

УДК 624.012

**ВПЛИВ РІВНЯ ДІЮЧОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЖОРСТКІСТЬ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ СИСТЕМОЮ RUREDIL X
MESH GOLD**

**ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НАГРУЗКИ НА ЖЕСТКОСТЬ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ СИСТЕМОЙ RUREDIL
X MESH GOLD**

**INFLUENCES OF THE LOAD'S LEVEL ON THE STIFFNESS OF
REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED BY THE SYSTEM
RUREDIL X MESH GOLD**

**Йовчик О.Д., аспірант, Країнський П.І., аспірант, Вашкевич Р.В., к.т.н.,
доцент, Хміль Р.Є., к.т.н., доцент, Бліхарський З.Я., д.т.н., професор
(Національний університет "Львівська політехніка", Інститут будівництва та
інженерії довкілля, м. Львів)**

**Йовчик А.Д., аспирант, Краинский П.И., аспирант, Вашкевич Р.В., к.т.н.,
доцент, Хмил Р.Е., к.т.н., доцент, Блихарский З.Я., д.т.н., профессор
(Национальный университет "Львовская политехника", Институт
строительства и инженерии окружающей среды, г. Львов)**

**Yovchik O.D., Krayinsky P.I., post-graduate students, Vashkevych R.V.,
Khmil R.E., candidates of technical sciences, associates of professor,
Bliharssky Z.Ya., doctor of technical sciences, professor (Lviv Polytechnic
National University, Institute of Civil and Environmental Engineering, Lviv)**

**Наведено результати експериментальних досліджень залізобетонних
балок, підсилених системою Ruredil X Mesh Gold. Вивчено вплив рівня
діючого навантаження на жорсткість балки після підсилення.**

**Представлены результаты экспериментальных исследований
железобетонных балок, усиленных системой Ruredil X Mesh Gold.
Изучено влияние уровня действующего нагрузки на жесткость балки
после усиления.**

**The results of experimental testing of reinforced concrete beams strengthened
using system Ruredil X Mesh Gold are presented. The influence of the current
load level on the beam's stiffness after strengthening has been studied.**

Ключові слова:

Залізобетонні балки, підсилення, жорсткість.
Железобетонные балки, усиления, жесткость.
Reinforced concrete beams, strengthening, stiffness.

Вступ. Пошук сучасних легких матеріалів з високими міцнісними характеристиками сприяє широкому впровадженню композитів у галузі будівництва. Найбільшого практичного застосування вони набули у сфері підсилення будівельних конструкцій.

Цьому сприяють наступні переваги систем підсилення на основі композитів:

- високі міцнісні властивості при малій власній вазі матеріалів;
- можливість підсилення конструктивних елементів з різних матеріалів;
- простота та зручність виконання робіт з підсилення.

Система Ruredil X Mesh Gold належить до групи композитних матеріалів FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix). Основним несучим елементом системи є високоміцні фібри поліпарафенілен бензобісоксазолу, а в якості середовища для передачі зусиль від конструкції на фібри служить мінеральний розчин на основі цементного в'язучого. FRCM композити володіють рядом переваг: відмінна адгезія з вологими поверхнями; нечутливість до UV випромінювання; висока термостійкість.

Аналіз досліджень та публікацій. Враховуючи новизну FRCM композитів, їх вивченню присвячено небагато дослідницьких праць. Зокрема, в публікації [1] вивчалися питання міцності та деформативності балок, підсилених системою Ruredil X Mesh Gold, проте без врахування впливу початкового навантаження на балки. Більше відомостей є про композити з застосуванням полімерних в'язучих матеріалів [2...4]. Одночасно відсутність точних методик розрахунку конструкцій підсилених композитами з врахуванням реальних умов їх експлуатації вимагає глибших досліджень у цьому напрямку.

Цілі досліджень. Метою дослідження є вивчити вплив на жорсткість елемента рівня діючого напруженого стану залізобетонної балки підсиленої за системою Ruredil X Mesh Gold.

Методика досліджень. Для експериментальних досліджень виготовлено серію дослідних зразків – 8 залізобетонних балок. Всі балки формували з одного замісу бетону, мають ідентичне армування та близькі геометричні характеристики перерізу (рис.1, табл. 1).

Розміри дослідних зразків: довжина 2100 мм, ширина 100 мм, висота 200 мм. Поздовжня робоча арматура класу А400С, конструктивна і поперечна класу Вр-І, крок поперечної арматури 65...120 мм. З'єднання арматури у просторовому каркасі виконано контактним зварюванням. На стержнях робочої арматури приблизно по середині балки приварено два тримачі для вимірювання деформацій за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу.

Визначення фізико-механічних характеристик сталі стержневої арматури проведено на стандартних зразках, виготовлених з арматурних стержнів для каркасів дослідних балок. Зразки випробовували на розривній машині ГМС-50 з одночасним записом діаграми розтягу.

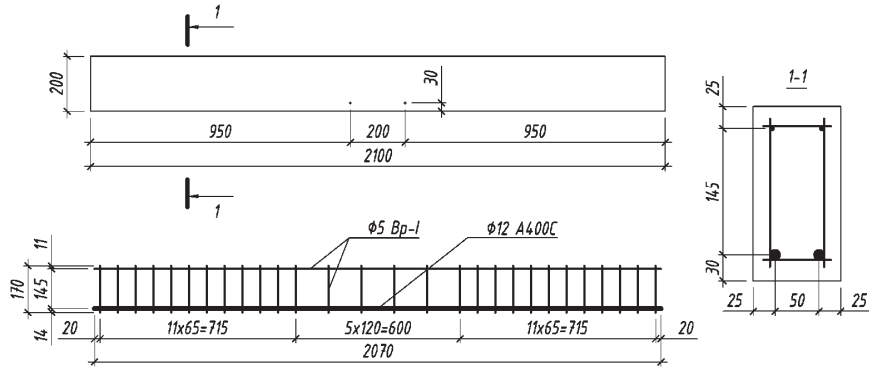


Рис. 1. Загальний вигляд балки та її армування

Дослідні зразки мали наступне маркування: Б – балка; 3 – випробувана без підсилення (звичайна); П – підсилена (табл. 1). Перша група цифр вказує на номер серії та порядковий номер балки в ній, а друга на рівень навантаження, при якому виконували підсилення. Наприклад, маркування "БП 1.4-0.5" вказує на те, що четверта балка першої серії була підсилена при рівні 0.5 від навантаження M_u^{exp} . Характеристики зразків подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики дослідних балок

№ п/п	Маркування балки	Розміри перерізу, мм	Арматура				Бетон	
			Армування (площа перерізу, см ²)	Межа текучості, МПа	Модуль пружності, ГПа	Коефіцієнт армування, %	Призмova міцність, МПа	Модуль пружності, ГПа
1	БЗ 1.1	103×205	2Ø12 А400С (2,26)	400	210	1,07	39,5	33,7
2	БЗ 1.2	102×203				1,09		
3	БП 1.3-0.5	105×197				1,09		
4	БП 1.4-0.5	99×208				1,10		
5	БП 1.5-0.7	105×208				1,03		
6	БП 1.6-0.7	107×203				1,04		
7	БП 1.7-0.9	98×198				1,16		
8	БП 1.8-0.9	106×205				1,04		

Для виготовлення балок був прийнятий такий склад бетону: Ц:П:Щ=1:1,14:2,62 при водоцементному відношенні В/Ц=0,35. Цемент – марки М400 Миколаївського цементного заводу; пісок – кварцевий Славутського кар'єру Хмельницької області без домішок з модулем крупності $M_c = 2,04$; щебінь – гранітний Селіщанського кар'єру Рівненської області фракції 5...10 мм – 45%, 10...20 мм – 55%.

Для визначення фізико-механічних характеристик бетону під час формування балок з того ж замісу були виготовлені та випробувані контрольні зразки відповідно до ДСТУ Б.В.2.7-214:2009.

Дві балки випробовували без підсилення для визначення фактичної несучої здатності (M_u^{exp}) та характеру їх руйнування. Решта балок, кожна з яких мала "близнюка", були підсилені при різних рівнях навантаження (0.5; 0.7 та $0.9 M_u^{exp}$).

Підсилення було виконано матеріалами системи Ruedil X Mesh Gold, характеристики яких наведено відповідно до декларованих виробником даних [5] у таблицях 2, 3.

Таблиця 2

Характеристики розчину Ruedil X Mesh M750

№ п/п	Величина	Значення
1	Витрати води на 100 кг розчину, л	24-26
2	Розхід (сухого продукту), кг/м ² /мм	1,210-1,230
3	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	29
4	Міцність на згин у віці 28 діб, МПа	3,5
5	Модуль пружності, ГПа	6

Таблиця 3

Характеристики сітки Ruedil X Mesh Gold

№ п/п	Величина	Значення
1	Маса сітки, г/см ²	1,56
2	Міцність на розтяг, МПа	5800
3	Модуль пружності, ГПа	270
4	Гранична деформація, %	2,15
5	Еквівалентна товщина у поздовжньому напрямку, мм	0,0445
6	Еквівалентна товщина у поперечному напрямку, мм	0,0115
7	Граничне напруження на розтяг вздовж волокон, кН/м	264
8	Граничне напруження на розтяг впоперек волокон, кН/м	66,5

Дослідні зразки випробовували на згин короткочасним навантаженням. Контроль рівня навантаження здійснювали за допомогою кільцевих динамометрів К1 та К2, котрі водночас служили шарнірними опорами балки з прольотом 1900 мм. Деформації робочої арматури вимірювали за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу Аі1 та Аі2 з ціною поділки 0,001 мм. Мікроіндикатори і1...і10 служили для вимірювання деформацій бетону за висотою перерізу балки. Для вимірювання прогинів на балку було встановлено п'ять прогиномірів Аістова ПАО 1...ПАО 5 та два індикатора П1 та П2 для врахування просідання опор стенду. Схема розташування приладів подана на рис. 2.

Навантаження прикладали у вигляді двох зосереджених сил, прикладених в третинах прольоту балки за допомогою гідравлічного домкрата і розподільчої траверси. Навантаження прикладали етапами по $0.05 M_u^{exp}$ до рівня $0.3 M_u^{exp}$ після чого продовжувалось етапами по $0.1 M_u^{exp}$ до руйнування з витримкою 15 хв. після кожного.

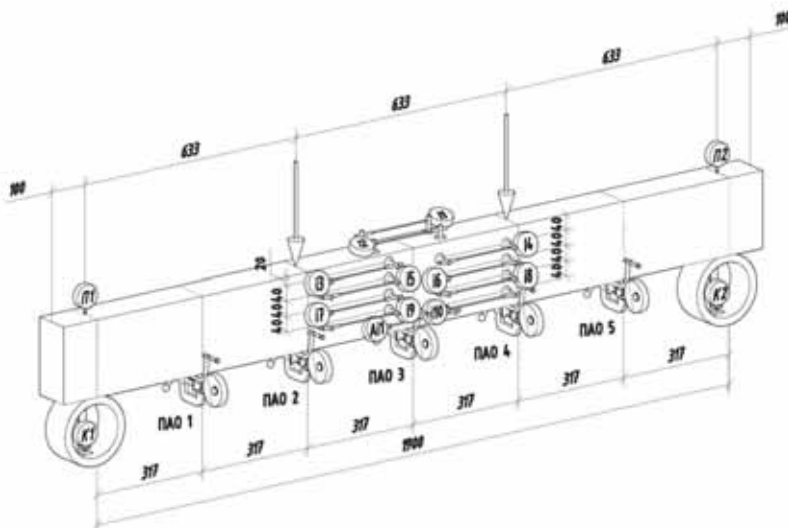


Рис. 2. Схема розташування приладів

При випробуванні балок з маркуванням БП навантаження проводили до відповідного рівня (0.5 ; 0.7 чи $0.9 M_u^{exp}$), після чого фіксували за допомогою системи траверс і тяжів. Далі виконували підсилення балок системою Ruredil X Mesh Gold за наступною технологічною послідовністю:

- очищення та зволоження поверхні бетону;
- нанесення шару розчину Ruredil X Mesh M750 товщиною 2-3 мм;

- приклеювання сітки Ruredil X Mesh Gold шириною 10 см;
 - нанесення другого шару розчину Ruredil X Mesh M750 товщиною 2-3 мм.
- Випробування продовжували не раніше ніж через п'ять днів після виконання підсилення. Навантаження прикладали етапами по $0.1 M_u^{exp}$ з витримкою 15 хв. до вичерпання несучої здатності балки.

Результати досліджень. За результатами випробувань отримано прогини балок по довжині прольоту. Графіки залежності максимального прогину в середині прольоту балки від згинаючого моменту подані на рис.3-6.

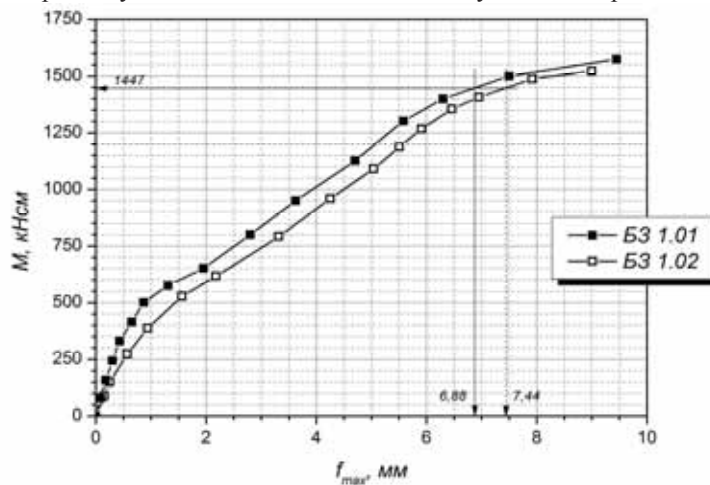


Рис. 3. Прогин балок БЗ 1.1 та БЗ 1.2

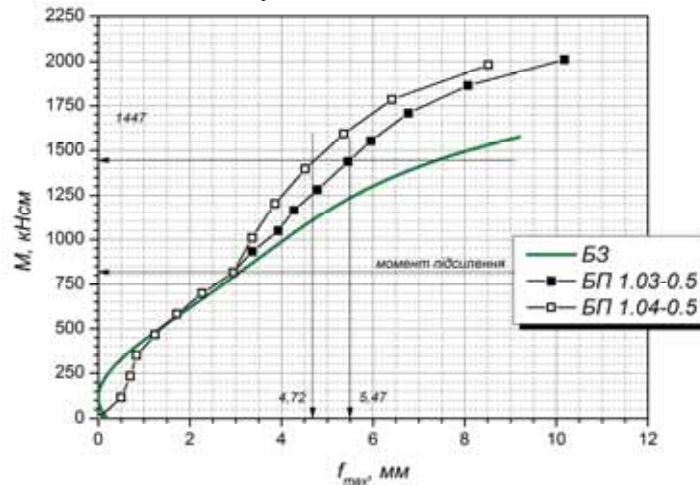


Рис. 4. Прогин балок БП 1.3-0.5 та БП 1.4-0.5

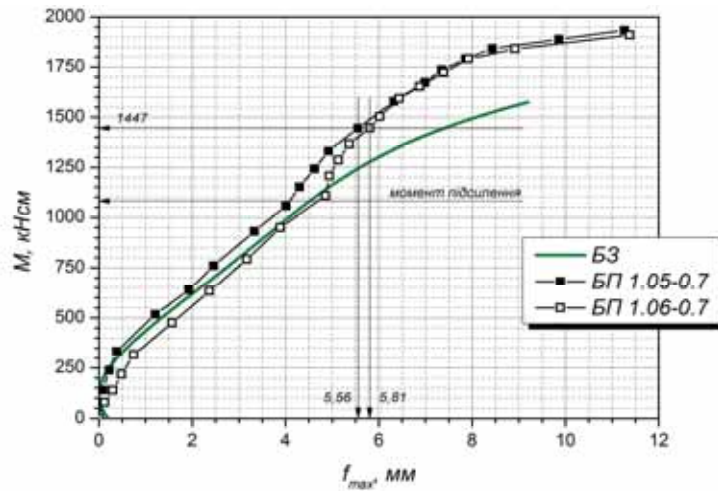


Рис. 5. Прогин балок БП 1.5-0.7 та БП 1.6-0.7

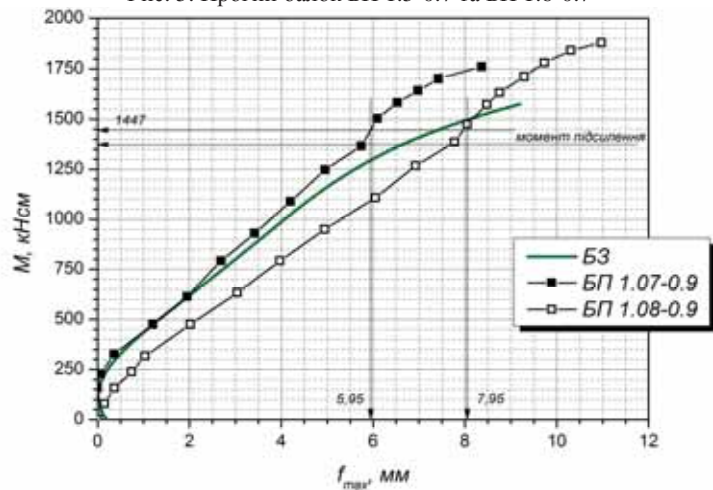


Рис. 6. Прогин балок БП 1.7-0.9 та БП 1.8-0.9

Числові значення прогинів всіх балок серії подано у таблицях 4 та 5.

Таблиця 4

Прогини контрольних балок

№	Балка	Прогин $f_{\max,к}$, мм	Середнє значення, $\overline{f_{\max,к}}$, мм
1	БЗ 1.01	6,88	7,16
2	БЗ 1.02	7,44	

Таблиця 5

Прогини підсилених балок

№	Балка	Прогин $f_{\max, n}$, мм	$\frac{f_{\max, n}}{f_{\max, k}}$	
			балки	“близнюків”
1	БП 1.03-0.5	5,47	0,76	0,71
2	БП 1.04-0.5	4,72	0,66	
3	БП 1.05-0.7	5,56	0,78	0,795
4	БП 1.06-0.7	5,81	0,81	
5	БП 1.07-0.9	5,95	0,83	0,97
6	БП 1.08-0.9	7,95	1,11	

Середній відсоток зменшення деформативності балок підсилених при рівні $0.5 M_u^{\text{exp}}$ склав 29%, при рівні $0.7 M_u^{\text{exp}}$ склав 20,5% та при рівні $0.9 M_u^{\text{exp}}$ склав 3%. Середній ефект підсилення для “близнюків” БП 1.07 та БП 1.08 є низьким через різний характер їх деформування. Можливою причиною такої відмінності є складність виконання підсилення за дії навантаження, близького до руйнівного.

Висновки. За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що можна досягнути підвищення жорсткості балок виконавши підсилення системою Ruredil X Mesh Gold при різних рівнях навантаження на величину до 29%. При підсиленні залізобетонних балок варто по можливості максимально розвантажити конструкцію для ефективнішого включення в роботу дослідженої системи підсилення.

Подяка: Виконавці даних досліджень висловлюють щирю вдячність ТзОВ “Альпі”, ексклюзивного представника фірми RUREDIL S.P.A. (Італія) на території України за надані матеріали для проведення досліджень.

1. Мельник І.В. Випробування залізобетонних балок з поздовжньою арматурою класу А-II, підсилених композитними матеріалами Ruredil X Mesh Gol / І.В. Мельник, Р.З. Добрянський, Р.І. Канафоцький, О.О. Кузик // Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне 2010. – Вип. 20. – С. 487-492. 2. Ільницький Б.М. Міцність і деформативність залізобетонних балок, посилені композитними матеріалами / Б.М. Ільницький, А.П. Крамарчук // Вісник Львівського національного аграрного університету “Архітектура і сільськогосподарське будівництво” – 2009. – №10. 3. Кваша В. Застосування композитів CFRP для підсилення залізобетонних мостів в Україні / І. Мельник, Ю. Собко, А. Мурич, Р. Добрянський // 9th International Scientific Conference “Current issues of civil and environmental engineering”. – Rzeszow, 3-4 September, 2004. – С. 221-227. 4. Kaminska M. Badania zelbetowych belek z tasmami CFRP przyklejnymi na ich powierzchniach / M. Kaminska, R. Kotynia // XVI konferencja naukowo-techniczna “Beton i prefabrykacja”. – 1998. – Т 2. – С. 479-484. 5. Ruredil X-Mesh Gold [Електронний ресурс] / Ruredil S.P.A. // Технічні характеристики. – Режим доступу: http://english.ruredil.it/SchedeProdottoENG/RuredilXMeshGOLD_ing_1.pdf