

ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ РІЗНИХ ПРОЦЕНТАХ ПІДСИЛЕННЯ ЗОВНІШНЬОЮ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

Мурин А.Я.

Добрянський Р.З.

Сорохтей В.М.

Цепков С.В.

Приставський Т.В.

Національний університет "Львівська політехніка"

Вступ

При зростаючій інтенсивності руху, збільшенні ваги й габаритів транспортних засобів, необхідності більш частого пропуску понаднормативних навантажень зростають вимоги до експлуатаційних якостей мостів, що викликає необхідність підвищення надійності й ефективності їх експлуатації. Протягом останніх десятиліть активно проводяться дослідження та застосування неметалевої арматури для підсилення конструкцій різного призначення, в основному прогонових конструкцій мостів та великорозмірних конструкцій покриттів [1...4]. Основні переваги неметалевої арматури: висока міцність, корозійна стійкість, легкість і простота використання, відсутність необхідності стикування по довжині, висока втомна міцність, зручний та простий спосіб застосування. Підсилення за допомогою композитної арматури стає більш поширеним та перспективним, про що свідчать комплексні дослідження, проведені дослідницькою групою fib [11], створення польської групи міжнародної організації ПФС, яка займається застосуванням полімерних композитів у будівництві [1], розробка регламентних документів [12] тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільш розповсюдженим конструкційним композитним матеріалом є стрічка на основі високоміцних вуглецевих волокон (CFRP). Експериментальне вивчення застосування CFRP для підсилення залізобетонних балок було виконано Meier та ін., починаючи з 1985, у швейцарських лабораторіях EMPA [6, тощо]. У літературі широко описано випробування залізобетонних конструкцій, підсилених зовнішньою композитною арматурою, проведених у Швейцарії, Німеччині, Японії, Польщі та Україні [6...10 та ін.]. У НУ «Львівська політехніка» вперше в Україні під керівництвом проф. Кваші В.Г. проведено комплексні експериментальні дослідження залізобетонної мостової балки (за ТП вип. 56), підсиленої системою на основі високоміцних вуглецевих волокон [9].

У цих та інших роботах розглянуто різні аспекти роботи підсилених конструкцій, але мало описано визначення деформацій перерізів по висоті при різних процентах зовнішнього підсилення.

Постановка завдання

Мета статті полягає у описанні та порівнянні основних результатів експериментальних і теоретичних досліджень нормальних перерізів балок за показниками деформативності при різних процентах армування композитною стрічкою.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено залізобетонні балки двох серій довжиною 2100 мм, шириною 120 мм і висотою 220 мм. Зразки серій 1 та 2 відрізнялись міцністю бетону. Балки було запроєктовано таким чином, щоб їх руйнування проходило за нормальним перерізом від дії згинального моменту.

Прийняті такі умовні позначення: перша цифра вказує серію балок (1,2); Б – балка; П – підсилена; друга цифра – порядковий номер балки даної серії (1...8); третя цифра вказує на ширину стрічки підсилення (у частці до базової стрічки шириною 50 мм: 1 – 50 мм (1), 2 – 25 мм (1/2), 3 – 16,7 мм (1/3), 4 – 12,5 мм (1/4).

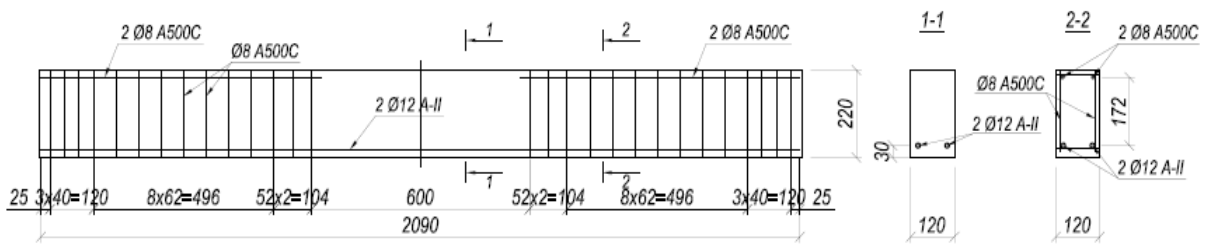


Рис. 1. Конструкція дослідних зразків (до підсилення)

Конструкцію підсилення дослідних зразків показано на рис. 2. Внаслідок недостатності зчеплення композитної стрічки і бетонної поверхні було використано систему додаткового анкерування з частин стрічки CFRP CarboDur та тканини SikaWrap. Випробування зразків із застосуванням цієї системи показали високу ефективність такого способу анкерування.

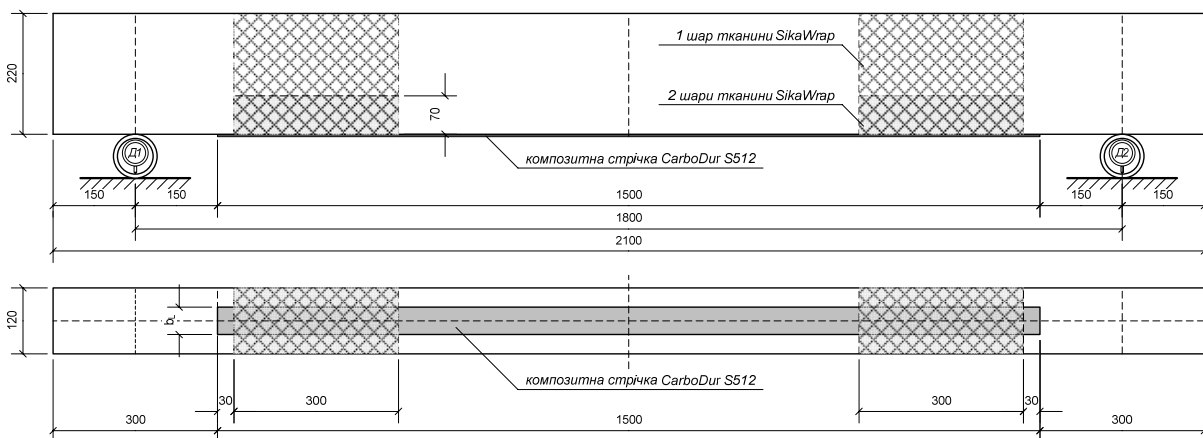


Рис. 2. Конструкція підсилення дослідних зразків.

Результати досліджень

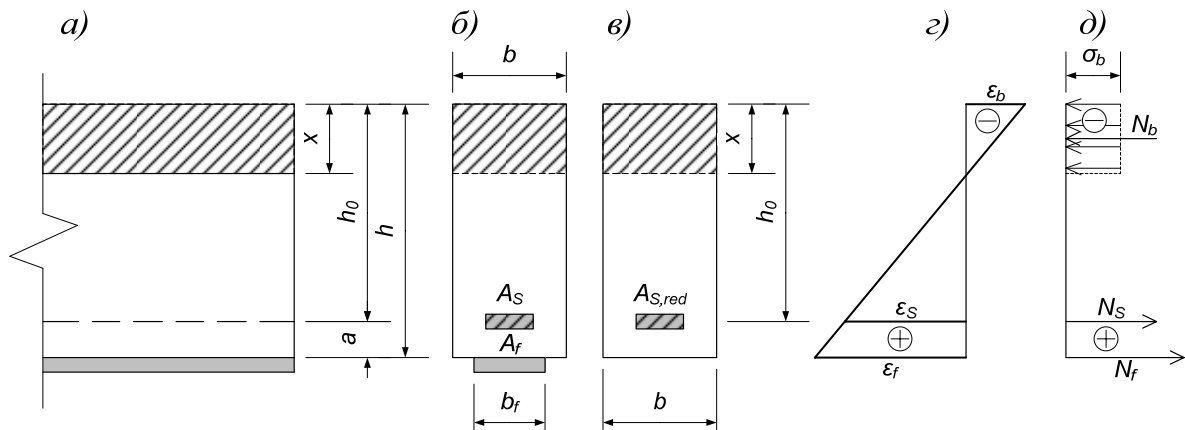
Для отримання експериментальних даних замірювали деформації характерних перерізів балок за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, розташованих у нормальних перерізах по висоті балок. Основними показниками деформативності є деформації крайніх стиснутих фібр бетону, деформації внутрішньої сталеві арматури та деформації зовнішньої композитної стрічки.

Для оцінювання деформативності нормальних перерізів були використані чинні норми з проектування та розрахунку залізобетонних конструкцій [13] з урахуванням підсилення. Основні теоретичні підходи:

1. Справедливість гіпотези плоских перерізів;

2. Спільна дія залізобетонної конструкції та композитної арматури;
3. Зовнішня композитна арматура приводиться до внутрішньої сталеві арматури за модулями пружності та ординатами у перерізі.

Розрахункова схема фактичного та приведеного перерізу, відносні деформації та розподіл внутрішніх зусиль показані на рис. 3.



a – поздовжній розріз; б – поперечний переріз підсиленої конструкції; в – приведений розрахунковий переріз підсиленої конструкції; г – розподіл деформацій по висоті перерізу; д – рівновага внутрішніх зусиль поперечного перерізу

Рис. 3 Розрахункова схема підсилених залізобетонних балок

При розрахунках приведена площа розтягнутої арматури $A_{S,red}$ приймається за формулою:

$$A_{S,red} = A_S + A_f \frac{E_f}{E_S} \cdot \frac{h}{h_0}, \quad (1)$$

де A_S, A_f – площа поперечного перерізу внутрішньої сталеві та зовнішньої композитної арматури;

E_S, E_f – модуль пружності внутрішньої сталеві та зовнішньої композитної арматури;

h – висота елемента;

h_0 – робоча висота перерізу (рис. 3,в).

Всі подальші розрахунки деформацій крайніх стиснутих фібр бетону та деформацій внутрішньої сталеві арматури проводяться за [13]. Деформації зовнішньої композитної арматури ε_{fm} визначаються із залежності:

$$\varepsilon_{fm} = \varepsilon_{sm} \cdot \frac{h}{h_0}, \quad (2)$$

де ε_{sm} - середні відносні деформації внутрішньої сталеві арматури.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень деформацій подані на рис. 4...7.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-2-1 становить $M_u = 23,7$ кНм [14,15]. На рис. 4 збіг експериментальних та теоретичних значень деформацій настає при значенні $M \approx 15$ кНм, що становить $0,63 M_u$.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-5-2 становить $M_u = 19,3$ кНм. На рис. 5 збіг експериментальних та теоретичних значень деформацій настає при значенні $M \approx 9$ кНм, що становить $0,47 M_u$.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-7-3 становить $M_u = 17,8$ кНм. На рис. 6 збіг експериментальних та теоретичних значень деформацій настає при значенні $M \approx 16$ кНм, що становить $0,90 M_u$.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-7-3 становить $M_u = 17,0$ кНм. На рис. 7 збіг експериментальних та теоретичних значень деформацій настає при значенні $M \approx 15$ кНм, що становить $0,88 M_u$.

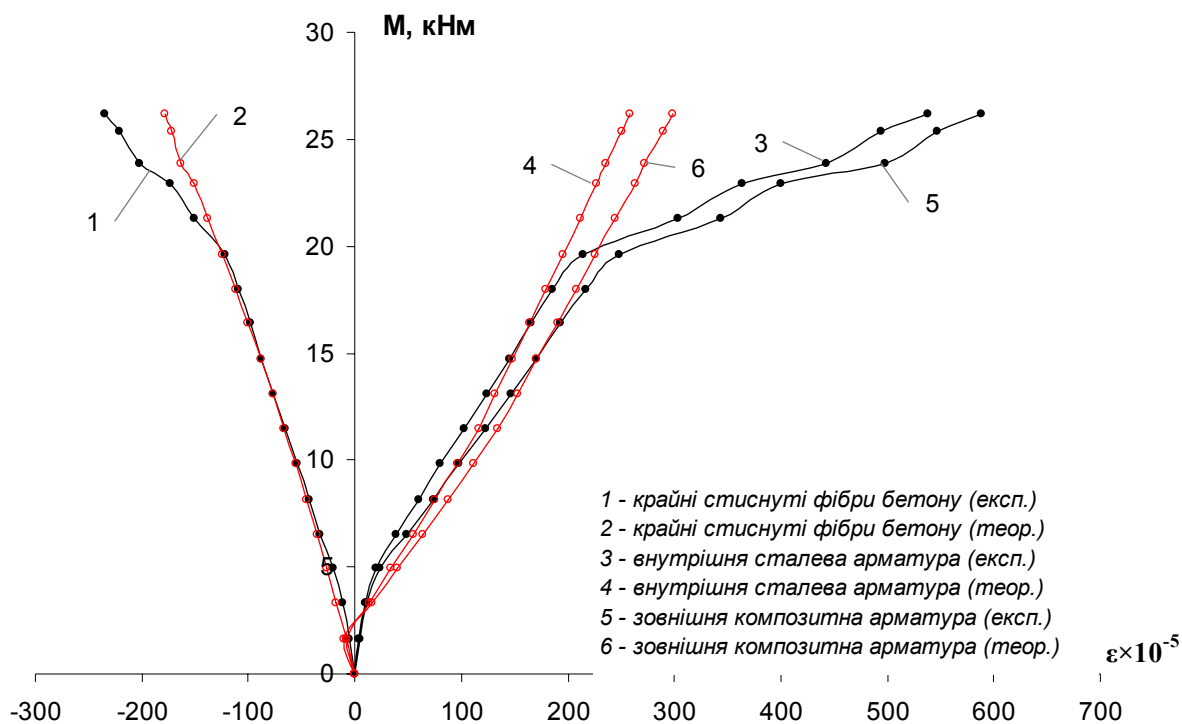


Рис. 4. Експериментальні та теоретичні деформації балки 1БП-2-1

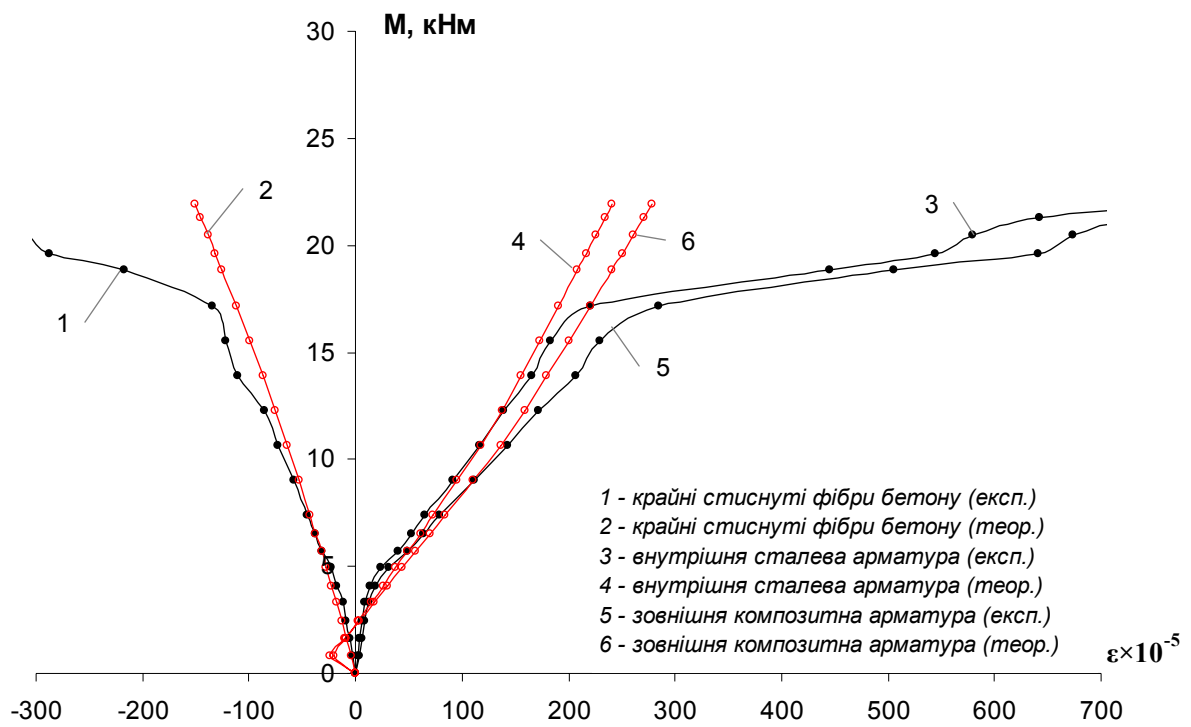


Рис.5. Експериментальні та теоретичні деформації балки ІВП-5-2

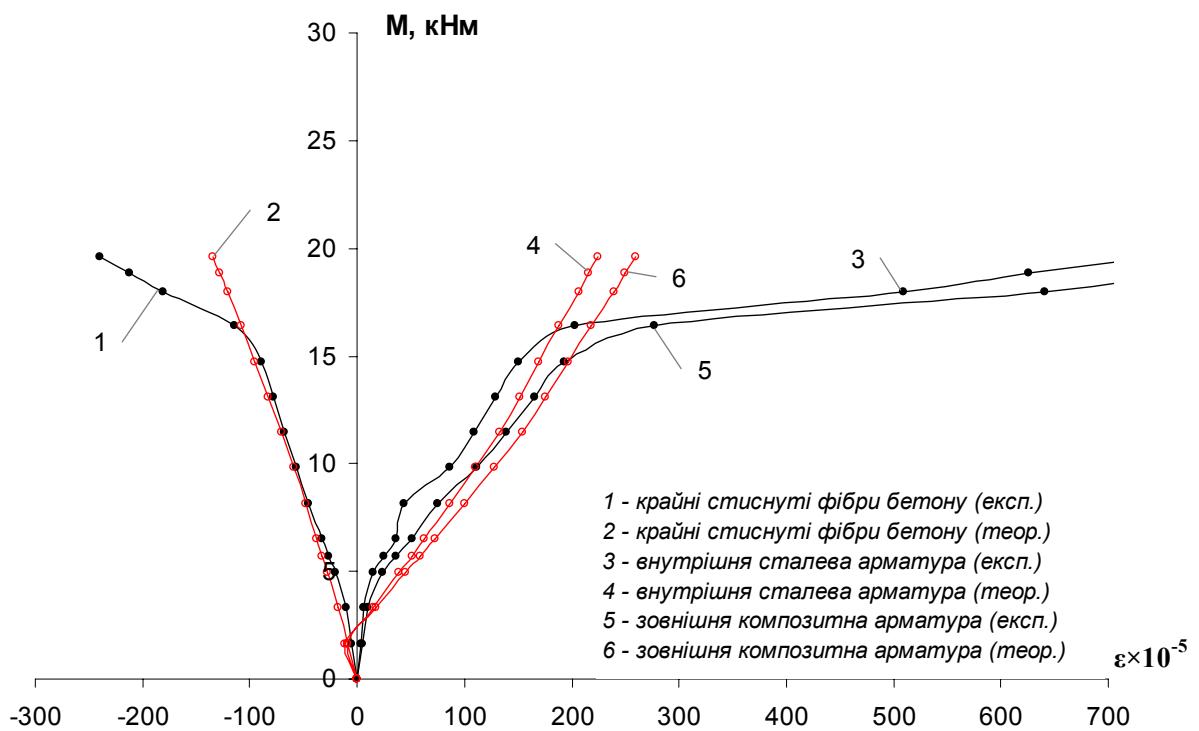


Рис. 6. Експериментальні та теоретичні деформації балки ІВП-7-3

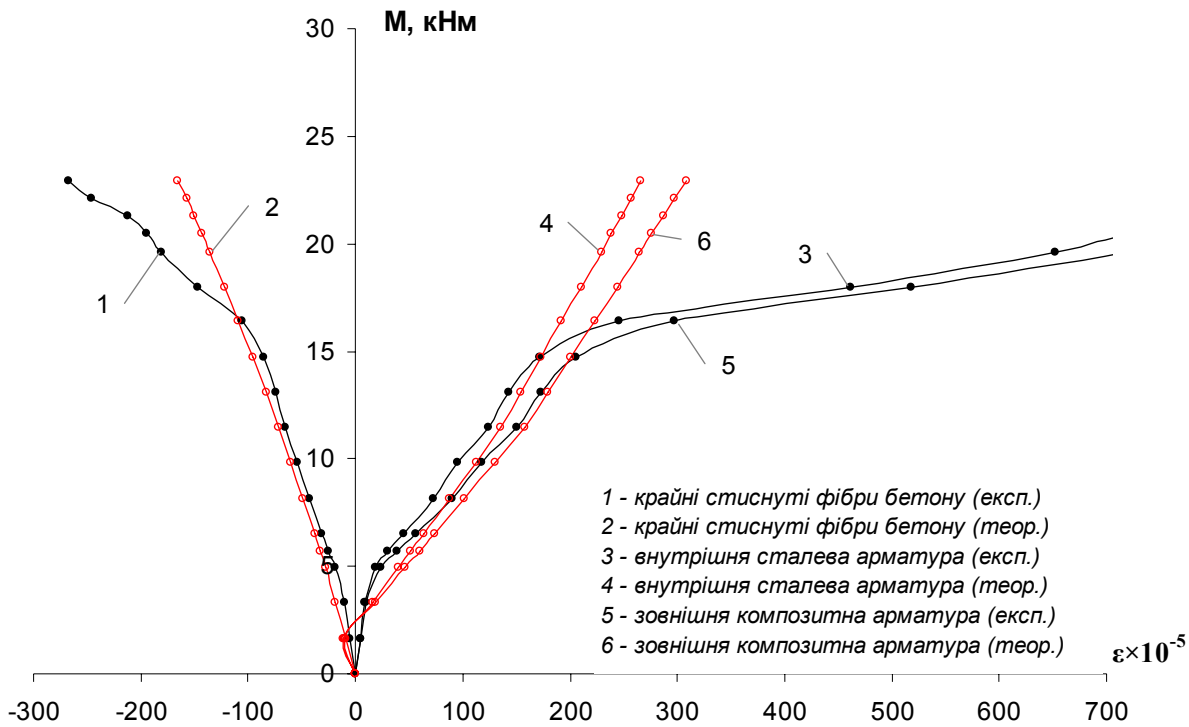


Рис. 7. Експериментальні та теоретичні деформації балки 1БП-8-4

Такий розкид експериментальних даних пояснюється тим, що у зразках 1БП-2-1 та 1БП-5-2 при високих рівнях навантаження відбувалося відшарування та проковзування композитної стрічки під анкеруючою тканиною, що було зафіксовано відповідними вимірювальними приладами.

У зразках 1БП-7-3 та 1БП-8-4 була застосована додаткова система анкерування, при цьому відшарування та проковзування композитної стрічки були мінімізовані на всіх етапах навантаження практично до руйнування. Різниця між теоретичними та експериментальними значеннями деформацій до рівня навантаження $0,9 M_u$ не перевищує 15% у бік завищення теоретичних значень, що є достатньо для інженерних розрахунків.

Висновки

Запропоновано методику розрахунку деформацій нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою, приведенням її до внутрішньої сталеві арматури. Ця методика розрахунку базується на чинних нормах проектування залізобетонних конструкцій. При обчисленні деформацій стиснутого бетону, сталеві та композитної арматури похибка обчислень не перевищує 15% у бік завищення теоретичних значень над експериментальними, що є достатньо для інженерних розрахунків.

Література

1. Kotynia R. Polska Grupa międzynarodowej organizacji IIFC zajmującej się zastosowaniem kompozytów polimerowych w budownictwie. // Inżynieria i budownictwo, NR 11/2007. – S. 614.
2. Rybak M. Łagoda M.: Wzmacnianie mostów betonowych za pomocą przyklejanego zbrojenia zewnętrznego. XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 1997. – P. 41-50.

3. Кваша В.Г., Мельник І.В., Клипуш М.Д. Експериментальне дослідження залізобетонної мостової балки за ТП вип. 56, підсиленої композитною стрічкою з вуглецевих волокон CFRP. // Зб. Автомобільні дороги та дорожнє будівництво. – Вип.62. – К., 2001. – С. 267-271.
4. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций. // Бетон и железобетон. – М, 2002, № 6. – С. 17-20; 2003, № 1. – С. 25-29.
5. Кваша В., Мельник І., Собко Ю., Мурин А., Добрянський Р. Застосування композитів CFRP для підсилення залізобетонних мостів в Україні. 9th International Scientific Conference "Current issues of civil and environmental engineering". – Rzeszow, 3-4 September, 2004. – С. 221-227.
6. Meier U., Kaiser K. Strengthening of Structures with CFRP Laminates, Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures, Proceedings of the Specialty Conference (ASCE), Las Vegas, Nevada, 1991. p. 224-232.
7. Kaminska M., Kotynia R. Badania zelbetowych belek z tasmami CFRP przyklejnymi na ich powierzchniach. // XVI konferencja naukowo-techniczna "Beton i prefabrykacja". – Tom.2. – Jadwisin. – 1998. – S. 479-484.
8. Kybicki J. Badania doświadczalne zarysowanych belek zelbetowych z naklejonymi taśmami kompozytowymi z włókien węglowych. // Prace instytutu techniki – kwartalnik № 4 (124) 2002. – S. 43-59.
9. Кваша В.Г., Мельник І.В., Клипуш М.Д., Шевчик О. Міцність і деформативність залізобетонних мостових балок, посилені неметалевою арматурою CFRP. // VI міжнародна наукова конференція "Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля". – Львів. – 2001. – С. 223-230.
10. Мурин А.Я., Добрянський Р.З. Дослідження роботи залізобетонних балок, підсилені наклеюванням композитної арматури // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, вип. 2005-4(52). Макіївка, 2005 р. с. 254-257.
11. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report fib, bulletin 14, 2001, 130 p.
12. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ГУП «НИИЖБ», ООО «Интераква». М. 2006, 48 с.
13. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
14. Мурин А.Я. Міцність залізобетонних балок при різних процентах підсилення зовнішньою композитною арматурою // Вісник Національного університету Львівська політехніка «Теорія і практика будівництва», № 600. Львів, 2007 р. – С. 244-250.
15. Мурин А.Я. Міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилені зовнішньою композитною арматурою // Вісник національного університету "Львівська політехніка" "Теорія і практика будівництва", № 627. Львів, 2008 р. – С. 155-158.