

УДК 624.012.035

**СУМІСНА РОБОТА ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК**

**REINFORCED-CONCRETE BEAMS COMPATIBLE WORK
OF STRENGTHENING LAYERS**

Борисюк О.П., к.т.н., проф., **Зятюк Ю.Ю.**, асистент, **Лисюк М.О.** студент, **Крамаренко А.В.** студент (Національний університет водного господарства та природокористування м. Рівне).

Borysyuk A.P., candidate of engineering sciences, associate professor, **Ziatyuk Y.Y.**, assistant, **Lysyuk M.O.** student, **Kramarenko A.V.** student, (National university of water and environmental engineering, Rivne).

У статті описано експериментальні дослідження роботи шарів підсилення залізобетонних балок наклеєними композитами у вигляді вуглецевих волокон в розтягнутій зоні, та сталевібробетоном у стиснутій зоні.

The article describes the experimental research of the amplification layers of reinforced concrete beams with glued composites in the form of carbon fibers in the stretched zone, and steelfibrobeton in the compressed zone. You can confirm about the effectiveness of this simultaneous amplification of compressed and stretched zones by increasing the bearing capacity of the experimental beams. Two cases of destruction of reinforced experimental beams are highlighted. Namely, the separation of the tape on the area between the point of application of force and support and the rapid fragile destruction of the sloping crack of the second type. At the operational stage, the basic constructions of the beams and a system of amplification of compressed and stretched zones work together. Relaxation of the deformation gain occurs after repeating the same level of load, after unloading the beam on each cycle, there is a residual displacement. The work of concrete reinforcement and concrete beams occurs jointly without sharp deformation variations.

Ключові слова : балка, сталевібробетон, композити.

Keywords: beam, steelfiberconcrete, composites.

В процесі експлуатації конструкцій, будівель і споруд, через закінчення терміну своєї експлуатації, 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.

Дослідженню підсилення згинальних залізобетонних елементів та використанням сталевібробетону присвячено досить робіт [1,2,3]. Підсилення залізобетонних конструкцій приклеєною зовнішньою композитною арматурою широко досліджено в багатьох роботах [4,5].

Мета і завдання дослідження отримати дані про роботу залізобетонних балок підсиленних одночасно у стиснутій і розтягнутій зоні з урахуванням повторних навантажень.

Система підсилення виконувалась за схемою та технологією наведеною в [6,7]. Склад матеріалу технологія та методика випробування наведені в [8].

Під час проведення експерименту із збільшення несучої здатності дослідних балок можна ствержувати про ефективність даного одночасного підсилення стиснутої та розтягнутої зон.

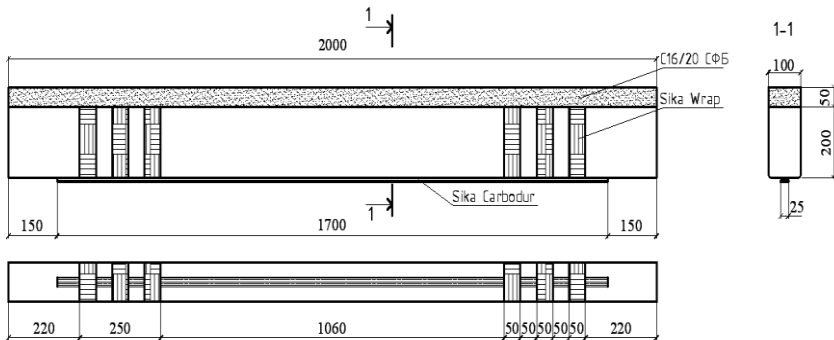


Рис. 1. Конструкція підсилення дослідних балок

Виділено два випадки руйнування підсиленних експериментальних балок. У першому випадку при досягненні граничного навантаження відбувався відрив стрічки на ділянці між точкою прикладання сили та опорою. Стрімко ріс прогин та розвивались тріщини, утворювалась похила тріщина другого типу. При цьому система анкерування продовжувала утримувати стрічку.

При подальшому навантаженні відбувався розрив та зім'яття волокон полотна анкерування по грані стрічки та відрив стрічки від тіла бетону практично по всій довжині між анкеруванням полотном, та проковзування кінців композитної стрічки у системі анкерування, з наступним роздробленням стиснутої зони бетону.

У другому випадку у інших підсилених зразках виявлений інший випадок руйнування. При навантаженні 0,70Р та 0,85Р з'являються тріщини похилі другого порядку . Зі збільшенням навантаження ближче до руйнівного відбувається стрімкий приріст деформації , та значне збільшення прогинів балки. Тут же розкриття похилої тріщини другого типу більше граничного та стрімке крихке руйнування по ній. При цьому система підсилення продовжувала утримувати стрічку підсилення і конструкція балки в цілому несла навантаження.



Рис. 2. Індикатори та датчики для виміру сумісного деформування стрічки та бетону балки

Таблиця 1

Результати дослідження несучої здатності балок [9]

Назва балки	Площа поперечного перерізу елементу підсилення			Площа армування внутрішньої сталевий арматури $A_s, \text{см}^2$	Експериментальний згинальний момент $M_{ULS}^{\text{exp}}, \text{кН}\times\text{м}$	Ефект підсилення $\delta_{ULS}^{\text{exp}}, \%$
	$A_f, \text{см}^2$	$A_b, \text{см}^2$	$A_{\text{sfb}}, \text{см}^2$			
БО-1	-	-	-	1,57	14,3	-
БО-2	-	-	-	1,57	14,1	-
БЦ-3	-	-	-	1,57	13,5	-
БЦ-4	-	-	-	1,57	13,8	-
БП-1сфб	0,3	-	50	1,57	20,91	46,7
БП-2б	0,3	50	-	1,57	22,46	57,6
БЦП-1сфб	0,3	-	50	1,57	21,96	60,9
БЦП-2б	0,3	50	-	1,57	18,13	32,8
БЦП _{0,6} -5б	0,3	50	-	1,57	22,72	66,5
БЦП _{0,6} -6сфб	0,3	-	50	1,57	22,59	65,5



Рис. 3. Індикатори для виміру сумісного деформування бетону підсилення та бетону балки

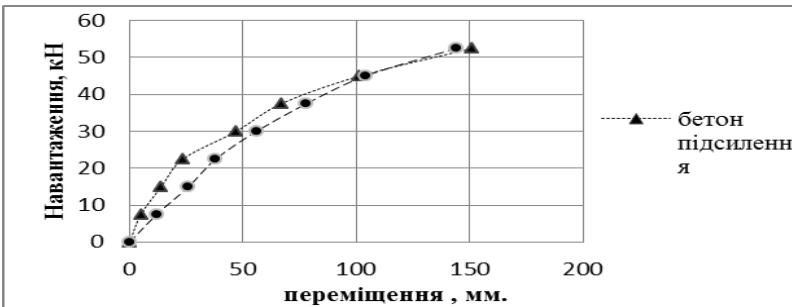


Рис. 4. Сумісне деформування шару підсилення та бетону балки випробуваних однократним навантаженням

На рис. 4 наведено графік сумісного деформування шару підсилення стиснутої зони та бетону балки БП-2Б. Що підсилювалась без попереднього випробовування. Якщо порівняти ці дві криві, то можна побачити, що вони перетинаються в точці, яка відповідає моменту зовнішнього навантаження 45 кН. До цієї точки сумісні переміщення бетону підсилення та бетону балки є меншими. Після зростання навантаження відбувається переміщення бетону підсилення і перед руйнуванням проходить незначне переміщення бетону підсилення від тіла балки. В подальшому навантаженні зразка відбувається відрив бетону

підсилення від тіла балки. До навантаження 22,5 кН деформування бетону підсилення є меншим від тіла балки, а після навантаження вище відбувається приріст деформацій, і при збільшенні навантаження вони наближаються один до одного. При випробуванні балок на однократне навантаження, максимальне сумісне деформування бетону підсилення та бетону балки, що було зафіксовано, становило 160×10^{-5} в балці БП-1_{СФБ} яка підсилювалась без попереднього випробування. В загальному робота бетону підсилення та бетону балки відбувається сумісно без різких перепадів деформування.

Балки що були підсилені після попереднього випробування на малоциклові впливи, зміщення стрічки є дещо меншими ніж у балках які були підсилені без попереднього випробування. На перших циклах навантаження зміщення становить: для балок БЦП-1_{СФБ}, БЦП-2_Б – $4 \dots 8 \times 10^{-5}$, а для балок БП-2_Б, БП-1_{СФБ} – 16×10^{-5} . Після збільшення рівня до 0,85Р, зміщення становить: для перших – $15 \dots 20 \times 10^{-5}$, а для балок БП-2_Б, БП-1_{СФБ} – $29 \dots 32 \times 10^{-5}$.

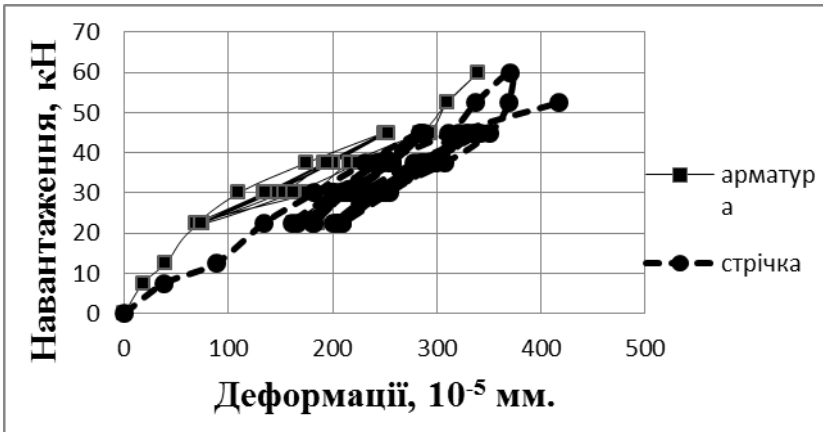


Рис. 5. Сумісне деформування шару підсилення та бетону балки БЦП_{0,6}-Б_{СФБ} випробуваних малоцикловим навантаженням

В ході проведення експерименту, за впливу на експериментальні системи підсилення та тіла конструкції, малоциклові навантаження суттєво підвищили сумісні деформації розтягнутої арматури та стрічки підсилення. Найбільше значення було зафіксовано в балці БЦП-2_Б – 100×10^{-5} . З рис.5 можна

відслідкувати зміщення стрічки підсилення відносно тіла балки. Залишкові деформації, що спостерігаються на кожному циклі, при розвантаженні дослідного зразка, є зміщенням елементу підсилення.

Релаксація приросту деформацій відбувається після повторення одного і того ж рівня навантаження, після розвантаження балки на кожному циклі, існує залишкове зміщення. Збільшення зміщення спостерігається лише після підвищення рівня навантаження. Наявність залишкового зміщення пояснюється пластичними деформаціями, які проходять у стиснутому бетону в результаті дії повторних навантажень. Стабілізація величини зміщення відбувається таким самим чином, як і деформацій, прогинів та ширини розкриття тріщин.

З графіка рис. 5, на якому побудовані деформації стрічки та арматури підсиленої під навантаженням балки видно, що стабілізація величини зміщення відбувається таким самим чином, як і деформацій, прогинів та ширини розкриття тріщин. Релаксація приросту деформацій відбувається після повторення одного і того ж рівня навантаження, після розвантаження балки на кожному циклі, існує залишкове зміщення. Збільшення зміщення спостерігається лише після підвищення рівня навантаження. Наявність залишкового зміщення пояснюється так само. В балках, підсиленіх під навантаженням за дії малоциклових впливів, на перших циклах навантаження зміщення становить: для балок БЦП-1_{СФБ}, БЦП-2_Б– $2...4 \times 10^{-5}$, . Після збільшення рівня до 0,85Р, зміщення становить: 8×10^{-5} . Спостерігається ефект попереднього напруження.

У цьому випадку має місце чиник руйнування зразків, внаслідок руйнування контактної зони на відстанні між прикладеними вертикальними зусиллями. Це свідчить про те, що чинником руйнування зразків виявилась міцність контактної зони з початком відриву стрічки.

На експлуатаційній стадії роботи основні конструкції балок та система підсилення стиснутої та розтягнутої зон працюють спільно. На останніх стадіях напружено-деформованого стану виникає розшарування стиснутої зони нового шару підсилення від бетону балки. На нашу думку це зумовлено не достатнім для цієї системи зчепленням стиснутої зони зі "старим" бетоном.

Також під час випробовування спостерігалось незначне викривлення волокон полотна в перпендикулярному напрямку до поздовжньої осі балки. Після випробування балок, нанесення

тріщин та огляду, було виявлено, зміщення стрічки відносно центра дослідної балки. Волокна ламінату підсилення були розірвані по обидві сторони граней стрічки.

1.Дворкін Л.Й., Бабич С. М., Житковський В.В. та ін. В53 Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія,- Рівне:НУВГП, 2017. -331с.

2.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. – 157 с.

3. Задорожнікова І.В. Підсилення стиснутої зони, як засіб відновлення експлуатаційних якостей залізобетонних згинальних елементів: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / І.В. Задорожнікова // Луцьк, 2006. – 140 с.

4.Бліхарський З.Я. Використання вуглецевої стрічки при підсиленні позацентрово стиснутих колон / Я.З.Бліхарський, Р.Є.Хміль, Ю.М.Собко// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць.– Рівне: НУВГП, 2014. – Вип. 29. – С. 575 – 581.

5. O. Ben Mekki, D. Siegert. 10 m-Span composite ultra-high performance fiber-reinforced concrete-carbon fibres-timber bridge concept: Feasibility validation and vibration monitoring. Mechanics of Advanced Materials and Structures/ June27, 2012 [Електрон.ресурс].-режим доступу: <http://mc.manuscriptcentral.com/umcm>

6.Зятюк Ю.Ю. Операційність технології виконання робіт при підсиленні дослідних залізобетонних зразків (матеріалами фірми «Sika») / Ю.Ю. Зятюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2016. – вип. 32. – С. 466 – 475.

7.Борисюк О.П., Зятюк Ю.Ю. Методика експериментальних досліджень залізобетонних балок, підсиленних у стиснутій і розтягнутій зоні / О.П. Борисюк, Ю.Ю. Зятюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – вип. 27. – С. 27 – 33.

8.Зятюк Ю.Ю. Исследование деформационных характеристик фибробетона со стальной фиброй / Ю.Ю.Зятюк// Весник Белорусско-Российского университета, УПКП МЭУП.–№ 3 (52). Могилев.– 2016. – С.160-168.

9.Зятюк Ю.Ю. Результати експериментальних досліджень залізобетонних балок підсиленних в стиснутій та розтягнутій зонах / Ю.Ю. Зятюк // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник / Відпов. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2016. – Вип. 61 (спеціальний) – С. 216 – 222.