

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПІДСИЛЕНИХ В СТИСНУТІЙ І
РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНАХ**

Наведено дослідження одночасного підсилення залізобетонних балок наклеєними композитами у вигляді вуглецевих волокон в розтягнутій зоні, та сталевібробетоном з металевою фіброю у стиснутій зоні.

Reinforced concrete beams simultaneous strengthening research is resulted by the glued on compos as carbon fibres in the stretched area, and steelfiberconcrete with metallic fiber in the compressed zones.

Стан питання та мета дослідження. В процесі експлуатації конструкцій, будівель і споруд, через зміни розрахункової схеми елемента, пошкодження і експлуатація в непрацездатному або аварійному стані, збільшення експлуатаційних навантажень, помилки при проектуванні, будівництві та використанні неякісних матеріалів, виникає потреба до підсилення несучих елементів. Також спостерігається тенденція до виконання підсилень при реконструкції будівель і споруд які є пам'ятниками архітектури або несуть архітектурну цінність. Ефективним варіантом реконструкції “старих” будівель і споруд є надбудова одного або декількох поверхів з улаштуванням мансарди та перепланування. Тому підсилення залізобетонних згинальних елементів (балок, плит, ферм, та ін.), які є одним з основних несучих елементів будівель і споруд, має важливе прикладне значення. Серед вибору методу підсилення залізобетонних згинальних елементів можна виділити два способи: підсилені стиснутої або розтягнутої зон елемента [3,4,5,6,].

Ефективним методом підсилення залізобетонних елементів в стиснутій зоні є використання високоміцних матеріалів як фібробетон [1,3].

Дослідженню підсилень згинальних залізобетонних елементів свої роботи присвятили: А.Б. Барашиков, Є.М. Блалі, З.Я. Бліхарський, Я.З. Бліхарський,

О.П. Борисюк, Б.А. Боярчук, О.І. Валовой, І.О. Валовой, О.В. Войцехівський, І.В. Задорожнікова, А. Касасбех, В.Г. Кваша, М.І. Кісілієр, М.Д. Климпуш, О.П. Конончук, О.П. Кричевський, І.В. Мельник, С.В. Мельник, Л.А. Мурашко, А.Я. Мурин, С.М. Новікова, Ф.Н. Рабінович, Я.В. Римар, А.К. Салех, М.Ю. Смолянінов, С.Д. Семенюк, О.П. Сунак, П.О. Сунак, Г.К. Хайдуков, та ін.

Одночасне підсилення стиснутої та розтягнутих зон досліджені на даний час не достатньо. Мета роботи: отримати дані про роботу залізобетонних балок підсилених одночасно у стиснутій і розтягнутій зоні з урахуванням повторних навантажень. Досліджували напружено-деформований стан, несучу здатність, жорсткість та тріщиностійкість залізобетонних балок, підсилених одночасно сталевібробетоном та вуглепластиковими матеріалами.

Для досліджень виготовлено залізобетонні балки з розмірами поперечного перерізу 100×200 та довжиною 2000 мм, бетон класу С16/20 заводського виготовлення. Балки заармовані поздовжньою робочою стержневою арматурою $2\text{Ø}10 \text{ A } 500\text{C}$ та поперечною арматурою $\text{Ø}6 \text{ A}240\text{C}$ з кроком 50 мм, крім зони чистого згину. Верхня монтажна арматура із дроту $\text{Ø}4 \text{ Вр-I}$.

Випробовування конструкцій виконували за схемою однопролітної вільно обпертої балки на двох опорах прольотом 180 см. Завантажували балки двома симетрично зосередженими силами, відстань між якими 60 см. Зусилля створювали гідравлічним домкратом, а зусилля вимірювали тарованим кільцевим динамометром (рис.2). Всі вимірювання проводились приладами які дублювали один-одного: механічними та тензометричними [7,8].

Першим етапом досліджень було випробувано дві балки на однократне статичне навантаження (БО-1 та БО-2). Навантаження здійснювалося ступенями 8–10 % від теоретично розрахованої несучої здатності.

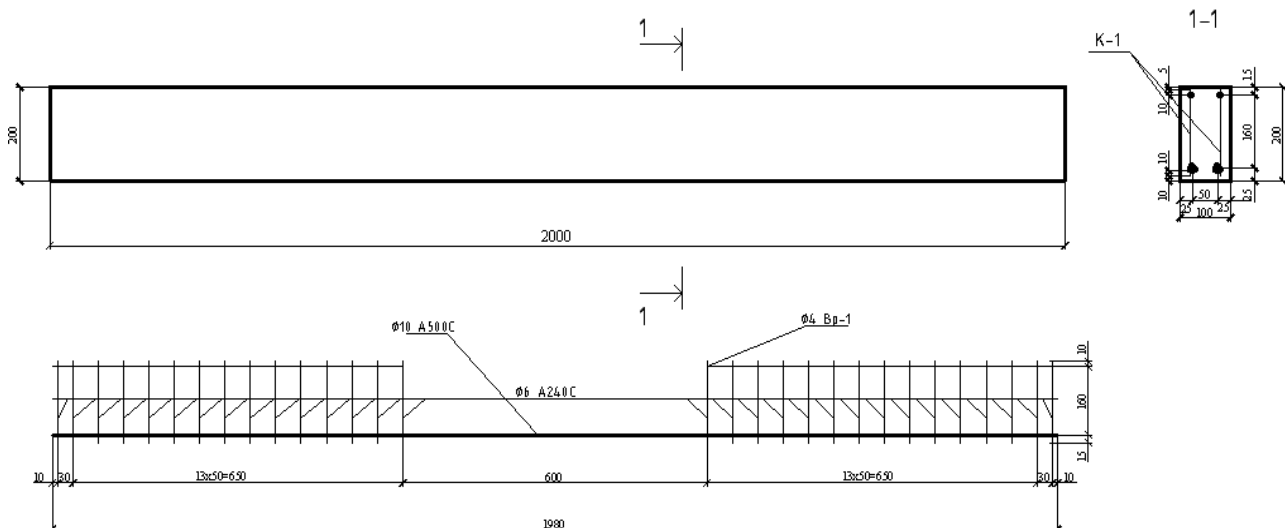


Рис.1.Конструкція та схема армування дослідних балок до підсилення

Друга серія досліду полягає у випробовуванні восьми балок (БЦ-1,БЦ-2, БЦ-3, БЦ-4, БЦ-5, БЦ-6, БЦ-7, БЦ-8) на малоциклові навантаження. За одиницю несучої здатності, при випробовуванні балок, взято навантаження визначене за результатами випробовування на однократне навантаження двох балок БО-1 та БО-2. Балки БЦ-3, БЦ-4 після випробовування на малоциклові навантаження були зруйнованні. Після випробовування однократним та малоцикловим навантаженням, було виконано підсилення шести балок.

Підсилення стиснутої зони виконували з дрібнозернистого бетону С16/20 та 3% металевої фібри різаної із листа довжиною 40-50мм, товщина 0,35–0,5мм, товщина шару підсилення склала 50мм. Половину дослідних балок підсилювали тільки дрібнозернистим бетоном (БП-1_Б, БЦП-5_Б, БЦП-2_Б) половину сталефібробетонном (БП-2_{СФБ}, БЦП-6_{СФБ}, БЦП-2_{СФБ}).

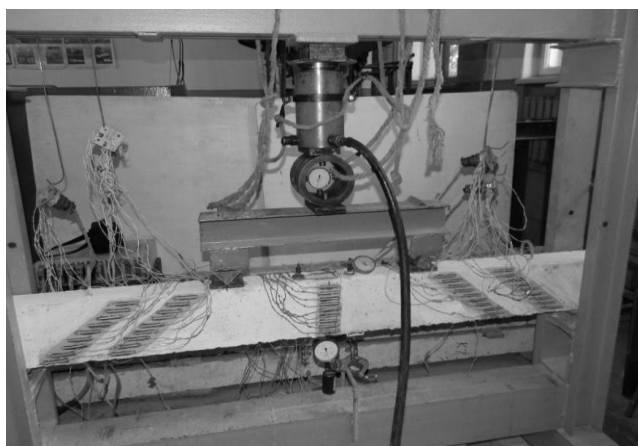


Рис.2. Вигляд установки та розташування приладів на балці до підсилення

Композитна стрічка Sika CarboDur S-512 шириною 25мм, приклеювалась в нижній розтягнутій зоні конструкції по всій довжині прольоту та анкерувалась на приопорних ділянках однонаправленим полотном Sika Wrap. Приклеювання відбувалось за допомогою двохкомпонентних клеїв: для стрічки Sikadur-30, а для полотна – Sikadur-330. Підготовка поверхні виконувалась відповідно до вимог [11,12]. Балки БЦ-5, БЦ-6 підсилювали під навантаженням в установці 0,6 F (від руйнуючого навантаження балок БО-1, БО-2)[2,10]. Найбільш оптимальне використання додаткового перерізу підсилення[9].

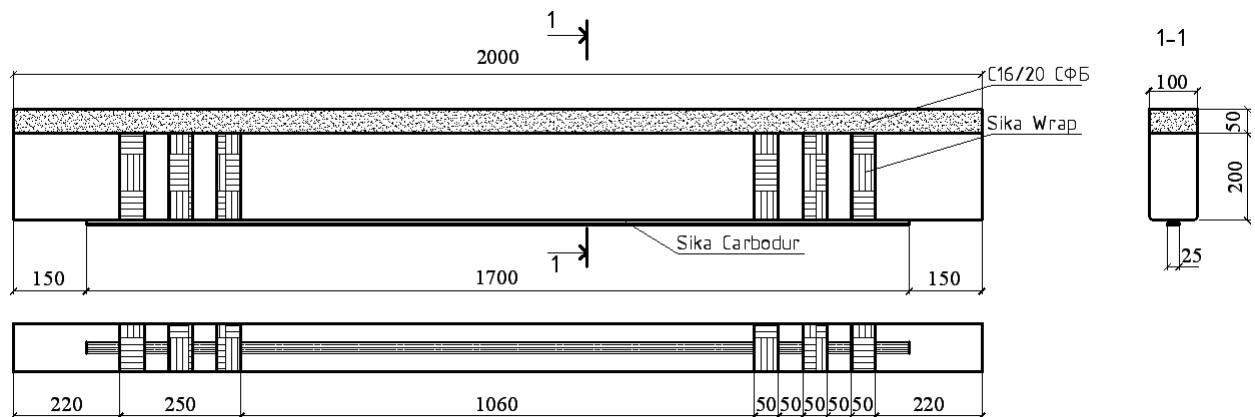


Рис.3. Конструкція підсилення дослідних балок



Рис.4. Підсилення дослідних балок БЦП-5_Б, БЦП-6_{СФБ} під навантаженням



Рис.5. Вигляд установок та розташування приладів на балках БП-1_Б, БП-2_{СФБ}

Таблиця 1. Методика експериментальних досліджень

№ п/п	Маркування балок	К-сть циклів	Рівні навантаження
1	БО-1	-	Однократне навантаження 0,1-1,0
2	БО-2		
3	БП-1 _Б		
4	БП-2 _{СФБ}		
5	БЦ-3	13	
6	БЦ-4		
7	БЦ-1	13	
8	БЦ-2		
11	БЦ-7		
12	БЦ-8		
13	БЦ-5	13	
14	БЦ-6		
15	БЦП-1 _{СФБ}	13	
16	БЦП-2 _Б		
17	БЦП _{0,6-5Б}	13	
18	БЦП _{0,6-6СФБ}		

Третя серія дослідження полягає у випробуванні шести підсилених балок, двох попередньо випробуваних балок (БЦП-1_{СФБ}, БЦП-2_Б), двох під навантаженням в установці (БЦП_{0,6-5Б}, БЦП_{0,6-6СФБ}) та двох, що не

випробовувались (БП-1_Б, БП-2_{СФБ}). Вони випробовувались на циклічні навантаження, верхній рівень який визначився за результатами випробування підсилених балок БП-1_Б та БП-2_{СФБ} при однократному завантаженні до руйнування.

Висновки. У обох випадках підсилення робота балок практично не відрізняється. Можна охарактеризувати два випадки руйнування підсилених балок половина балок зруйнувалася по похилим перерізам (в припорній ділянці). Досягаючи максимальних деформацій в стрічці відбувається утворення похилої тріщини (другого типу) від опори до анкеруючого полотна з подальшим моментальним крихким руйнування балки. В других балок відбувся відрив стрічки від тіла бетону. При досягненні граничного навантаження відбувся відрив стрічки на ділянках між точкою прикладання сили і опорою. Відбувалося стрімке розкриття тріщин з подальшим зростанням прогину витріскування та зім'яття верхнього шару підсилення. По грані стрічки відбулося зім'яття волокон полотна анкерування.

Таблиця 2.Результати дослідження несучої здатності балок

Назва балки	Площа поперечного перерізу елементу підсилення	Відсоток армування зовнішньою композитною арматурою	Площа армування внутрішньої сталеві арматури	Експериментальний згинальний момент	Ефект підсилення
	$A_f, \text{см}^2$	$\mu_f, \%$	$A_s, \text{см}^2$	$M_{ULS}^{\text{exp}}, \text{кН}\times\text{м}$	$\delta_{ULS}^{\text{exp}}, \%$
БО-1	-	-	1,57	14,3	-
БО-2	-	-	1,57	14,1	-
БЦ-3	-	-	1,57	14,8	-
БЦ-4	-	-	1,57	14,5	-
БП-1 _{СФБ}	0,3	0,12	1,57	20,91	46,7
БП-2 _Б	0,3	0,12	1,57	22,46	57,6
БЦП-1 _{СФБ}	0,3	0,12	1,57	21,96	60,9
БЦП-2 _Б	0,3	0,12	1,57	18,13	32,8
БЦП _{0,6-5Б}	0,3	0,12	1,57	22,72	66,5
БЦП _{0,6-6СФБ}	0,3	0,12	1,57	22,59	65,5

При дії малоциклових навантажень підсилені балки працюють однаково, при проходженні п'ятого-сьомого циклу з однаковим режимом навантаження

відбувається стабілізація деформацій на всіх елементах дослідних конструкцій. Момент тріщиноутворення у підсилених балок збільшився у два рази. Малоциклові навантаження сприяють збільшенні несучої здатності залізобетонних балок одночасно підсилених устиснутій та розтягнутій зонах, в порівнянні із з одноразовим навантаженням. Найбільший ефект підсилення отримали при підсиленні під навантаженням. На мою думку це викликано найбільш оптимальним використанням-поєднанням систем підсилення а саме фібробетону із вуглецевими стрічками. Цей рівень навантаження у більшості балок і плит відповідає значенню навантажень в процесі експлуатації.

Література

1. Барашиков А.Я. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных различными способами / А.Я. Барашиков, О.П. Сунак, Б.А.Боярчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: УДУВГП, 2000. – Вип. 5. – С. 294 – 299. 2. Бабич Є.М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень / Є.М. Бабич, Ю.О. Крусь // Монографія. – Рівне: РДТУ, 1999. – 119 с. 3. Семенюк С.Д. Усиление сжатой зоны железобетонных изгибаемых элементов / Семенюк С.Д., Болошенко Ю.Г. // Проблемы современного бетона и железобетона: сборник трудов в 2 ч., ч. 1 Бетонные и железобетонные конструкции / Минск, Скринко, 2007. – с. 306-321. 4. Собко Ю.М. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних мостових елементів до та після підсилення композитними матеріалами: Звіт про НДР № 0107 У 009082 / Львів, 2009. – 10 с. 103. 5. Климпуш М.Д. Реконструкція залізобетонного автодорожнього моста з підсиленням балок приклеєними вуглепластиками / В.Г. Кваша, І.В. Мельник, М.Д. Климпуш // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2003. – Вип. 10. – С. 267 – 275. 6. Мурин А.Я. Міцність, жорсткість і тріщиностійкість залізобетонних балок, підсиленних зовнішньою композитною арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / А.Я. Мурин // Львів, 2011. – 163 с. 7. Римар Я.В. Міцність та деформативність залізобетонних балок, підсиленних під навантаженням нарощуванням арматури: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Я.В. Римар // Львів: НУ "Львівська політехніка", 2010. – 20 с. 8. Борисюк О.П. Методика випробовування підсиленних згинальних залізобетонних елементів при малоциклових навантаженнях / Борисюк О.П., Конончук О.П. // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Київ, ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74. – Книга 2. – С. 709 – 717. 9. Конончук О.П. Робота нормальних перерізів згинальних елементів, підсиленних композитними матеріалами за дії малоциклового навантаження: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / О.П. Конончук // Львів, 2013. – 230 с. 10. Дубіжанський Д.І. Міцність та деформативність залізобетонних балок, посиленних залізобетонною обіймою під навантаженням: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Д.І. Дубіжанський // Львів, 2013. – 183 с. 11. Бліхарський Я.З. Експериментальні дослідження залізобетонних колон, підсиленних вуглецевою стрічкою при дії навантаження низького рівня / Я.З. Бліхарський, Р.Є. Хміль, Ю.М. Собко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 440 – 447. 12. Техническая карта материала. Идентификационный №: 020206010010000040 Sika® CarbDur® S - Издание: UA_YS_01/2015, 5с. 13. Техническая карта материала. Идентификационный №: 020206020010000025 SikaWrap®-230 C/45. Издание: UA_YS_01/2015, 4с.