

УДК 624.12:539.43

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ ПОВТОРНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ

ANALYSIS OF RESEARCH WORK STATICALLY UNSPECIFIED REINFORCED CONCRETE BEAMS IN THE ACTION OF LOW-CYCLE REPEATS AND CHANGING LOADS

Масюк Г.Х., к.т.н., проф., ORCID: 0000-0001-5207-3111, **Ющук О.В.**, аспірант, ORCID: 0000-0001-6266-3465, **Масюк В.Г.**, архітектор, ORCID: 0000-0002-1450-3771, **Лапчук В.С.**, студент, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна)

Masjuk G.H. Ph.D, Prof., ORCID: 0000-0001-5207-3111, **Yushchuk O.V.**, post-graduate student, ORCID: 0000-0001-6266-3465, **Masjuk W.G.**, architect, ORCID: 0000-0002-1450-3771, **Lapchuk V.S.**, student, (National university of water management and nature resources use, Rivne, Ukraine)

Стаття присвячена дослідженням роботи двохпролітних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень. На основі даних результатів експериментальних досліджень встановлено вплив малоциклових повторних і знакозмінних навантажень на зміну напружено-деформованого стану нерозрізних залізобетонних балок.

The article is devoted to the experimental studies of the stress and strain state of the two-pass reinforced concrete beams under the influence of low-cyclic repeated and alternating loads. Based on the results of experimental studies, the effect of low-cyclic repeated and alternating loads on the change of the stress and strain state of continuous reinforced concrete beams has been established. In the course of testing the sample, it was found that the stress and strain state of the beams under the action of the above mentioned loads is significantly different from the stress and strain state of the beams under the action of nonalternating static loads, namely, the decrease of the bearing capacity, the increase of the deflections and the width of the cracking. All this is due to the change in the physical and mechanical properties of concrete in response to the above-mentioned loads on experimental

Ключові слова: залізобетонні двохпролітні балки, малоциклові повторні і знакозмінні навантаження, напружено-деформований стан.

Reinforced concrete two-pass beams, low-cyclic repetitive and alternating loads, stress and strain state.

Вступ. За останній період в будівельній галузі використання залізобетонних нерозрізних балок при зведенні будівель і споруд досить велике. Такі конструкції використовуються в монолітних перекриттях багатоповерхових громадських і промислових будівель, в перекриттях підземних резервуарів, паркінгів для автомобілів і т.п. В процесі своєї експлуатації нерозрізні балки перекриттів вище вказаних будівель випробовують малоциклові повторні і знакозмінні навантаження різних рівнів, але їх робота і напружено-деформований стан, його зміна вивчені недостатньо. Необхідно відзначити, що існуючі методики розрахунку нерозрізних балок, як у вітчизняних [1, 2] так і в зарубіжних [3, 4], не враховує дії вище зазначених навантажень і їх впливу на параметри напружено-деформованого стану.

Актуальність і постановка проблеми. Встановлення напружено-деформованого стану, який відповідає реальній роботі конструкцій, є одним із основних завдань для розробки теорії їх розрахунків. Малоциклові знакозмінні навантаження спричиняють особливі умови роботи залізобетонних конструкцій і обумовлюють зміни механічних та деформативних характеристик бетону, впливають на несучу здатність, тріщиностійкість та деформативність цих елементів.

Досить значна кількість науковців досліджували роботу нерозрізних залізобетонних балок при однозначних статичних навантаженнях. За останній період це висвітлено в роботах [5...12]. Що стосується експериментально-теоретичних досліджень роботи параметрів напружено-деформованого стану нерозрізних залізобетонних балок, то дані дослідження опубліковані в роботах [13...17]. Дослідження ж напружено-деформованого стану і роботи в цілому нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень, то вони, крім досліджень авторів, взагалі відсутні. Тому, враховуючи вище зазначене, дана проблема є актуальною

Постановка мети і задачі досліджень. На основі експериментальних досліджень проаналізувати вплив малоциклових повторних і знакозмінних навантажень на роботу і зміну параметрів напружено-деформованого стану нерозрізних залізобетонних балок в порівнянні з однозначним статичним навантаженням.

Методика досліджень. Поставлена мета була досягнута шляхом проведення експериментальних досліджень роботи і зміни напружено-деформованого стану двохпролітних нерозрізних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень. Залізобетонні балки виготовлялись із бетону класу C25/30 і армувались двома зварними каркасами. В якості робочої арматури використана арматура класу A400 діаметром 12 мм, поперечна арматура із класу A240, діаметром 6 мм. Армування балок подвійне симетричне – по два повздовжніх стержні знизу і зверху перерізу балки. Крок поперечних стержнів на при опорних ділянках 100мм, в прольотах – 200мм. Нерозрізні двохпролітні балки з однаковими прольотами

по 1500 мм і розмірами поперечного перерізу 100x160 мм, були випробувані за допомогою спеціальної силової траверси з використанням гідравлічного преса ПГ-200. Завантаження балок здійснювалось чотирма зосередженими силами, по дві сили в кожному прольоті, які прикладалися за схемою, показаною на рис. 1, де також показано розташування вимірювальних приладів.

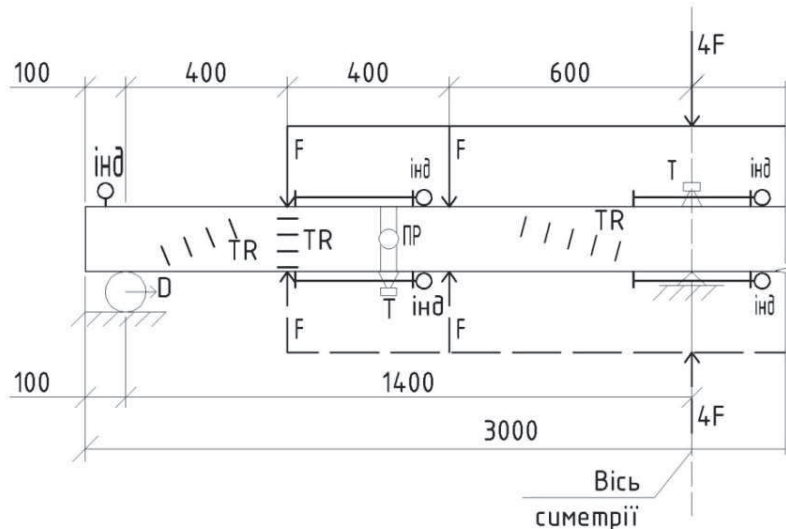


Рис. 1. Схема прикладання сил і розташування вимірювальних приладів.

Схема випробування балок в спеціальній силевій установці з використанням преса ПГ-200 показана на рис. 2.

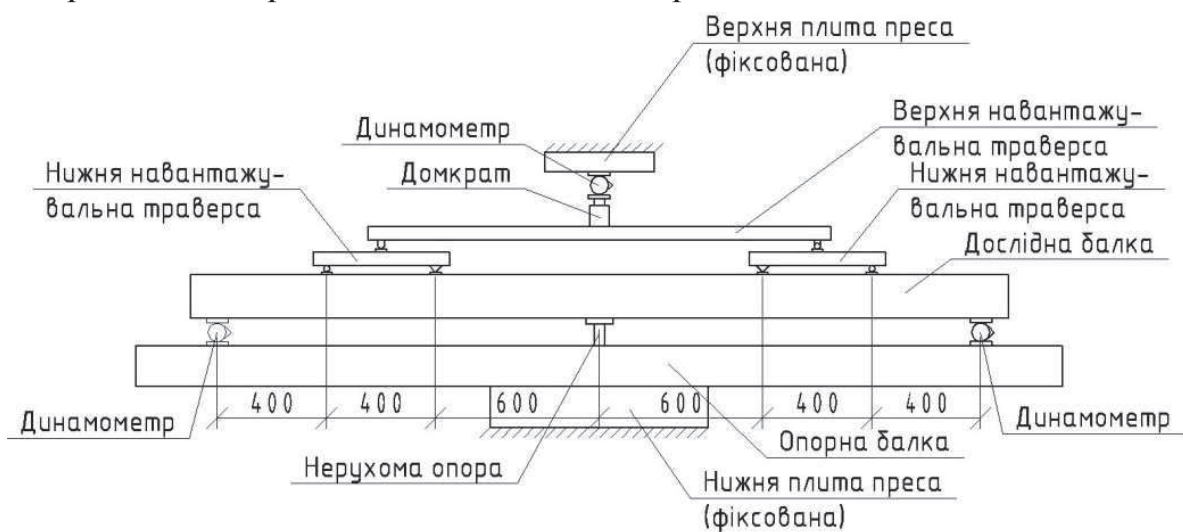
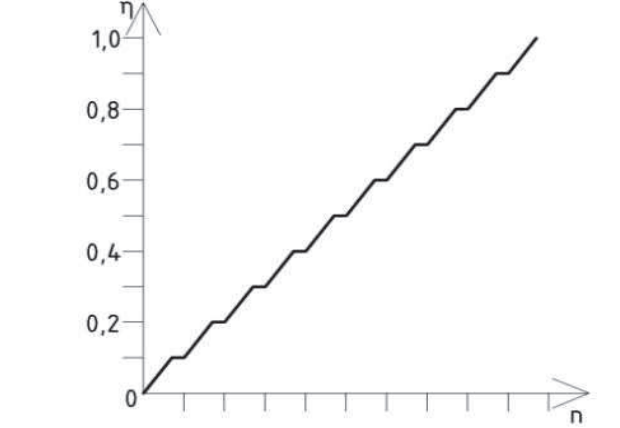
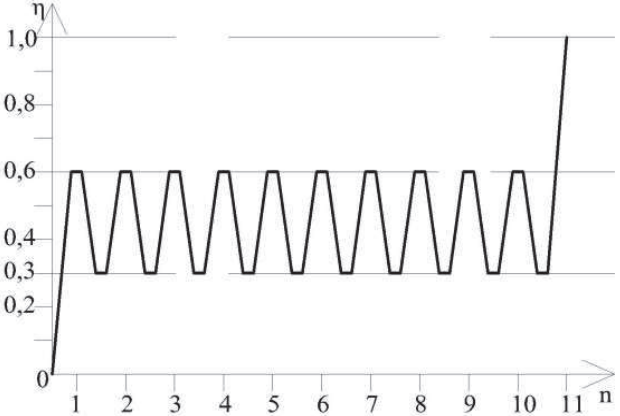
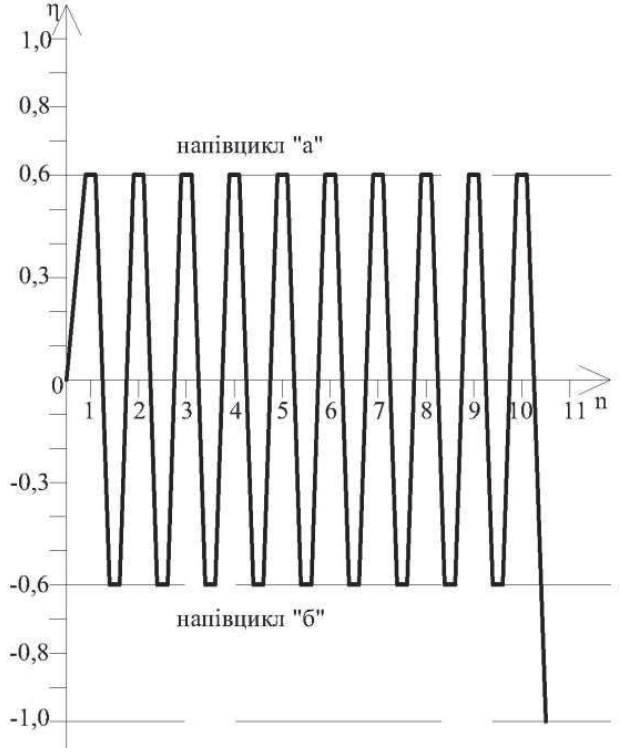


Рис. 2. Схема випробування двох пролітних балок

Випробування дослідних зразків здійснювалось за такими режимами завантажень: одноразовим статичним навантаженням до руйнування для визначення рівнів навантажень; малоцикловим повторним навантаженням з верхнім рівнем 0,6 і нижнім - 0,3; малоцикловим знакозмінним навантаженням з рівнем 0,6. Кількість циклів малоциклових навантажень прийнято десять. Після десяти циклів малоциклових навантажень балки доводились до руйнування. Схеми режимів навантажень експериментальних зразків наведені в таблиці 1.

Схеми режимів навантаження балок

Шифр балок	Режими навантажень	Вид навантаження
БОС-1 БОС-2 БОС-3	 <p>The graph shows a single, stepped increase in load η over time n. The y-axis represents η from 0 to 1.0, and the x-axis represents n from 0 to 11. The load starts at 0 and increases in a series of steps, reaching 1.0 at $n=11$.</p>	Одноразове короткочасне, ступінчасте до руйнування
БМЦП-1 БМЦП-2 БМЦП-3	 <p>The graph shows a short-term, low-cycle, repetitive loading pattern. The y-axis represents η from 0 to 1.0, and the x-axis represents n from 0 to 11. The load starts at 0, rises to a peak of 0.6, and then drops to a minimum of 0.3. This cycle repeats ten times, with the load reaching 1.0 at $n=11$.</p>	Короткочасне, малоциклове повторне навантаження рівень (0,3-0,6) з руйнуванням після десяти циклів
БМЦЗН-1 БМЦЗН-2 БМЦЗН-3	 <p>The graph shows a short-term, low-cycle, alternating loading pattern. The y-axis represents η from -1.0 to 1.0, and the x-axis represents n from 0 to 11. The load starts at 0, rises to a peak of 0.6 (labeled "напівцикл 'а'"), and then drops to a minimum of -0.6 (labeled "напівцикл 'б'"). This cycle repeats ten times, with the load reaching 1.0 at $n=11$.</p>	Короткочасне, малоциклове знакозмінне навантаження (рівень 0,6) з руйнуванням після десятого циклу

В 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 в похилих перерізах від опори до місць прикладення сил на балку. Деформації арматури вимірювались за допомогою тензометрів Гугенбергера на базі 20 мм з ціною поділок 0,001 мм та тензорезисторів на базі 20 мм, які наклеювались на арматурні стержні. Прогини балок вимірювали прогиномірами типу 6 ПАО ЛИСИ з ціною поділок 0,01мм. За індикаторами годинникового типу визначали переміщення крайніх опор. За появою тріщин в процесі випробування балок спостерігали візуально та за допомогою мікроскопу МПБ-3 з ціною поділки 0,002мм. На кожному напівциклі завантажень на гранях балок відмічали висоту розвитку нормальних h_w та 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 реальну роботу і зміну напружено-деформованого стану нормальних і похилих перерізів балок в процесі випробування.

Механізм деформування, тріщиноутворення та руйнування нерозрізних балок суттєво відрізняється від роботи однопролітних залізобетонних згинальних елементів навіть при однозначному статичному навантаженні (при першому напівциклі). З ростом навантаження спочатку з'являються нормальні тріщини над середньою опорою у зоні дії максимального моменту, потім в прольотах між зосередженими силами і в прольотах зрізу розтягнутої зони. Похилі тріщини з'явилися при навантаженні, яке в середньому у 2,5 рази 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 з ростом деформацій і тріщиноутворень в експериментальних зразках. Якщо порівнювати роботу і напружено-деформований стан балок за дії малоциклових повторних і малоциклових знакозмінних навантаженнях, 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 переміни знака зусиль мікротріщини утворювались більш інтенсивніше, з'єднувались між собою і утворювали магістральні тріщини. Після утворення умовного пластичного шарніру під середньою опорою (напруження в робочій арматурі досягли межі текучості) має місце перерозподіл внутрішніх зусиль з різким збільшенням згинальних моментів в

прольотах з утриманням максимально можливого значення згинального моменту над середньою опорою. При доведенні балок до руйнування, яке відбулося внаслідок досягнення межі текучості прольотної арматури і аналізу даних результатів експериментальних досліджень, слід зробити наступні висновки.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження роботи двохпролітних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень дають можливість зазначити, що вище вказані навантаження суттєво впливають на напружено-деформований стан і його зміну в процесі випробувань, порівняно з однозначним статичними навантаженнями. За дії малоциклових повторних навантажень несуча здатність балок після десяти циклів в середньому зменшилась на 8%, а за дії малоциклових знакозмінних після десяти циклів – на 16%. Відповідно прогини збільшились при малоциклових повторних навантаженнях за рівня $\eta=0,6$ – на 12%, а при малоциклових знакозмінних – на 40%. Ширина розкриття як нормальних так і похилих тріщин також збільшилась. За рівня навантажень $\eta=0,6$ при однозначному статичному навантаженні ширина нормальних тріщин складала $W_k=0,06$ мм, при малоцикловому повторному після десяти циклів – $W_k=0,14$ мм, а при малоцикловому знакозмінному після десяти циклів – $W_k=0,6$ мм.

Вказані зміни напружено-деформованого стану необхідно враховувати при розрахунках статично-невизначених згинальних елементів за дії вище зазначених навантажень шляхом введення відповідних коефіцієнтів умов роботи. Але для цього необхідно накопичити необхідні дані експериментальних досліджень роботи таких елементів, що спонукає до продовження в подальшому наукових досліджень за цією проблемою.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К. Мінрегіонбуд України, 2009. – 97с.

DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – К. Minrehionbud Ukrainy, 2009. – 97s.

2. ДСТУ Б.В.2.6-156. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції із важкого бетону. Правила проектування. – К. Мінрегіонбуд України, 2011. – 118с.

DSTU B.V.2.6-156. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii iz vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia. – К. Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 118s

3. European Committee for Standardization. pr EN 1992-1-1:2003. Eurocode 2, Design of Concrete Structures, Part 1: General Rules and Rules for Buildings, Brussels, Belgium, December, 2003.-230p.

4. Designer`s guide to EN 1992-1-1 and Eurocode 2: Design of concrete structures general rules and rules for buildings and structural fire design. A.W. Beeby and R.S. Narayanan. Tomas Telford Ltd, London: 2009 – 225p.

5. Дорофеев В.С. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская // - Одесса: Эвен, 2010 – 175с.

Dorofeev V.S. Prochnost, treshchynostoikost y deformatyvnost nerazreznykh zhelezobetonnykh balok / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, E.N. Krantovskaia // - Odessa: Even, 2010 – 175s.

6. Дорофеев В.С. Трещиностійкість нерозрізних балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, О.М. Крантовська // Теорія і практика будівництва: Вісник нац. унів-ту «Львівська політехніка», - №600 – Львів, 2007, - с. 92-100.

Dorofeev V.S. Trishchynostiikist nerozriznykh balok / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, O.M. Krantovska // Teoriia i praktyka budivnytstva: Visnyk nats. univ-tu «Lvivska politekhnikha», - №600 – Lviv, 2007, - s. 92-100.

7. Дорофеев В.С. Прочность наклонных сечений неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская и др. // Вісник ОДАБА. – вип. 24, - Одеса, 2006. – с.85-94.

Dorofeev V.S. Prochnost naklonnykh sechenyi nerazreznykh zhelezobetonnykh balok / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, E.N. Krantovskaia y dr. // Visnyk ODABA. – vyp. 24, - Odesa, 2006. – s.85-94.

8. Дорофеев В.С. Особенности напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных балок и расчета прочности наклонных сечений / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская, Ф.Р. Карпюк// Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. пр. (будівництво) – Вип. 73. – Київ, НДІБК, 2010, с.151-163.

Dorofeev V.S. Osobennosti napriazhenno-deformirovannoho sostoianiya nerazreznykh zhelezobetonnykh balok y rascheta prochnosti naklonnykh sechenyi / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, E.N. Krantovskaia, F.R. Karpiuk// Budivelni konstruktsii: mizhvidomchyi nauk.-tekhn. zb. nauk. pr. (budivnytstvo) – Vyp. 73. – Kyiv, NDIBK, 2010, s.151-163.

9. Дорофеев В.С. Деформативность материалов неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская, А.М. Бреднёв // Вісник ОДАБА. – Вип. 38. – Одеса, 2010. с. 246-254.

Dorofeev V.S. Deformatyvnost materyalov nerazreznykh zhelezobetonnykh balok / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, E.N. Krantovskaia, A.M. Brednëv // Visnyk ODABA. – Vyp. 38. – Odesa, 2010. s. 246-254.

10. Дорофеев В.С. Расчет прогибов неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Вип. 20. – Рівне, НУВГП, 2010. – с. 193-204.

Dorofeev V.S. Raschet prohybov nerazreznykh zhelezobetonnykh balok / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, E.N. Krantovskaia // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: zb. nauk. pr. – Vyp. 20. – Rivne, NUVHP, 2010. – s. 193-204.

11. Дорофеев В.С. Розрахунок міцності похилих перерізів нерозрізних залізобетонних балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, О. М. Крантовська, М.М. Петров // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Вип. 19. – Рівне: НУВГП, 2009. – с. 138-139.

Dorofeev V.S. Rozrakhunok mitsnosti pokhylykh pereriziv nerozriznykh zalizobetonnykh balok / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, O. M. Krantovska, M.M. Petrov // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli to sporudy: Zb. nauk. pr. – Vyp. 19. – Rivne: NUVHP, 2009. – s. 138-139.

12. Дороев В.С. Напряженное состояние продольной арматуры и перераспределение изгибающих моментов в неразрезных железобетонных балках / В.С. Дороев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Вип. 21. – Рівне, НУВГП, 2011, - с. 2015-223.

Doroveev V.S. Napriazhenne sostoianye prodolnoi armaturu u pereraspredelenye uzhgybaiushchykh momentov v nerazreznykh zhelezobetonnykh balkakh / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, E.N. Krantovskaia // Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: Zb. nauk. pr. – Vyp. 21. – Rivne, NUVHP, 2011, - s. 2015-223.

13. Масюк Г.Х. Экспериментальні дослідження перерозподілу зусиль в двох пролітних нерозрізних залізобетонних балках при повторних навантаженнях / Г.Х. Масюк, В.Є. Бабич // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2002, вип. 4(17). – с.165-173.

Masiuk H.Kh. Eksperimentalni doslidzhennia pererospodilu zusyl v dvokh prolitnykh nerozriznykh zalizobetonnykh balkakh pry povtornykh navantazhenniakh / H.Kh. Masiuk, V.Ie. Babych // Visnyk Ukrainського derzhavnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia: zb. nauk. pr. – Rivne, UDUVHP, 2002, vyp. 4(17). – s.165-173.

14. Бабич В.Є. Напружено-деформований стан нерозрізних залізобетонних балок з урахуванням повної діаграми деформування бетону / В.Є. Бабич // Наук. вісник буд-ва. – Харків: ХТУБА, 1999, вип. 7. – с.101-107.

Babych V.Ie. Napruzhenno-deformovanyi stan nerozriznykh zalizobetonnykh balok z urakhuvanniam povnoi diahramy deformuvannia betonu / V.Ie. Babych // Nauk. visnyk bud-va. – Kharkiv: KhTUBA, 1999, vyp. 7. – s.101-107

15. Масюк Г.Х. Розрахунок міцності нормальних перерізів нерозрізних залізобетонних балок при повторних навантаженнях на основі деформаційної моделі / Г.Х. Масюк, В.Є. Бабич // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук. - техн. зб. наук. пр. – Київ. НДІБК, 2004, с.659-664.

Masiuk H.Kh. Rozrakhunok mitsnosti normalnykh pereriziv nerozriznykh zalizobetonnykh balok pry povtornykh navantazhenniakh na osnovi deformatsiinoi modeli / H.Kh. Masiuk, V.Ie. Babych // Budivelni konstruktсии: mizhvidomchyi nauk. - tekhn. zb. nauk. pr. – Kyiv. NDIBK, 2004, s.659-664.

16. Бабич В.Є. Особливості роботи нерозрізних залізобетонних балок, армованих сталлю без площадки текучості, з урахуванням повторних навантажень / В.Є. Бабич // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2002, вип. 8. – с. 47-55.

Babych V.Ie. Osoblyvosti roboty nerozriznykh zalizobetonnykh balok, armovanykh stalliu bez ploshchadky tekuchosti, z urakhuvanniam povtornykh navantazhen / V.Ie. Babych // Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: Zb. nauk. pr. – Rivne, UDUVHP, 2002, vyp. 8. – s. 47-55.

17. Савицький В.В. Експериментальні дослідження прогинів та ширини розкриття тріщин у збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балках при дії повторних навантажень / В.В. Савицький // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2003, вип. 9 – с. 303-310.

Savytskyi V.V. Eksperymentalni doslidzhennia prohyniv ta shyryny rozkryttia trishchyn u zbirno-monolitnykh nerozriznykh zalizobetonnykh balkakh pry dii povtornykh navantazhen / V.V. Savytskyi // Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: Zb. nauk. pr. – Rivne, UDUVHP, 2003, vyp. 9 – s. 303-310.