків за рівних значень малоциклових навантажень

Рисунок 3.8 (а) демонструє зміни висоти стиснутої зони випробуваних балок при однакових рівнях навантажень. Щоразу збільшуючи кількість циклів навантажень спостерігається зменшення значення x , обидвох випадках, як у зміцненій, так і в незміцненій балці. При тестуванні балок з однаковими рівнями навантаження (рисунок 3.8 (б)), у зміцненій балці БЦЗ-1(П1) було спостережено незначне збільшення вертикального розміру зони стиснення. У зразку П1-Ц4 незадовго до збільшення до 1,0 аналогічно було зафіксовано збільшення значення x , проте опісля досягнення 10-го циклу вертикальний розмір зони стиснення починає зменшуватись.

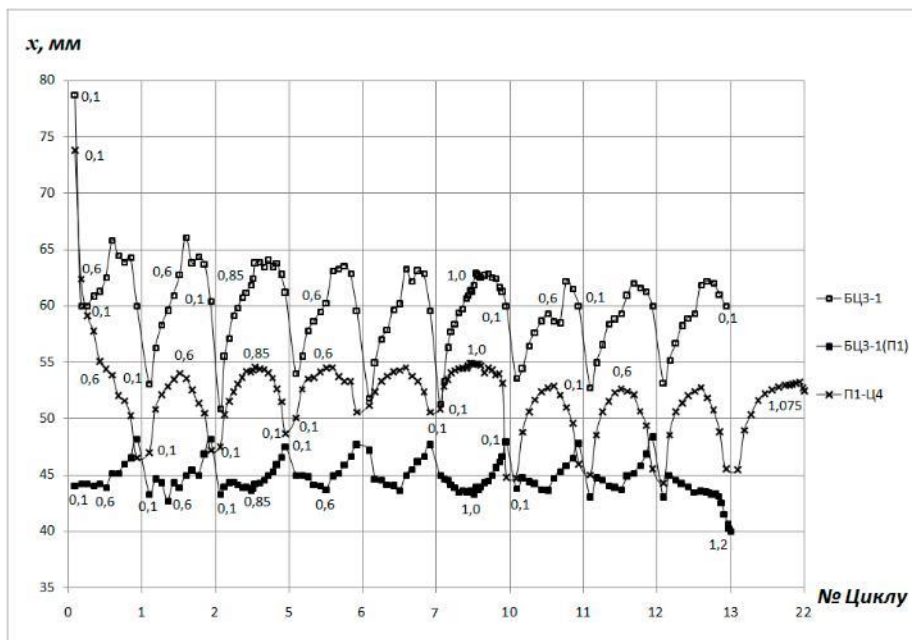
У таблиці 3.1 показано зміну деформації, прогину та ширин розкриття тріщин у всіх зразках, підсилені стрічкою, при однаковому моменті. Порівняння цих показників у зразках, що були випробувані за одноразового циклу навантажень із зразками, що отримали малоциклове навантаження, продемонструвало, що ці значення є наближеними.

Порівнюючи величини деформацій, прогинів та ширини розкриття тріщин у балках, підсилені, що були попередньо випробувані на малоциклових

навантаженнях, отримали, що значення на 1-му, 6-му та завершальному циклі (6-й - цикл після сплеску навантаження), трохи зростають перед тим, як має відбутись збільшення рівню навантажень до 0,85, а згодом – стабілізуються.



а)



б)

а) – за рівних значень моменту навантажень; б) – за рівних значень навантажень.

Рисунок 3.8 – Змінювання вертикального розміру зони стиснення досліджених зразків, які були випробувані малоцикловим навантаженням

Балки, що підсилювались без попереднього навантаження, виявляють значний приріст деформацій, прогину та ширини розкриття тріщин на початкових циклах. Це свідчить про те, що малоциклові навантаження, особливо високого рівня, впливають на роботу підсиленої розтягувальної зони згинових залізобетонних балок. Це явище пояснюється тим, що у підсиленій конструкції, яка була попередньо навантажена, стиснутий бетон працює більш пружно на початкових циклах навантаження. Це означає, що він здатний ефективно поглинати та розподіляти навантаження, уникнувши значного приросту деформацій та тріщинуватості.

Таблиця 3.1 – Порівняння деформацій, прогинів та ширини розкриття тріщин в балках підсилених стрічкою при однаковій величині моменту:

$$M = 8,06 \text{ кН}\times\text{м}$$

№ циклу	Назва характеристики	Однократне навантаження		Малоциклове навантаження			
		БО-2(П1)	П1	БЦ1-2(П1)	БЦ2-2(П1)	БЦ3-1(П1)	П1-Ц4
1	$\varepsilon_c \times 10^{-5}$	114	115	108	112	98	125
6				117,5	121	107	149
13				120,5	122	114	151
1	$\varepsilon_s \times 10^{-5}$	135	140	115	126,8	119,4	130
6				120	129,6	125	150
13				120	130	129	165
1	$\varepsilon_f \times 10^{-5}$	176	191	223	209	201	238
6				240	224	221	291
13				239	225	236	313
1	w, мм	0,34	0,1	0,26	0,22	0,26	0,12
6				0,26	0,24	0,26	0,16
13				0,26	0,24	0,28	0,16
1	f, см	0,496	0,534	0,5	0,488	0,446	0,522
6				0,555	0,532	0,486	0,663
13				0,557	0,536	0,519	0,718

Такий самий сценарій можна спостерігати у балках, які були підсилені композитним полотном (див. таблицю 3.2). Незважаючи на те, що цей метод

підсилення є більш деформативним, всі закономірності, описані вище, йому повністю відповідають.

Деформація крайньої стиснутої фібри бетону, внутрішнього металевого підсилення та зовнішнього композитного підсилення, а окрім цього, ще отримані прогини зразків П1-Ц4, П2-Ц4, П1 та П2, які підсилювались без попереднього випробовування, є більшими, ніж у випадку зразків, які мали попередню історію навантаження. Це пояснюється тим, що при аналізі результатів експериментів на зразках з попередньою історією навантаження, не враховувалися залишкові значення цих показників після розвантаження до нуля. З метою урахування залишкових величин, у таблиці 3.3 наведено порівняння деформацій, прогинів та ширини розкриття тріщин у непідсиленіх та підсиленіх балках з врахуванням їх залишкових значень після попереднього випробовування.

Таблиця 3.2 – Порівняння деформацій та прогинів в балках підсиленіх полотном при однаковій величині моменту: $M = 7,05 \text{ кН}\times\text{м}$

№ циклу	Назва характеристики	Однократне навантаження		Малоциклове навантаження			
		БО-1(П2)	П2	БЦ1-1(П2)	БЦ2-1(П2)	БЦ3-2(П2)	П2-Ц4
1	$\varepsilon_c \times 10^{-5}$	103	117,5	101	110	97	117
6				111	117	105	147
13				111	118	114	213
1	$\varepsilon_s \times 10^{-5}$	125	135	110	122,5	105	109
6				115	132,5	120	137
13				115	132,5	115	198
1	$\varepsilon_f \times 10^{-5}$	231	281	173	217	198	226
6				190	239	218	297
13				191	240	251	470
1	$f, \text{ см}$	0,501	0,514	0,456	0,448	0,425	0,482
6				0,504	0,481	0,459	0,657
13				0,505	0,483	0,452	0,855

З аналізу отриманих результатів, запрезентованих у таблиці 3.3, випливає, що підсилення має помітний вплив на конструкцію, навіть якщо врахувати всі залишкові деформації, прогини та ширину розкриття тріщин, що існували до

проведення підсилення. Зокрема, прогини у підсилених зразках зменшуються на до 20% порівняно з непідсиленими зразками. Деформації в підсиленому стані практично не відрізняються в зразках, які були підсилені з передісторією навантаження та без неї. Це означає, що історія навантаження на конструкцію до підсилення майже не впливає на її напружено-деформований стан після підсилення.

У той же час, ширина розкриття тріщин в підсиленому стані зменшується до 40% порівняно з непідсиленими зразками. Така ж тенденція спостерігається в зразках, які були підсилені без попереднього навантаження. Порівняно з зразками, що мали передісторію навантаження, ширина розкриття тріщин зменшилась навіть до 50%. Це пояснюється збільшенням кількості тріщин по довжині балок і більш рівномірним розподілом їх розкриття. Однак, ширина розкриття тріщин в основній масі залишається приблизно однаковою. Отже, отримані результати підтверджують ефективність підсилення конструкцій та його вплив на зниження прогинів і ширини розкриття тріщин, що сприяє поліпшенню їхньої міцності та надійності.

Таблиця 3.3 – Порівнювання отриманих значень після попереднього випробовування при рівні навантаження 1,0

Вид підсилення	Вид навантаження	Назва балки	$\varepsilon_c \times 10^{-5}$	$\varepsilon_s \times 10^{-5}$	w, мм	f, см
Стрічка	Однакові величини навантаження	БЦЗ-1(П1)*	166,5	204	0,3	0,804
-		БЦЗ-1	190,5	225	0,48	0,99
Полотно		БЦЗ-2(П2)*	191,5	208,7	-	0,864
-		БЦЗ-2	201	256	0,5	0,976
Стрічка	Однакові рівні навантаження	БЦЗ-1(П1)**	264,5	308,7	0,48	1,236
-		П1-Ц4	281	290	0,28	1,211
Полотно		БЦЗ-2(П2)**	282	284	-	1,256
-		П2-Ц4	337	313,4	-	1,4

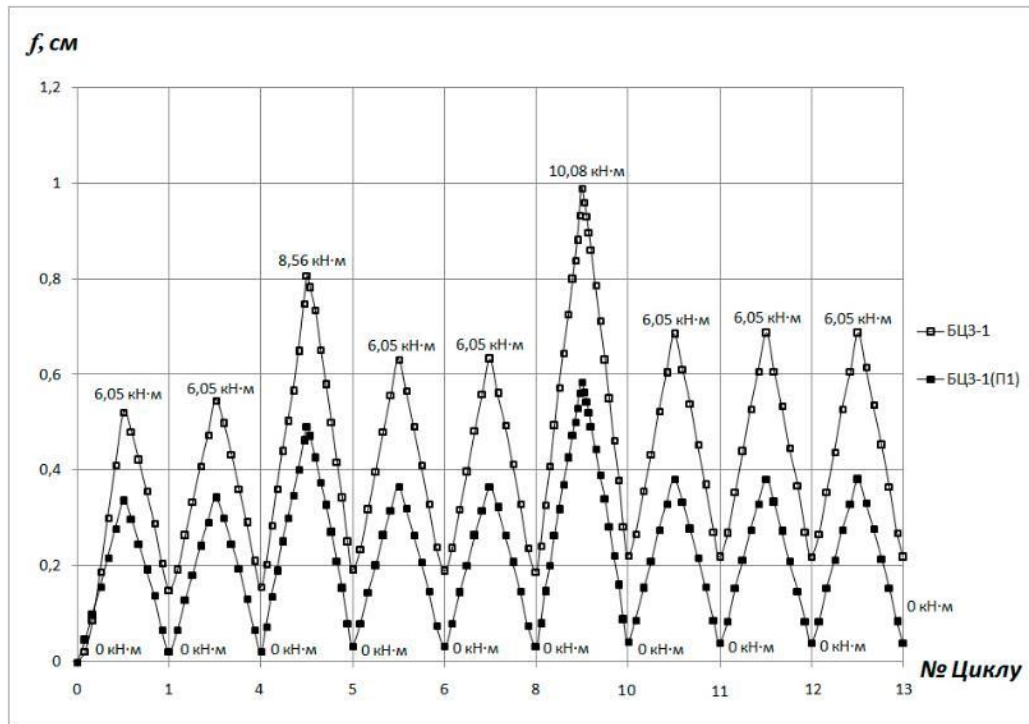
* – враховані залишкові деформації, прогини та ширина розкриття тріщин, що були зафіксовані в непідсиленому дослідному зразку після його розвантаження до нуля.

** – враховані залишкові деформації, прогини та ширина розкриття тріщин ті, що при " * " та ті, що були зафіксовані в підсиленому зразку після першого етапу випробувань малоцикловим навантаженням (за 1,0 взято граничне експлуатаційне навантаження визначене за результатами випробувань непідсиленних балок) при його розвантаженні до нуля.

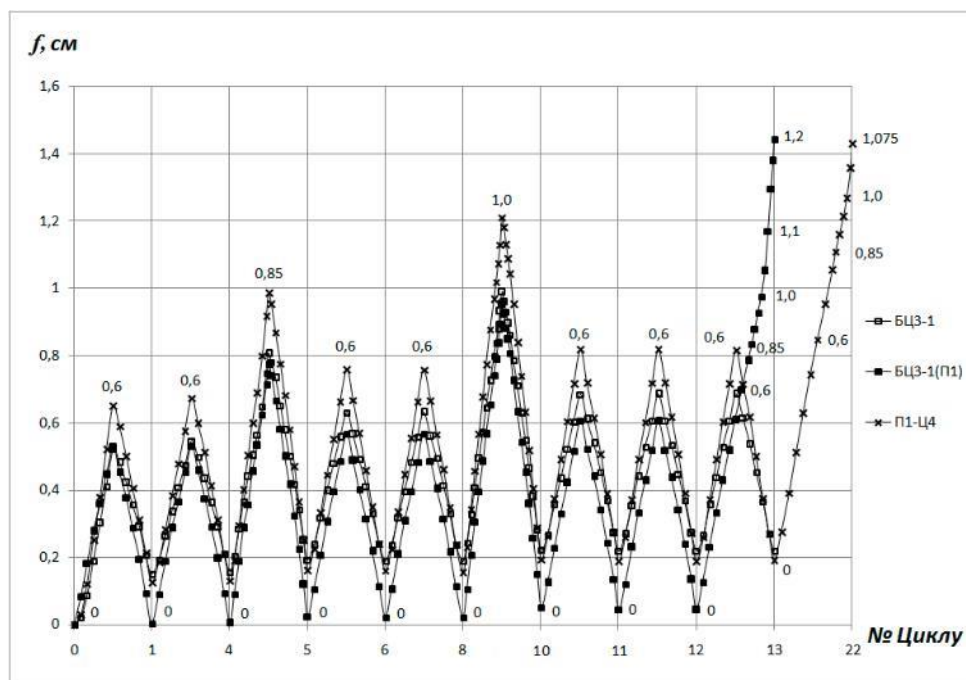
3.4 Деформативність експериментальних балок при малоцикловому навантаженні

Дослідження зміни прогину балок до та після підсилення в процесі малоциклових навантажень показали, що цей процес має схожий характер з деформуванням конструкції в цілому (див. рис. 3.9). Графік на рисунку 3.9(а) показує, що підсилені конструкції є значно жорсткішими і здатними витримувати більші навантаження (див. рис. 3.9 (б)).

Випробування підсиленого зразка під малоцикловими навантаженнями підтвердили висновок, запропонований раніше авторами Н.І. Ільчук, Є.М. Бабич [17, 18, 19], що після п'ятого циклу з однаковим навантаженням відбувається повна стабілізація деформацій всіх елементів конструкції, включаючи прогин та ширину розкриття тріщин. Зміни величин відбуваються тільки при збільшенні рівня навантаження, а наступні цикли вже не впливають на ці параметри. Для балок П1-Ц4 та П2-Ц4, були проведені додаткові цикли. У цих циклах верхній рівень навантаження був встановлений на рівні 1,0, а спостерігалось зростання деформацій, прогинів та ширини розкриття тріщин на трьох циклах з верхнім рівнем 0,6. Випробування тривали до того моменту, коли ці показники досягли сплеску та стабілізувалися. Для балки П1-Ц4 це сталося після 21-го циклу, а для балки П2-Ц4 - після 24-го циклу. Отримані результати свідчать про успішну роботу підсиленого зразка під малоцикловими навантаженнями, включаючи високі рівні навантаження.



а)



б)

а) – при однакових величинах моменту навантаження; б) – при однакових рівнях навантаження.

Рисунок 3.9 – Зміна величини прогину дослідних балок випробуваних малоцикловим навантаженням

Висновки до розділу 3

Проведені експериментальні дослідження деформативності згинальних залізобетонних балок, які були підсилені композиційними матеріалами на базі вуглепластиків в зоні розтягнення, надали можливість дослідити дію одноразових та малоциклових навантажень.

Малоциклові навантаження сприяють значному збільшенню несучої здатності підсиленого згинального залізобетонного елемента в розтягнутій зоні порівняно з однократним навантаженням. У окремих дослідних зразках спостерігався приріст до 7,5%.

Підсилені балки відзначалися зменшенням прогинів до 64%, а використавши отримані значення залишкових прогинів, та врахувавши їх – до 19%. Це свідчить про підвищення жорсткості підсиленої конструкції, що, в свою чергу, призводить до збільшення моменту тріщиноутворення вдвічі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні положення охорони праці

Законодавство про охорону праці складається з Кодексу законів про працю України: закону України „Про охорону праці” та інших нормативних актів. Закон України „Про охорону праці” був прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року і введений в дію з 24 жовтня 1992 року. Він визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону, їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим їм органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і установлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Головний об'єкт охорони праці - це людина в процесі праці, виробниче середовище, організація праці на виробництві. Основна мета охорони праці - це створення здорових і безпечних умов праці.

Важливими нормативними актами з питань охорони праці є міжнародні договори або міжнародні угоди, до яких приєдналась Україна у встановленому порядку. Крім того, законодавство про охорону праці складається з Кодексу законів про працю України та інших нормативних актів.

Крім законодавчих актів, правові відносини у сфері охорони праці регулюються підзаконними нормативно-правовими актами, Указами і розпорядженнями Президента, рішеннями Уряду, нормативними актами Міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади.

До найважливіших актів з охорони праці належать:

Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" (23.09.1999 р. № 1105);

Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві (25.08.2004 р. №1112);

Порядок видачі дозволів Державним комітетом з нагляду за охороною праці та його територіальними органами (15.10.2003 р. № 1631);

Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці (01.08.1992 р. №442) і ін.

Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві та галузеві акти про охорону праці: Державні стандарти, Системи стандартів безпеки праці, будівельні норми і правила. Санітарні норми, правила будови електроустановок, норми радіаційної безпеки, правила будови та безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів та ін.

4.2 Правила техніки безпеки при роботі в лабораторії

Перед проведенням дослідження будівельних конструкцій у лабораторії студенти повинні ознайомитися з правилами техніки безпеки, що підтверджується особистим підписом у спеціальному журналі проходження інструктажу на робочому місці. Інструктаж студентів з правил техніки безпеки проводить викладач, підпис якого повинен стояти в спеціальному журналі навпроти кожного прізвища студента.

При цьому особа, яка проводить інструктаж, звертає увагу на наступне:

- зони, які є небезпечними у відношенні ураження електричним струмом та падіння;
- дію персоналу в екстрених випадках;
- комутаційні апарати, що переривають електропостачання лабораторій;
- індивідуальні засоби захисту від ураження електричним струмом та заходи надання першої допомоги постраждалому.

При виконанні лабораторних робіт необхідно суворо дотримуватися наступних правил безпеки:

- категорично забороняється ввімкнення та відключення комутаційних апаратів ввідного щита;
- не можна залишати без нагляду лабораторну установку, що знаходиться під напругою;
- у разі виникнення аварійної або непередбаченої ситуації, установку необхідно вимкнути;
- необхідні з'єднання в схемах здійснювати лише при відсутності напруги на лабораторному стенді;
- заборонено здійснювати переключення чи інші дії, які не передбачено порядком проведення лабораторної роботи;
- подача напруги на об'єкт дослідження чи пристрій здійснюється лише після перевірки схеми викладачем та в його присутності.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Забороняється допускати студентів, аспірантів і співробітників до роботи в лабораторії без ознайомлення із інструкцією безпеки праці. Проходження інструктажу відзначається розписом в лабораторному журналі по техніці безпеки. Відповідальність за це несе керівник лабораторії.

Під час роботи в лабораторії дотримуйте чистоту, порядок і правила техніки безпеки, оскільки безладність, поспішність або неохайність в роботі часто призводять до нещасних випадків з тяжкими наслідками.

Забороняється в лабораторії пити воду, приймати їжу, палити.

4.2.1 Загальні положення електрозварювальних робіт

При провадженні електрозварювальних робіт на зварника діють промені зварної дуги, на очі й частини тіла можуть попасти бризки розплавленого металу й шлаку, йому загрожує небезпека враження електрострумом.

Безпека зварювальних робіт цілком залежить від рівня професійної майстерності, знань і уміння виконання їх зварником.

До виконання електрозварювальних робіт допускаються особи не молодше 18-літнього віку, які пройшли медичний огляд, навчені за програмою теоретичної і практичної підготовки, склали іспит кваліфікаційній комісії і мають посвідчення установленого зразка з вкладишем талона пожежної безпеки та яким присвоєна II група з техніки безпеки.

Осіб жіночої статі можна допускати до виконання ручного електродугового зварювання тільки на відкритих майданчиках, не в приміщенні.

Кожен електрозварник може бути допущений до роботи тільки після проходження ним ввідного (загального) інструктажу з техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежобезпеки, інструктажу на робочому місці, який слід проводити при кожному переході на іншу роботу або при зміні умов праці.

Повторний інструктаж провадиться не рідше одного разу на три місяці. Проведення інструктажу реєструється у спеціальному журналі. Знання зварниками правил техніки безпеки перевіряються щорічно.

4.2.2 Безпечна експлуатація електрозварювальних установок

Електрозварювальна установка (трансформатор, агрегат, перетворювач) повинні мати паспорт, інструкцію по експлуатації та інвентарний номер.

Джерелами зварного току можуть бути спеціально призначені для електрозварювальних робіт трансформатори, генератори і випрямлювачі. В електричну мережу їх включають тільки за допомогою пускових пристроїв.

Здійснювати живлення зварною дугою від силової або освітлювальної електромережі забороняється.

Включати в електромережу і відключати від неї електрозварювальні установки, а також ремонтувати їх повинні тільки електрики. Зварникам виконувати ці роботи забороняється.

При одночасному використанні кількох трансформаторів їх встановлюють не ближче як 0,35 м один від одного. Відстань між ними і ацетиленовими генераторами повинна бути не менше 3 м. Електрозварювальні трансформатори слід перевіряти не рідше одного разу на місяць.

Оглядають і чистять установки пускової апаратури не рідше як один раз на місяць. Ізоляцію струмоведучих частин зварного ланцюга перевіряють не рідше як один раз на три місяці (при автоматичному зварюванні під шаром флюса - один раз на місяць). При цьому витримується напруга 2 кВ протягом 5 хв. Результати перевірки реєструються в журналі.

Електродотримач повинен бути легким, зручним у роботі, забезпечувати надійний затиск і швидко зміну електродів, просто і надійно з'єднуватись зі зварювальним проводом, а також мати козирок, який захищає руку зварника.

Користуватися саморобними електродотримачами забороняється.

Держак електродотримача повинен бути з теплоізоляційного діелектричного матеріалу.

Забороняється застосовувати електродотримачі з підвідними проводами в держаку при силі току 600 А й більше. Як зворотний провід, який з'єднує зварювальний виріб з джерелом току, можуть бути гнучкі проводи, а також, де це можливо, сталеві шини будь-якого профілю достатнього перерізу, плити і сама зварювана конструкція. Використання як зворотного проводу мережі заземлення металевих будівельних конструкцій, комунікацій і незварюваного технологічного обладнання забороняється. Корпус зварювального трансформатора і вторинну обмотку необхідно заземлювати (занулювати). Діаметр заземлюючого гвинта - не менше 8 мм.

Виконують електрозварювальні роботи в спеціальному приміщенні, вільна площа якого (без обладнання) повинна бути не менше 3 м² для кожного поста, підлога - щільна, з вогнестійких матеріалів, стіни пофарбовані світлою матовою фарбою (сірою, голубою, жовтою), стіл - заземлений, стілець - на ніжках з регулятором висоти сидіння, під ногами - килимок.

Роботу в закритих приміщеннях слід вести не менше як двом особам, причому одна повинна мати кваліфікаційну групу не нижче II і знаходитися зовні зварювальної місткості для контролю за безпечним веденням роботи зварником.

Електрозварювальні установки, що працюють в особливо небезпечних умовах, повинні бути забезпечені пристроями автоматичного включення. Місця провадження робіт при відсутності неспалимого захисного настилу або настилу, захищеного неспалюваним матеріалом, повинні бути захищені від спалимих матеріалів у радіусі не менше 5 м, а від вибухонебезпечних - 10 м.

Електрозварник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту - брезентовим костюмом, черевиками, щитками-масками з світлофільтрами.

При зварюванні сталі, крім спецодягу, взуття та рукавиць, зварнику слід користуватися шлемом, азбестовими або брезентовими нарукавниками, а при зварюванні кольорових металів і сплавів з вмістом цинку, міді, свинцю - респіраторами і хімічним фільтром.

У майстернях, на будівельних майданчиках, робочих місцях необхідно вивішувати плакати, попереджувальні написи про небезпеку опромінення очей і шкіри працюючих. Усі обертові частини зварних агрегатів повинні бути огорожені.

Електрозварювальна установка повинна бути зареєстрована, паспорт та інструкція по експлуатації знаходитися у головного механіка підприємства. Кожен зварювальний агрегат слід підключати до індивідуального рубильника з запобіжниками або до автомата.

При провадженні зварювальних робіт забороняється:

- працювати з несправною апаратурою, зварювати свіжопофарбовані конструкції та вироби до повного висихання фарби, користуватися одягом і рукавицями зі слідом на них масел, жирів, бензину, гасу та інших горючих рідин;
- зварювати або нагрівати відкритим вогнем апарати і комунікації, заповнені горючими і токсичними речовинами, а також знаходитися під тиском негорючих рідин, газів, парів, повітря та електричної напруги.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Внаслідок надзвичайної ситуації природного чи техногенного характеру (а загалом будь-якого походження) може сформуватися надзвичайний екологічний стан, коли на певній території проживання населення може бути або однозначно неможливе (як це сталося після аварії на Чорнобильській АЕС), або потребуватиме обмежень.

Згідно з чинним законодавством України рішення про запровадження надзвичайного екологічного стану ухвалює Президент України за поданням Ради національної безпеки і оборони України або Кабінету Міністрів України.

Згідно з термінологією, прийнятою в законодавстві України, надзвичайна ситуація техногенного та природного характеру — це порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом або іншою небезпечною подією, у тому числі епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, що призвело (може призвести) до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, здійснення там господарської діяльності, загибелі людей та/або значних матеріальних втрат.

Надзвичайна ситуація може виникнути в результаті виникнення аварій на виробництві. Виробничі аварії при виникненні надзвичайної ситуації можуть бути різноманітними. Причинами їх можуть бути: стихійні лиха (землетруси, зсуви, повені, пожежі тощо), а також порушення технології виробництва і правил техніки безпеки.

Найбільш типовими наслідками аварій можуть бути: вибухи, пожежі, затоплення, завали шахт, зараження навколишнього середовища сильнодіючими отруйними речовинами.

Під стихійним лихом розуміють таке явище природи, яке не може бути відвернуте і характеризується порушенням нормальної життєдіяльності значної групи населення, загрози для їх життя, руйнуванням чи затопленням та знищенням матеріальних цінностей. До них відносяться: повені; селеві потоки; урагани; зсуви; землетруси та інші.

До стихійних лих відносяться також масові лісові пожежі по тим втратам, які вони завдають народному господарству і великій небезпеці для населення, що проживає у районах, охоплених пожежами.

Масштабними аваріями на промислових підприємствах вважаються надзвичайні ситуації, які викликають раптову зупинку робот, створюють небезпеку для життя людей і можуть призвести до руйнування виробничих будівель, ушкодження чи знищення устаткування, сировини і готової продукції, а також до зараження місцевості отруйними речовинами і загазованості атмосфери. Наслідком аварій, а іноді і причиною їх можуть бути вибухи і пожежі.

Масштабні виробничі аварії і катастрофи можуть призводити до загибелі людей і завдавати відчутних втрат народному господарству. Тому забезпечення безаварійної роботи підприємств слід розглядати як важливу державну справу, яка потребує повсякденної уваги керівництва. інженерно-технічних працівників. Аварії можуть трапитися на будь-яких промислових підприємствах і на транспорті, унаслідок безвідповідального відношення до своїх обов'язків усіх посадових осіб. Однак, найбільшу небезпеку несуть об'єкти, що виробляють чи застосовують у технології сильнодіючі отруйні речовини, вибухо і пожежонебезпечні матеріали і продукти. Небезпечними об'єктами є також склади, бази, залізничні станції і порти, де зберігаються чи маються запаси цих матеріалів і продуктів. Аварії можуть трапитися унаслідок:

- стихійних лих; допущення прорахунків у проектуванні будівництві і обладнанні підприємства; прийняттям в експлуатацію вентиляційних систем без

випробування на ефективність їх роботи; недоробок по техніці безпеки і охороні праці тощо.

Вони можуть бути також наслідком порушення технологічного процесу, несправності електропроводки і недостатнього впровадження надійних систем пожежогасіння. Аварії виникають і унаслідок необачного поводження з вогнем.

Крім того, причинами аварії можуть бути: порушення вимог і правил техніки безпеки: низька трудова і технологічна дисципліна, відсутність належного контролю за процесом виробництва.

Аналіз причин аварій показує, що вони виникають головним чином унаслідок поганої навченості персоналу, допущеної халатності, порушень технологічного процесу виробництва і правил техніки безпеки.

Правильний підхід до вивчення й вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, у яких відбувається праця людини – одне з найбільш важливих завдань у розробці нових технологій і систем виробництва. Дослідження й виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів і вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні й сприятливі умови для праці людини. Комфортні й безпечні умови праці – один з основних факторів, який впливає на продуктивність і безпеку праці, здоров'я працівників.

Висновки до розділу 4

Виконання заходів із охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при проведенні будь яких робіт в сфері будівництва є запорукою збереження життя та здоров'я особи, що виконує ці роботи.

Для запобігання аваріям на промислових підприємствах і транспорті заздалегідь розробляються і здійснюються організаційно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості і безаварійності роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На сьогоднішній день велика кількість залізобетонних конструкцій піддається підсиленню або відновленню після реконструкції або пошкоджень. Один з ефективних методів підсилення полягає у використанні композитних матеріалів на основі вуглепластиків у формі стрічок та полотен. Проте, дослідження впливу цього методу підсилення на конструкції під час повторних навантажень було здійснено обмежено.

2. Проведені експериментальні дослідження включали вивчення несучої здатності нормальних перерізів та деформативності згинальних залізобетонних балок до та після зміцнення композиційними матеріалами на базі вуглепластиків в зоні розтягнення та за впливу як однократних, так і малоциклових навантажень різних рівнів.

3. Зміцнення експериментальних балок надало можливість повністю використати ресурс зони стиснення у бетонних балках, що підтверджується їх одночасним руйнуванням в стиснутій та розтягнутій зонах перерізу.

4. Характер зміни деформацій та прогинів підсиленого зразка при малоциклових навантаженнях аналогічний балкам, які випробовувалися без підсилення. Попередня історія навантаження підсиленого зразка не впливає на його напружено-деформований стан та деформативність.

5. Малоциклові навантаження сприяють збільшенню несучої здатності згинальних залізобетонних елементів, підсиленого в розтягнутій зоні, у порівнянні з одноразовим навантаженням. В деяких експериментальних зразках це збільшення сягало 7%.

6. Зменшення прогинів підсиленої балки до 64%, а використавши отримані значення залишкових прогинів, та врахувавши їх – до 19%, доводить зростання її жорсткості і, відповідно, підвищення моменту тріщиноутворення в два рази.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будинків та споруд: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 108с.
2. Расчет и технические решения усиленных железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А.Б. Голышев, П.И.Кривошеев, П.М. Козелецкий и др.: под ред. А.Б. Голышева. – К.: Логос. – 2008. – 304с.
3. Вахненко П.В., Вахненко В.П., Гармаш Ю.Д., Клименко Е.В. и др. Реконструкция сельскохозяйственных зданий и сооружений. - К.: Урожай, 1993. - 276с.
4. Салех А.К. Прочность и деформативность усиленных железобетонных элементов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / А.К. Салех. – Киев., КГТУСА. 1994. – 19с.
5. Гетун Г.В. Экспериментально – теоретическое исследования изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных в растянутой зоне слоем сталефибробетона: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / А.К. Салех. – Киев., КИСИ. 1983. – 21с.
6. Боярчук Б.А. Міцність, тріщиностійкість та деформативність залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення розтягнутої зони: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Б.А. Боярчук. – Луцьк, 2003. – 157с.
7. Гриневич Є.О. Підсилення залізобетонних балок локальним обтисненням додатковою зовнішньою арматурою: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Є.О. Гриневич. – Харків: ХДТУБА, 2004. – 19с.
8. Римар Я.В. Міцність та деформативність залізобетонних балок, підсилені під навантаженням нарощуванням арматури: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Я.В. Римар. – Львів., Нац. ун-т "Львівська політехніка". 2010. – 20с.

9. Смолянінов М.Ю. Підсилення залізобетонних елементів, що зазнають згину, акриловим полімеррозчином // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2005. – Вип. 12. – С. 432-439.

10. Кваша В.Г. Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішнім наклеєним композитним армуванням, на основі деформаційної моделі / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2008. – Вип. 16. Ч.1. – С. 363-371.

11. Клампущ М.Д. Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених вуглецевими полімерами / М.Д. Клампущ, В.Г. Кваша // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2007. – Вип. 15. – С. 270-276.

12. Зовнішнє армування конструкцій. Bond behaviour of CFRP reinforcement for torsional strengthening of solid and box – section RC beams. Al – Mahaidi Riyadh, Hii Adrian K.Y. Composites. B.2007.38, №5 – 6, с.720 – 731. Анг.

13. Смолянінов М.Ю. Підвищення міцності й тріщиностійкості залізобетонних елементів, підсилених акриловим полімеррозчином, при дії короточасних статичних і багаторазово повторних навантажень: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / М.Ю. Смолянінов. – Харків: УДАЗТ, 2007. – 23с.

14. Валовой М.О. Вплив повторних навантажень на міцність, деформативність та тріщиностійкість підсилених залізобетонних балок із бетонів на відходах збагачених залізобетонних руд // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2009. – Вип. 18. – С. 456-462.

15. Бабич Є.М. Міцність і деформативність важкого бетону при малоцикловому стисненні / Є.М. Бабич, Н.І. Ільчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: УДУВГП, 2003. – Вип. 9. – С. 116 – 123.

16. Бабич Є.М. Пружнопластичні характеристики бетону після повторного стискання на вітках розвантаження / Є.М. Бабич, Н.І. Ільчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: УДУВГП, 2003. – Вип. 10. – С. 69 – 83.

17. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві», Київ «Мінрегіонбуд» 2012р. – 53с.

18. Харитонов А.И. Проектирование системы обеспечения безопасных условий труда на производственном объекте (Методическое пособие), Одесса, 2007г.

19. Кодекс цивільного захисту України. Кодекс України, від 02.10.2012 № 5403-VI. 112 с.

20. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія”// Ковальчук Я.О., Крамар Г.М., Мещерякова О.М., Тернопіль, 2020. – 56 с.

21. Методичні вказівки до оформлення курсових та дипломних проектів із залізобетонних конструкцій для студентів спеціальності «Промислове та цивільне будівництво» / Ковальчук Я.О., Дубіжанський Д.І., Сорочак А.П., Конончук О.П. – Тернопіль: ТНТУ, 2013. – 52 с.

22. Конончук О.П. Результаты экспериментальных исследований железобетонных балок, усиленных композитными материалами // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2012. – Вип. 23. – С. 479 – 486.

23. Конончук О.П. Розрахунок несучої здатності нормальних перерізів підсилених згинальних залізобетонних елементів при дії на них малоциклових навантажень // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2012. – Вип. 46. – С. 185 – 192.

24. Борисюк О.П. Жорсткість та тріщиностійкість згинальних залізобетонних елементів підсилених вуглепластиками в розтягнутій зоні / О.П. Борисюк, О.П. Конончук // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: материалы III международной научно-технической Интернет-конференции. – Харьков: ХНАГХ, 2012. – С. 9 – 15.

25. Борисюк О.П. Міцність, жорсткість та тріщиностійкість нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами / О.П.

Борисюк, О.П. Конончук // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: НТУ, 2012. – Випуск 2 (32). – Т.2. – С. 3 – 10.

26. Борисюк О.П. Напружено-деформований стан нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених вуглепластиками за дії малоциклового навантаження / О.П. Борисюк, О.П. Конончук // Монографія. – Рівне: НУВГП, 2014. – 136 с.