

УДК 624.012:539.43

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ
ДВОПРОЛЕТНИХ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗА ДІЇ
МАЛОЦИКЛОВИХ ПОВТОРНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

Канд. техн. наук Г. Х. Масюк, асп. О. В. Ющук,
студенти О. А. Шайдюк, С. І. Дзюбак (НУВГП)

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ДВОХПРОЛЕТНЫХ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ
ДЕЙСТВИИ МАЛОЦИКЛОВЫХ ПОВТОРНЫХ И ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ
НАГРУЗОК**

Канд. техн. наук Г. Х. Масюк, асп. А. В. Ющук,
студенты А. А. Шайдюк, С. И. Дзюбак (НУВХП)

**EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE BEARING CAPACITY OF TWO-PASS'S
NON-SEPARABLE REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER THE INFLUENCE OF
LOW-CYCLIC REPETITIVE AND SIGN-LOADED LOADINGS**

Candidate of technical sciences H. Kh. Masyuk, post-graduate students O.V. Yuschuk,
students O. A. Shaidyuk, S. I. Dzyubak

DOI: 10.18664/1994-7852.175.2018.127172

Наведено результати випробувань двопробльотних нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень, у яких виявлено особливості зміни опорних реакцій, згинальних моментів і деформацій бетону та арматури. Установлено, що процес зміни вказаних параметрів стабілізується на 5-6 циклах навантаження. Результати випробувань показали, що малоциклові повторні і знакозмінні навантаження впливають на несучу здатність, зменшуючи її порівняно з однозначним статичним навантаженням.

Ключові слова: залізобетонні двопробльотні балки, малоциклові повторні і знакозмінні навантаження, несуча здатність.

Приведены результаты испытаний двухпролетных неразрезных железобетонных балок при действии малоцикловых повторных и знакопеременных нагрузок, в которых выявлены особенности изменения опорных реакций, изгибающих моментов и деформаций бетона и арматуры. Установлено, что процесс изменения указанных параметров стабилизируется на 5-6 циклах нагрузок. Результаты испытаний показали, что малоцикловые повторные и знакопеременные нагрузки влияют на несущую способность, уменьшая ее по сравнению с однозначной статической нагрузкой.

Ключевые слова: железобетонные двухпролетные балки, малоцикловые повторные и знакопеременные нагрузки, несущая способность.

The results of tests of the bearing capacity of two-pass's non-separable reinforced concrete beams under the influence of low-cyclic repetitive and sign-loaded loadings, in which features of change of reference reactions, bending moments and deformations of concrete and reinforcement are revealed. It is established that the process of changing these parameters is stabilized by 5-6 load cycles. The changes in the voltage of the deformed state of normal and inclined sections of

experimental samples by the values of the indicated loads are also revealed and analyzed. Test results showed that there has been repeated cyclic alternating loadings and impact on the carrying capacity, reducing its straightforward compared to static loadings. The reasons of the bearing capacity's reducing are determined by the concrete tension of both extended and compressed zones, as well as the formation of microcracks in concrete even at high loadings' levels. Taking into account the specified features of changing the stress-strain state for the above-mentioned loadings will increase the reliability of reinforced concrete non-separable constructions during their operation.

Key words: reinforced concrete double-conductor beams, low-cycle repeated and sign-exchange loadings, bearing capacity.

Вступ. Залізобетонні нерозрізні балки досить широко використовуються при зведенні різних будівель і споруд, а саме в монолітних перекриттях багатоповерхових промислових і громадських будівель, у монолітних перекриттях підземних резервуарів, у перекриттях паркінгів для автомобілів і т. п. Нерозрізні балки перекриттів вище вказаних будівель і споруд зазнають у процесі експлуатації малоциклових повторних і знакозмінних навантажень, але робота їх вивчена недостатньо. Слід зазначити, що існуюча методика розрахунку нерозрізних балок не враховує дії вище вказаних навантажень і їх впливу на несучу здатність. Виходячи з цього, питання експериментальних досліджень роботи нерозрізних конструкцій за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досить значна кількість науковців досліджували роботу нерозрізних залізобетонних балок при однозначних статичних навантаженнях. Це висвітлено в роботах [8-17]. Дослідження роботи нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних навантажень відображено в роботах [1, 6]. У вище вказаних працях досліджувались різні параметри роботи нерозрізних залізобетонних балок, а саме міцність нормальних і похилих перерізів; деформативність і тріщиностійкість; прогини і ширина розкриття тріщин та ін.

Дослідження ж роботи нерозрізних залізобетонних навантажень взагалі відсутні.

Мета і задачі досліджень. Завданням статті є визначення на основі експериментальних досліджень несучої здатності нерозрізних двопрольотних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень.

Основна частина тексту. У діючих нормативних документах [18, 19] розрахунок статично невизначених залізобетонних конструкцій не враховує передісторію і характер навантажень. Але ж у реальних умовах ряд статично невизначених конструкцій, зокрема нерозрізні балки, зазнають малоциклових повторних і знакозмінних навантажень різної інтенсивності.

У лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд було проведено експериментальні дослідження роботи і напружено-деформованого стану двопрольотних нерозрізних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень. Балки виготовлялись із важкого бетону класу C25/30 і армувались двома зварними каркасами. Робоча арматура – два стрижні діаметром 12 мм класу A400, поперечна арматура класу A240 діаметром 6 мм. Армуння балок подвійне симетричне. Крок поперечних стрижнів на припорних ділянках 100 мм, а в прольоті – 200 мм. Нерозрізні двопрольотні балки з однаковими прольотами по 1500 мм і розмірами поперечного перерізу 100x160 мм. Випробування балок здійснювалось за допомогою спеціальної силової траверси з використанням гідравлічного преса ПГ-200. Балки завантажувались чотирма зосередженими

силами, по дві сили в кожному прольоті, які прикладалися за схемою, показаною на рис. 1. Конструктивна схема випробування балок наведена на рис. 2.

На рис. 1 також показано розташування вимірювальних приладів, які використовувались при випробуванні балок.

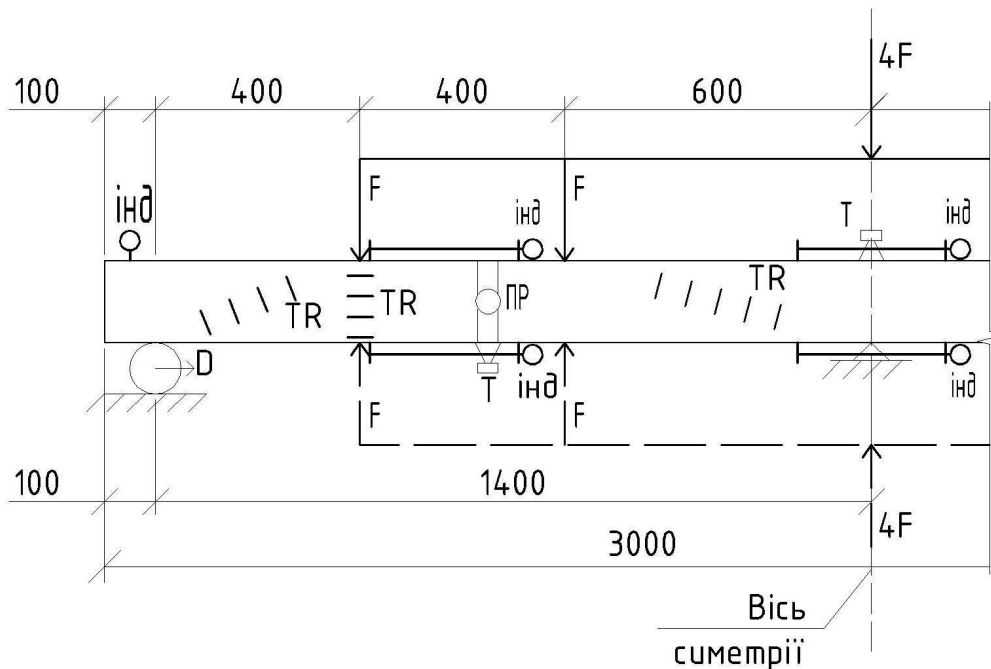


Рис. 1. Схема прикладення сил і розташування вимірювальних приладів

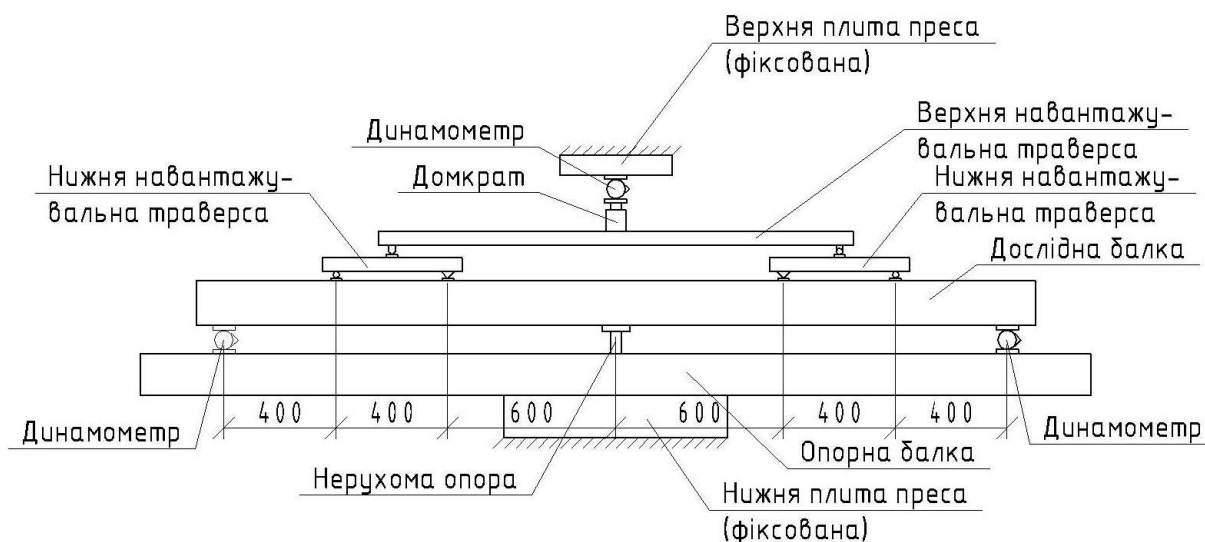


Рис. 2. Схема випробування двопрольотних балок

Випробування балок здійснювалось одноразовим статичним навантаженням до руйнування для визначення рівнів наван-

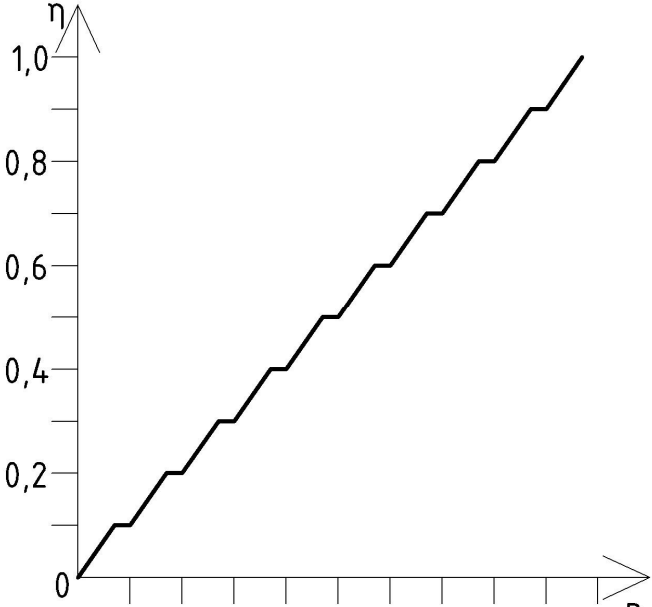
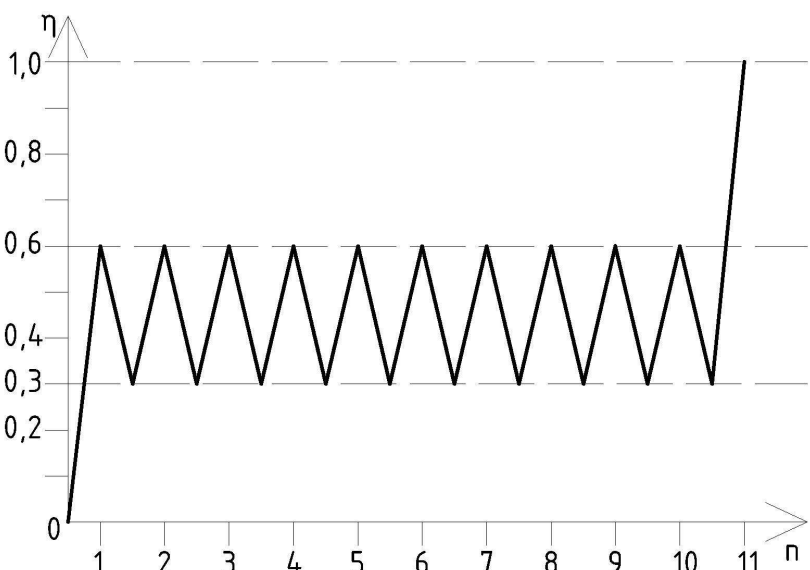
тажень, а також малоциклових повторних навантажень різних рівнів і малоциклових знакозмінних навантажень. Кількість

циклів за дії малоциклових навантажень було прийнято десять і після десяти циклів балки доводились до руйнування. Схеми

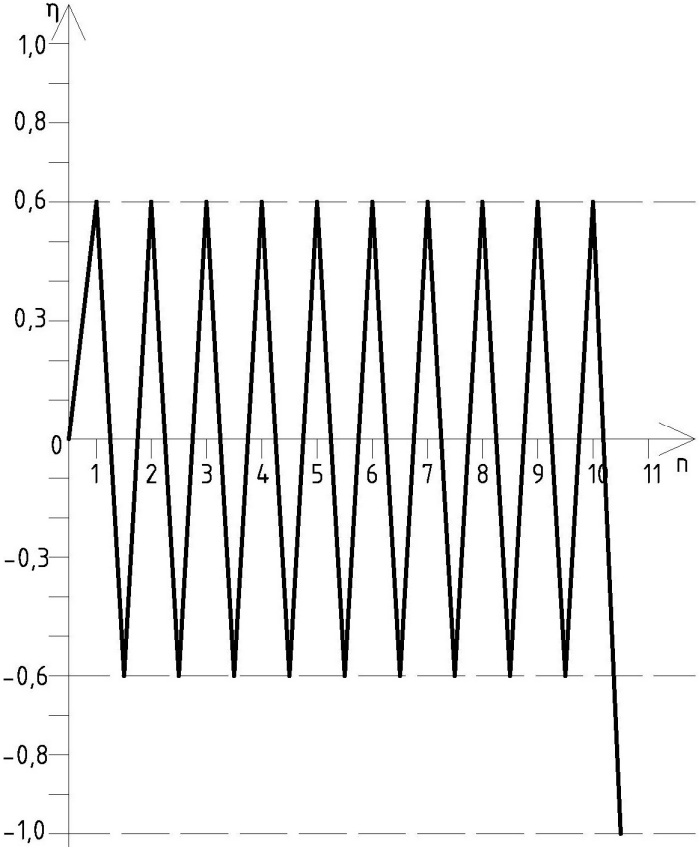
режимів навантажень балок наведені в табл. 1. У кожному режимі навантажень було випробувано по три зразки-близнюки.

Таблиця 1

Схема режимів навантаження балок

Шифр балок	Режим навантаження	Вид навантаження
1	2	3
БОС-1 БОС-2 БОС-3		Одноразове короткочасне, ступінчасте до руйнування
БМЦП-1 БМЦП-2 БМЦП-3		Короткочасне, малоциклове повторне навантаження, рівень 0,6 з руйнуванням після десяти циклів

Продовження табл. 1

1	2	3
БМЦЗН-1 БМЦЗН-2 БМЦЗН-3		Короткочасне, малоциклове знакозмінне навантаження, рівень 0,6 з руйнуванням після десятого циклу

У процесі випробування балок вимірювались деформації бетону і арматури, прогини балок і можливе переміщення крайніх опор. Деформації бетону вимірювались індикаторами годинникового типу з ціною поділок 0,001 мм на базі 200 мм і тензорезисторами з базою 50 мм, наклеєних ланцюжками в прольотах, де виникали максимальні додатні згинальні моменти під першою силою від крайньої опори і максимальні від'ємні моменти під центральною опорою, а також у похилих перерізах від опори до місць прикладення сил на балку. Деформації арматури вимірювались за допомогою тензометрів Гугенберґера на базі 20 мм з ціною поділок 0,001 мм і тензорезисторів на базі 20 мм, які наклеювались на арматурні стрижні. Прогини балок вимірювали прогиномірами

типу 6 ПАО ЛИСИ з ціною поділок 0,01 мм. За індикаторами годинникового типу визначали переміщення крайніх опор. За появою тріщин у процесі випробування балок спостерігали візуально та за допомогою мікроскопа МПБ-3 з ціною поділки 0,002 мм. На кожному напівциклі завантажень на гранях балок відмічали висоту розвитку нормальних h_w і довжину похилих тріщин l_w . Використання даної методики проведення експериментальних досліджень роботи балок з розробленим устаткуванням і використанням сучасних вимірювальних приладів дозволило дослідити за дії вище зазначених навантажень реальний напружено-деформований стан нормальних і похилих перерізів балок і його зміну в процесі випробування.

Механізм деформування, тріщиноутворення та руйнування нерозрізних балок

суттєво відрізняється від роботи однопрольотних залізобетонних згинальних елементів навіть при однозначному статичному навантаженні (при першому напівциклі). Зі зростанням навантаження спочатку з'являються нормальні тріщини над середньою опорою в зоні дії максимального моменту, потім у прольотах між зосередженими силами і в прольотах зрізу розтягнутої зони. Похилі тріщини з'явилися при навантаженні, яке в середньому у 2,5 разу перевищує навантаження, при якому утворюються нормальні тріщини. Все це фіксувалось при завантаженні балок на 1-му напівциклі при малоциклових повторних і знакозмінних навантаженнях. При подальших циклічних завантаженнях з кожним циклом напружено-деформований стан балок змінювався. Це прослідковувалось зі зростанням деформацій і тріщиноутворень в експериментальних зразках. Якщо порівнювати напружено-деформований стан балок за дії малоциклових повторних і малоциклових знакозмінних навантажень,

то тут також є суттєва відмінність. Утворення і розвиток тріщин, які перетинали практично весь переріз, було більш характерним за своєю появою значеннями зі збільшенням циклів. Після зміни знака зусиль мікротріщини утворювались інтенсивніше, з'єднувались між собою і утворювали магістральні тріщини. Після утворення умовного пластичного шарніра під середньою опорою (напруження в робочій арматурі досягли межі текучості) має місце перерозподіл внутрішніх зусиль з різким збільшенням згинальних моментів у прольотах з отриманням максимально можливого значення згинального моменту над середньою опорою. При доведенні балок до руйнування воно відбувалось внаслідок досягнення межі текучості прольотної арматури.

Порівнюючи несучу здатність випробовуваних балок під дією вище зазначених навантажень, слід зазначити, що є суттєва різниця. Значення несучої здатності експериментальних зразків під дією різних видів навантажень наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Середні значення випробовуваних балок

Шифр балок	Величина сили, при якій відбувалось руйнування, F, кН	Значення згинальних моментів при руйнуванні		Режим завантаження
		М прольотні, кНм	М на середній опорі, кНм	
1. БОС	32,5	10,4	14,4	Однозначне статичне до руйнування
2. БМЦП	30,0	9,64	13,3	Короткочасне малоциклове повторне, після десяти циклів до руйнування
3. БМЦЗН	27,5	8,84	12,2	Короткочасне малоциклове знакозмінне, руйнування після 10-ти циклів

Висновки. На основі проведених експериментальних досліджень виявлено, що малоциклові повторні навантаження зменшують несучу здатність на 8 %, а при

малоциклових знакозмінних – на 16 %, що необхідно враховувати при розрахунках згинальних елементів, які зазнають таких навантажень.

Список використаних джерел

1. Масюк, Г. Х. Експериментальні дослідження перерозподілу зусиль в двох пролітних нерозрізних залізобетонних балках при повторних навантаженнях [Текст] / Г. Х. Масюк, В. Є. Бабич // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. – Рівне : УДУВГП, 2002. – Вип. 4(17). – С. 165-173.
2. Бабич, В. Є. Напружено-деформований стан нерозрізних залізобетонних балок з урахуванням повної діаграми деформування бетону [Текст] / В. Є. Бабич // Наук. вісник буд-ва. – Харків : ХТУБА, 1999. – Вип. 7. – С. 101-107.
3. Масюк, Г. Х. Розрахунок міцності нормальних перерізів нерозрізних залізобетонних балок при повторних навантаженнях на основі деформаційної моделі [Текст] / Г. Х. Масюк, В. Є. Бабич // Будівельні конструкції : міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць. – К. : НДІБК, 2004. – С. 659-664.
4. Бабич, В. Є. Особливості роботи нерозрізних залізобетонних балок, армованих сталлю без площадки текучості, з урахуванням повторних навантажень [Текст] / В. Є. Бабич // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : УДУВГП, 2002. – Вип. 8. – С. 47-55.
5. Савицький, В. В. Експериментальні дослідження прогинів та ширин розкриття тріщин у збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балках при дії повторних навантажень [Текст] / В. В. Савицький // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : УДУВГП, 2003. – Вип. 9. – С. 303-310.
6. Бабич, Є. М. Удосконалення розрахунку нерозрізних залізобетонних балок з використанням деформаційної моделі нормальних перерізів [Текст] / Є. М. Бабич, В. Є. Бабич // Таврійський наук. зб. – Херсон, 1999. – Вип. 11, ч. 3. – С. 18-24.
7. Бабич, Є. М. Міцність і деформативність важкого бетону при малоцикловому стисненні [Текст] / Є. М. Бабич, Н. І. Ільчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : УДУВГП, 2003. – Вип. 9. – С. 166-123.
8. Дорофеев, В. С. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, Е. Н. Крантовская. – Одесса : Эвен, 2010. – 175 с.
9. Дорофеев, В. С. Розрахунок міцності нерозрізних балок з використанням деформативної моделі [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, О. М. Крантовська // Механіка руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. – Львів : Каменярь, 2007. – Вип. 7. – С. 223-237.
10. Дорофеев, В. С. Трещиностійкість нерозрізних балок [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, О. М. Крантовська // Теорія і практика будівництва: Вісник нац. унів-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2007. – № 600. – С. 92-100.
11. Прочность наклонных сечений неразрезных железобетонных балок [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, Е. Н. Крантовская [и др.] // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2006. – Вип. 24. – С. 85-94.
12. Дорофеев, В. С. Основные параметры несущей способности наклонных сечений неразрезных железобетонных балок в местах смены знака и величины изгибающего момента [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, Е. Н. Крантовская // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2007. – Вип. 15. – С. 150-160.

13. Особенности напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных балок и расчета прочности наклонных сечений [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, Е. Н. Крантовская, Ф. Р. Карпюк // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво). – К. : НДІБК, 2010. – Вип. 73. – С. 151-163.
14. Деформативность материалов неразрезных железобетонных [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, Е. Н. Крантовская, А. М. Бреднёв // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2010. – Вип. 38. – С. 246-254.
15. Дорофеев, В. С. Расчет прогибов неразрезных железобетонных балок [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, Е. Н. Крантовская // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2010. – Вип. 20. – С. 193-204.
16. Розрахунок міцності похилих перерізів нерозрізних залізобетонних балок [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, О. М. Крантовська, М. М. Петров // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2009. – Вип. 19. – С. 138-139.
17. Дорофеев, В. С. Напряженное состояние продольной арматуры и перераспределение изгибающих моментов в неразрезных железобетонных балках [Текст] / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, Е. Н. Крантовская // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2011. – Вип. 21. – С. 2015-223.
18. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 97 с.
19. ДСТУ Б.В.2.6-156. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції із важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

Масюк Григорій Харитонович, кандидат технічних наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та інженерних споруд. Тел.: (068) 002-47-20.

Ющук Олександр Віталійович, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та інженерних споруд. Тел.: (098) 703-14-20.

Шайдюк Олександр Андрійович, магістр кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та інженерних споруд. Тел.: (096) 722-21-23.

Дзюбак Сергій Іванович, магістр кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та інженерних споруд. Тел.: (097) 166-26-74.

Масюк Григорий Харитонович, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного, гражданского строительства и инженерных сооружений Национального университета водного хозяйства и инженерных сооружений. Тел.: (068) 002-47-20.

Ющук Александр Витальевич, аспирант кафедры промышленного, гражданского строительства и инженерных сооружений Национального университета водного хозяйства и инженерных сооружений. Тел.: (098) 703-14-20.

Шайдюк Александр Андреевич, магистр кафедры промышленного, гражданского строительства и инженерных сооружений Национального университета водного хозяйства и инженерных сооружений. Тел.: (096) 722-21-23.

Дзюбак Сергей Иванович, магистр кафедры промышленного, гражданского строительства и инженерных сооружений Национального университета водного хозяйства и инженерных сооружений. Тел.: (097) 166-26-74.

Hryhoriy Kharytonovych Masyuk, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, National University of Water and Environmental Engineering. Tel.: (068) 002-47-20.

Olexandr Vitaliyovych Yushchuk, postgraduate student of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, National University of Water and Environmental Engineering. Tel.: (098) 703-14-20.

Olexandr Andriyovych Shaidyuk, master of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, National University of Water and Environmental Engineering. Tel.: (096) 722-21-23.

Sergiy Ivanovych Dzyubak, master of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, National University of Water and Environmental Engineering. Tel.: (097) 166-26-74.

Статтю прийнято 19.02.2018 р.