

УДК 624.012.25

О. Конончук, канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВРАХУВАННЯ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЕНИХ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Резюме. Проведено експериментальні дослідження підсилених згинальних залізобетонних елементів при дії на них одноразових та малоциклових навантажень. В експерименті використано два методи підсилення: за допомогою вуглепластикових стрічок CFRP та полотна Wrap. Малоциклові навантаження прикладались різних рівнів, щоб змодельовати найпоширеніші режими експлуатації конструкцій, зокрема і випадки їх перенавантаження. В результаті проведених досліджень експериментально встановлено дійсний напружено-деформований стан таких конструкцій за різного режиму навантаження. У зв'язку з тим, що в чинних нормах відсутня методика розрахунку підсилених згинальних залізобетонних елементів, зокрема приклеєними в розтягненій зоні композитними матеріалами, розроблено таку методику. Вона адаптована до вимог ДБН В.2.6.-98:2009 та ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 і базується на основі деформаційної моделі та враховує вплив малоциклових навантажень. Провівши порівняння експериментальних і теоретично отриманих даних, встановлено задовільну збіжність. Запропонована методика розрахунку дозволяє не тільки знайти несучу здатність таких конструкцій чи підібрати необхідні параметри елементів підсилення, але й встановити напружено-деформований стан підсиленої конструкції на будь-якому етапі її роботи, починаючи від першого навантаження й до стадії руйнування.

Ключові слова: залізобетон, підсилення, композити, розрахунок, нормальні перерізи, малоциклові навантаження.

O. Kononchuk

CONSIDERING OF SMALL CYCLIC LOADINGS WHILE CALCULATING OF STRENGTHENED BENDED FERROCONCRETE ELEMENTS

Summary. Experimental research of bended ferroconcrete elements before and after strengthening by composite materials under the action of disposable and small cyclic loading was carried out. The effect of small cyclic loadings on the bearing capacity, deformation and fracture toughness of experimental samples was found. Two methods of strengthening: using carbon plastic strips CFRP, which are glued along the entire length of beams span and anchored in the areas of support; using canvas Wrap, which is arranged in the form of U-shaped holder in the stretched zone of the concrete along the entire length of beams span. Small cycle loadings were applied at different levels to simulate the most common operation modes of constructions, the cases of overloading in particular. As a result of the conducted researches a real stress-strained state of such constructions under various kinds of loadings was determined experimentally. Taking into account the fact, that since 2011 in Ukraine new regulations of ferroconcrete constructions design, in which the calculation is based on the deformation model, have been adopted, and, taking into account the fact, that in the current standards the method, according to which the bended strengthened ferroconcrete elements are calculated, is not available, there is a need to develop such method. In this paper the method of calculating the bearing capacity of normal cross sections of bended ferroconcrete elements, strengthened by composite materials under the action of single loadings, have been improved. Adapted calculation of bended strengthened ferroconcrete elements in accordance with DBN V.2.6.-98:2009 and DSTU B.V.2.6-156:2010, which takes into account the effect of small cyclic loadings, based on the deformation model, have been developed on the basis of the deformed model. Having compared experimental and theoretical obtained data, satisfactory similarity was found. Proposed method makes possible not only to find bearing capacity of these structures or choose the required parameters of strengthened elements, but also to establish the stress-strained state of strengthened structure at any stage of its operation starting from the first loadings and to the stage of fracture.

Key words: reinforced concrete, strengthening, composites, calculation, normal cross-sections, small cycle loadings.

Постановка проблеми. На сучасному рівні розвитку економіки, технічного прогресу й науково-технічної революції постає необхідність швидкої перебудови виробництва з використанням нових високоефективних технологій. Заміна технологій та устаткування пов'язана, як правило, зі збільшенням навантажень на несучі конструкції будівель, необхідністю перепланування приміщень, надбудовою споруд, пропусканням нових комунікацій. Крім цього, під час експлуатації будівель та споруд не завжди дотримуються нормативних навантажень і визначеного терміну служби. Трапляються випадки, коли конструкції через механічні пошкодження або певні негативні зовнішні впливи частково втрачають несучу здатність, тому потребують ремонту. Також не менш важливою є проблема якості будівельних матеріалів і робіт, що виконуються на будівельному майданчику. Через їх невідповідність нормам, зводяться нові будівлі, які ще не вступивши в експлуатацію, потребують ремонту. Необхідність у підсиленні конструкцій може виникнути при зміні функціонального призначення будівлі, впровадженні нової техніки, розширенні виробництва, що призводить до збільшення навантаження на несучі конструкції.

Зважаючи на те, що серед конструкцій, які використовуються вже багато років у промислових та цивільних будинках і спорудах переважають залізобетонні, які досить часто піддаються дії малоциклових навантажень, вплив яких є недостатньо вивченим, виникає гостра необхідність всебічного дослідження даної проблеми та моделювання роботи таких конструкцій після їх підсилення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі розвитку будівництва підсиленню конструкцій завжди приділялась велика увага, про що свідчить значна кількість досліджень, які охоплюють широкий діапазон методів підсилення та методик їх розрахунку. Зокрема дослідженню підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів присвятили свої роботи Б.А. Ашимов, А.Я. Барашиков, З.Я. Бліхарський, О.П. Борисюк, В.Г. Кваша, Л.А. Мурашко, О.Л. Шагін та ін. [1, 2].

Одним із найперспективніших напрямків підсилення розтягнутої зони згинальних залізобетонних елементів, особливо значних габаритних розмірів, є підсилення без зміни розрахункової схеми та напруженого стану конструкції. Таким є підсилення за допомогою композитних стрічок та полотен CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymers), яке, починаючи із 70 – 80 років ХХ століття, почало широко застосовуватися у світі. За кордоном проведено велику кількість досліджень даного методу підсилення такими науковцями, як U. Meier, P. Ritchie, M.E. Kaminska, R. Kotynia, R. Al-Mahaidi, A. Nii, А.Ф. Бернадський, Л.А. Панченко, В.І. Римшин, А.О. Шилін та ін. [3].

На сьогодні в Україні розробленням розрахунку підсиленних в розтягнутій зоні згинальних залізобетонних елементів композитною стрічкою за дії одноразового навантаження займалися Кваша В.Г., Мельник І.В., Мурин А.Я., Климпуш М.Д. та ін. [1, 2]. Основна ідея, покладена в їх методику, полягає у введенні в розрахунок за СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции» замість площі поперечного перерізу внутрішньої розтягнутої сталеві арматури A_s – приведеної площі поперечного перерізу робочої арматури $A_{s,red}$. Усі подальші розрахунки пропонуються проводити за СНиП 2.03.01-84*.

Відсутність єдиної чіткої методики розрахунку підсиленних згинальних залізобетонних конструкцій, зокрема композитними матеріалами, яка б відповідала новим нормам проектування та враховувала всі можливі силові впливи, зумовлює необхідність їх додаткового вивчення.

Мета роботи. На основі деформаційної моделі розробити розрахунок підсиленних згинальних залізобетонних елементів з дотриманням вимог ДБН В.2.6.-98:2009 та ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 [4, 5], який би враховував вплив малоциклових навантажень.

Постановка завдання (задачі). Для досягнення поставленої мети в роботі ставились такі завдання:

- виконати експериментально-теоретичні дослідження напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитами при одноразових та малоциклових навантаженнях до й після їх підсилення;
- встановити вплив одноразового та малоциклового навантаження на напружено-деформований стан, прогини та ширину розкриття тріщин підсилених зразків з урахуванням історії їх роботи до підсилення;
- розробити методика розрахунку несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитними матеріалами за дії на них одноразових та малоциклових навантажень із використанням деформаційної моделі.

Результати дослідження. Для експериментальних досліджень були виготовлені залізобетонні балки з бетону класу С 20/25, довжиною 2 м та розмірами поперечного перерізу 100×160 мм. Армування дослідних зразків виконувалось таким чином, щоб запобігти виникненню похилих тріщин: двома поздовжніми робочими арматурними стержнями Ø10 А 500С та поперечними стержнями Ø6 А 240С з кроком 50 мм. Прийнята статична схема однопрольотної вільно обпертої балки на двох опорах прольотом 1800 мм, завантаженої двома симетрично зосередженими силами [6].

Після попереднього випробування дослідні зразки підсилювалися за двома схемами. За першою схемою балки підсилювалися стрічкою, яка приклеювалася в нижній розтягненій зоні по всій довжині прольоту та анкерувалася на приопорних ділянках однонаправленим полотном. За другою схемою – однонаправленим полотном, яке наклеювалося по всій довжині прольоту балки у вигляді U-подібної обойми.

До експериментальних зразків прикладались одноразові та малоциклові навантаження різних рівнів, які моделювали найпоширеніші режими експлуатації конструкцій, зокрема й випадки їх перевантаження.

Розроблена програма експериментальних досліджень забезпечила отримання нових достовірних даних про особливості роботи згинальних залізобетонних елементів до та після їх підсилення композитними матеріалами в розтягненій зоні при дії одноразових та малоциклових навантажень високих рівнів [6, 7].

У зв'язку з тим, що з 01.06.2011 року в Україні набрали чинності нові норми проектування: ДБН В.2.6.-98:2009 та ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 [4, 5], усі розрахунки бетонних та залізобетонних конструкцій повинні відповідати даним документам. Оскільки в чинних нормах не наведено методики, за якою б можна було розрахувати підсилені згинальні залізобетонні елементи, зокрема приклеєними в розтягненій зоні композитними матеріалами, виникає необхідність у такому розрахунку.

На основі отриманих експериментальних даних та напрацювань науковців у напрямку розрахунку згинальних залізобетонних елементів за допомогою деформаційної моделі [8, 9], в цій роботі удосконалено методика розрахунку несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитними матеріалами при дії одноразових навантажень. На основі деформаційної моделі розроблено адаптований розрахунок підсилених згинальних залізобетонних елементів з дотриманням вимог [4, 5], який враховує дію малоциклових навантажень.

Особливістю запропонованого розрахунку є приведення за показниками деформативності та площі поперечного перерізу зовнішньої композитної арматури до відповідної кількості внутрішньої сталеві арматури [10, 11]. Подальший розрахунок проводиться за алгоритмом, що наведений в [5], замінивши площу поперечного перерізу внутрішньої розтягнутої сталеві арматури A_{s2} на приведену площу поперечного перерізу робочої арматури $A_{s2,red}$ (рис.1).

Розроблений алгоритм розрахунку є досить складним. Тому при його виконанні необхідно використовувати ЕОМ. Для цього розроблена блок-схема (див. рис.2), в якій наведена чітка послідовність дій при створенні програми для встановлення напружено-деформованого стану підсиленої конструкції на будь-якому етапі її роботи, починаючи від першого навантаження і до стадії руйнування.

Даний алгоритм передбачає проводити розрахунок як для умов малоциклового навантаження конструкції, так і одноразового. Одноразове навантаження розглядається як один із випадків малоциклового, коли кількість циклів приймається рівною одиниці із максимальним рівнем навантаження M_{ULS} . Крім цього, розрахунок може значно спроститися за рахунок того, що не потрібно постійно обчислювати коефіцієнти полінома a_k , які для одноразового навантаження наведені в табл. Д.1 Додатка Д [4].

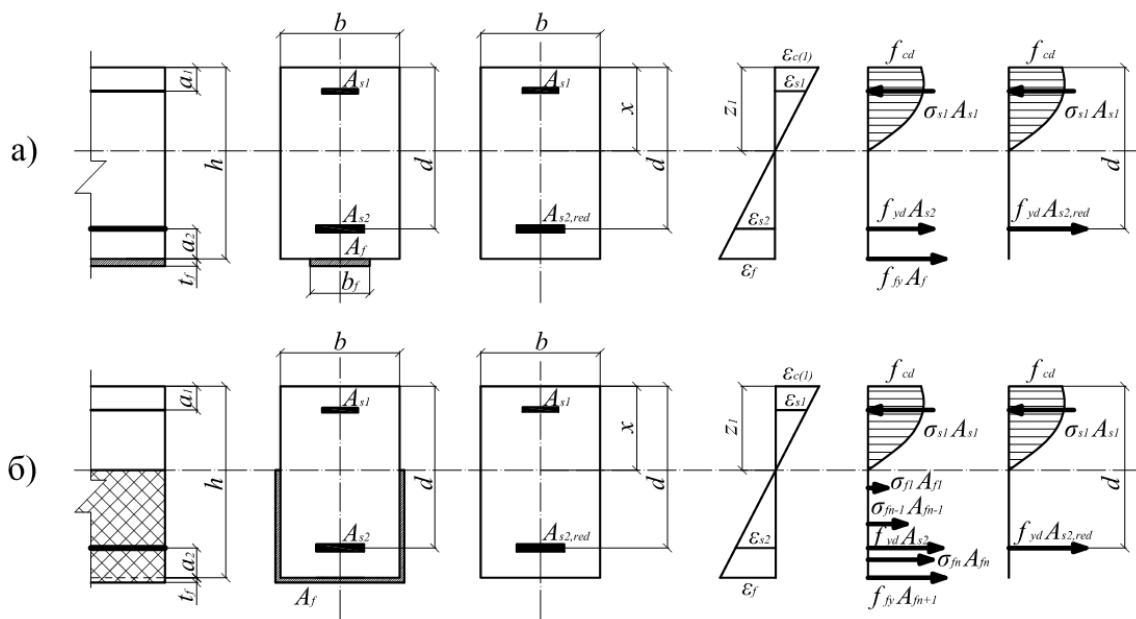


Рисунок 1. Розрахункова схема нормального перерізу залізобетонної балки підсиленої:
а) – композитною стрічкою; б) – композитним полотном

Figure 1. Design scheme of normal cross section of strengthened ferroconcrete beams:
а) – composite strip; б) – composite canvas

Дана блок-схема передбачає розрахунок для двох методів підсилення: композитною стрічкою та полотном. Для другого методу розрахунок внутрішніх зусиль є дещо складнішим, оскільки передбачає підбір геометричних розмірів та кількості шарів полотна особою, що проводить розрахунок, базуючись на конструктивних вимогах.

Для перевірки запропонованого розрахункового апарата, проведено розрахунок експериментальних зразків згідно з наведеною методикою і порівняно з експериментальними даними (див. табл.1).

Таблиця 1

Експериментальна й теоретична несуча здатність дослідних зразків, випробуваних малоцикловим навантаженням

№ з/п	Назва балки	Вид підсилення	Експериментальна несуча здатність	Теоретична несуча здатність	$\delta = \frac{M_{ULS}^{teor} - M_{ULS}^{exp}}{M_{ULS}^{exp}}$
			M_{ULS}^{exp} , кН×м	M_{ULS}^{teor} , кН×м	δ , %
1	БЦ-1	Стрічка	18,81	19,45	3,4
2	БЦ-2		18,81	18,72	- 0,5

3	БЦ-3		19,87	19,13	- 3,7
4	БЦ-4		19,75	19,23	- 2,6
5	БЦ-1	Полотно	16,16	17,02	5,3
6	БЦ-2		15,37	16,26	5,8
7	БЦ-3		16,16	15,88	- 1,7
8	БЦ-4		15,60	15,72	0,8

Як бачимо із табл.1, запропонований розрахунковий апарат дає задовільну збіжність між теоретично обчисленими максимальними згинальними моментами, що може нести нормальний переріз підсилених залізобетонних балок, та тими, що встановлені експериментальним шляхом.

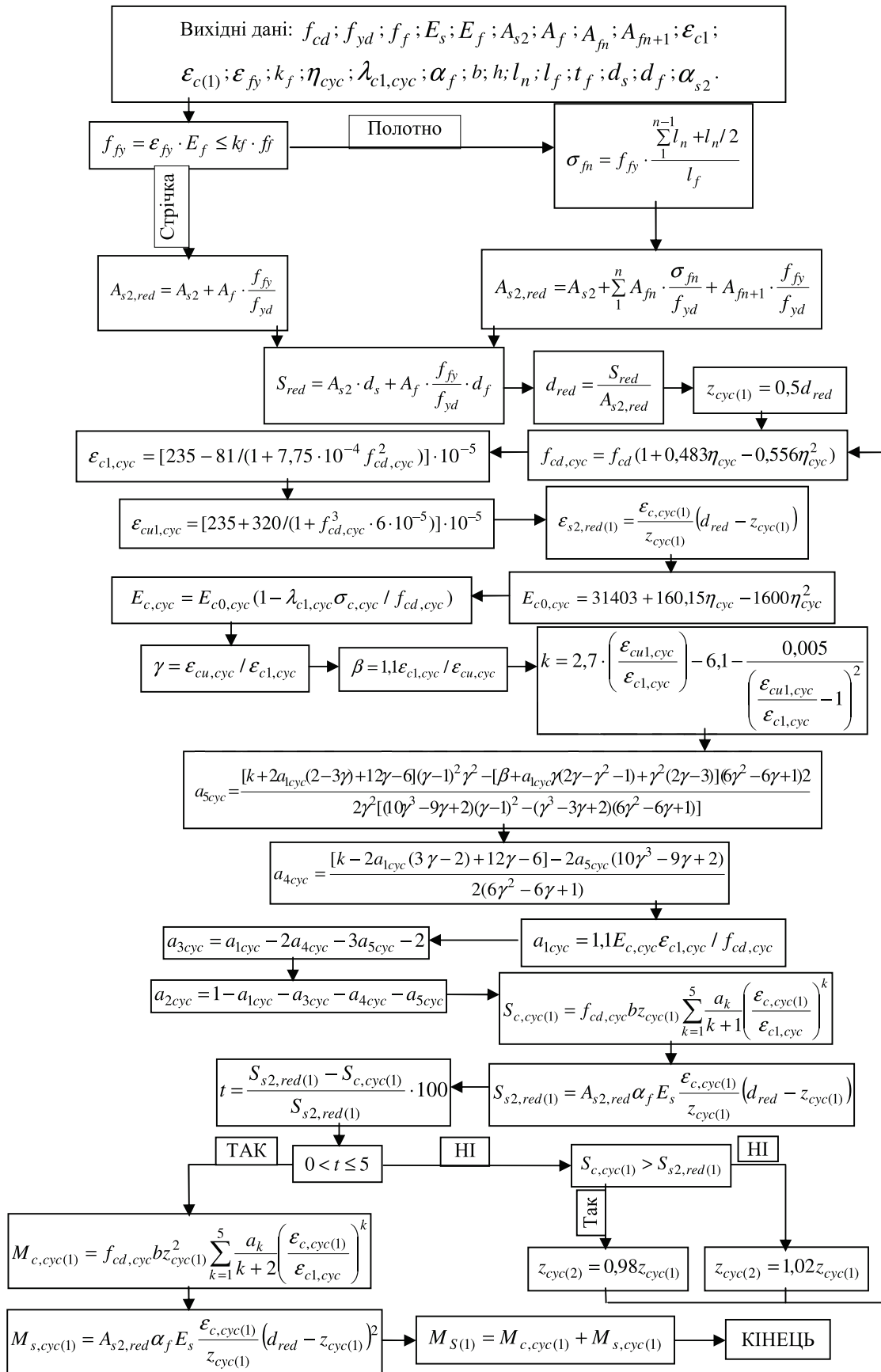


Рисунок 2. Блок-схема для визначення внутрішніх зусиль

Figure 2. Block scheme for determining the internal efforts

Висновки. На основі проведених експериментально-теоретичних досліджень встановлено дійсний напружено-деформований стан згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитними матеріалами за різних режимів навантаження. Удосконалено методику розрахунку несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитами при дії одноразових навантажень. На основі деформаційної моделі розроблено адаптований розрахунок підсилених згинальних залізобетонних елементів з дотриманням вимог ДБН В.2.6.-98:2009 та ДСТУ Б.В.2.6-156:2010, який враховує дію малоциклових навантажень. На підставі виконаних порівняльних розрахунків встановлено задовільну збіжність експериментальних і теоретично отриманих даних. Запропонована методика дозволяє не тільки знайти несучу здатність таких конструкцій чи підібрати необхідні параметри елементів підсилення, але й встановити напружено-деформований стан підсиленої конструкції на будь-якому етапі її роботи, починаючи від першого навантаження і до стадії руйнування.

Conclusions. Basing on the experimental-theoretical researches real stress-strained state of bended ferroconcrete elements strengthened with composite materials under different modes of loadings have been established. Method of calculating of bearing capacity of normal cross section of bended ferroconcrete elements, that is strengthened by composites under the action of single loading was improved. Adapted calculation of bended strengthened ferroconcrete elements in accordance with DBN V.2.6.-98:2009 and DSTU B.V.2.6-156:2010, which takes into account the effect of small cyclic loadings, based on the deformation model, has been developed. On the basis of the comparative calculations satisfactory convergence of the experimental and theoretical obtained data was found. Proposed method makes possible not only to find bearing capacity of these structures or to choose the required parameters of strengthened elements, but also to establish the stress-strained state of strengthened structure at any stage of its operation from the first loadings and to the stage of fracture.

Список використаної літератури

1. Кваша, В.Г. Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішнім наклеєним композитним армуванням, на основі деформаційної моделі [Текст] / В.Г. Кваша // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2008. – Вип. 16. Ч.1. – С.363–371.
2. Мурин, А.Я. Міцність, жорсткість і тріщиностійкість залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 [Текст] / А.Я. Мурин. – Львів, 2011. – 163с.
3. Kaminska, M.E. Badania zelbetowych belek z tasmami CFRP przyklejonymi na ich powierzchniach / M.E. Kaminska, R. Kotynia // XVI konf. nauk. «Beton i prefabrykacja». – T2, – Jadwisin., – 1998. – S.479 – 484.
4. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 166 с.
6. Борисюк О.П. Міцність, жорсткість та тріщиностійкість нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами [Текст] / О.П. Борисюк, О.П. Конончук // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2012. – Випуск 2 (32). – Т.2. – С.3–10.
7. Конончук, О.П. Вплив малоциклових навантажень на несучу здатність згинальних залізобетонних елементів до та після їх підсилення [Текст] / О.П. Конончук // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – 2013. – Вип. 68. – С.168–172.
8. Бабич, С.М. Розрахунок несучої здатності поперечних перерізів згинальних залізобетонних елементів [Текст] / С.М. Бабич, В.Є. Бабич, В.В. Савицький // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2012. – Вип. 23. – С.94–103.
9. Бамбура, А.М. До аналітичного описання діаграми механічного стану бетону при одноразовому короткочасному деформуванні [Текст] / А.М. Бамбура // Будівельні конструкції: збірник наукових праць. – 2002. – Вип. 57. – С.31–34.

10. Борисюк, О.П. Розрахунок несучої здатності нормальних перерізів залізобетонних згинальних елементів, підсилених зовнішньою композитною арматурою за дії малоциклових навантажень [Текст] / О.П. Борисюк, О.П. Конончук // Рекомендації. – 2012. – 38 с.
11. Конончук, О.П. Розрахунок несучої здатності нормальних перерізів підсилених згинальних залізобетонних елементів при дії на них малоциклових навантажень [Текст] / О.П. Конончук // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 46. – С.185–192.

Отримано 03.04.2014