

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЗА ДРУГОЮ ГРУПОЮ ГРАНИЧНИХ СТАНІВ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ

FEATURES OF CALCULATION FOR THE SECOND GROUP OF LIMIT STATES OF CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER THE ACTION OF LOW-CYCLE ALTERNATING LOADS

Масюк Г.Х., к.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0001-5207-3111 (Національний університет водного господарства та природокористування), **Ющук О.В., к.т.н., інженер,** ORCID ID: 0000-0001-6266-3465 (ТОВ Архідельта), **Сасовський Т.А., к.т.н., викладач,** ORCID ID: 0000-0002-7344-7968 (відокремлений структурний підрозділ «Рівненський фаховий коледж Національного університету водних біоресурсів та природокористування України»)

Masiuk G.H., Ph.D., prof., ORCID ID: 0000-0001-5207-3111 (National University of Water Management), **Yushchuk O.V., Ph.D., engineer,** ORCID ID: 0000-0001-6266-3465 (LLC Archidelta), **Sasovskiy T.A., Ph.D., lecturer,** ORCID ID: 0000-0002-7344-7968 (Separated structural subdivision «Rivne College National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine»)

Стаття присвячена методиці визначення ширини розкриття тріщин та прогинів в світлі нових норм з урахуванням зміни фізико-механічних характеристик бетону за дії мало циклових знакозмінних навантажень. Виявлено, що малоциклові знакозмінні навантаження суттєво впливають на зміну параметрів напружено-деформованого стану, а саме збільшують ширину розкриття тріщин і прогини балки. Теоретичні рішення задовільно збігаються з експериментальними даними при врахуванні відповідних коефіцієнтів умов роботи, які визначені статистичним шляхом. Це свідчить про те, що виконані експериментально-теоретичні дослідження і аналіз роботи нерозрізних залізобетонних балок підтверджують прийнятність вдосконалення методики, запропонованої нормами по визначенню прогинів і ширини розкриття тріщин з урахуванням зазначених навантажень.

The article is devoted to the method of determining the width of the opening of cracks and deflections in the light of new standards, taking into account changes in the physical and mechanical characteristics of concrete under the action of low-cycle alternating loads. It was found that low-cycle alternating loads significantly affect the change of the parameters of the stress-strain

state, namely, increase the width of the opening, cracks and deflections of the beam. Theoretical solutions satisfactorily coincide with the experimental data, taking into account the relevant coefficients of working conditions, which are determined statistically. This indicates that the performed experimental-theoretical studies and analysis of the work of continuous reinforced concrete beams confirm the acceptability of improving the method proposed by the rules for determining the deflections and the width of the cracks, taking into account these loads.

Ключові слова. Нерозрізні балки, малоциклові знакозмінні навантаження, ширина розкриття тріщин, прогини.

Unbreakable beams, low-cycle alternating loads, crack opening width, deflections.

Вступ. Надійність в роботі і довговічність залізобетонних конструкцій в процесі експлуатації залежить від багатьох факторів. Не завжди несуча здатність являється основним фактором, що забезпечує довговічність залізобетонних конструкцій. При складних режимах завантажень, досить часто такі фактори як тріщиностійкість, ширина розкриття, деформативність, навіть при експлуатації в нормальних умовах навколишнього середовища, є визначальними для забезпечення надійної роботи і довговічності згинальних залізобетонних конструкцій.

Актуальність і постановка проблеми. Встановлення напружено-деформованого стану, який відповідає реальній роботі конструкцій, а також параметрів тріщиностійкості і деформативності, є одним із основних завдань для розробки теорії їх розрахунків за обома групами граничних станів. Малоциклові знакозмінні навантаження спричиняють особливі умови роботи залізобетонних конструкцій і обумовлюють зміни механічних і деформативних характеристик бетону, впливаючи не тільки на несучу здатність, а і на тріщиностійкість і деформативність цих елементів. При тривалій дії знакозмінних циклічних навантажень збільшується повзучість бетону, що призводить до збільшення залишкових деформацій бетону. Такий режим навантажень викликає неперервну зміну напружено-деформованого стану конструкції і зміну межі витривалості бетону і арматури, тому що після кожного наступного пів циклу знакозмінних навантажень, конструкція буде з іншими фізико-механічними характеристиками матеріалів в порівнянні з першим навантаженням. В зв'язку з цим після кожного пів циклу завантажень необхідно одночасно оцінювати не тільки внутрішні зусилля (напруження) стану бетону і арматури, а їх деформований стан в складі конструкції.

Значна кількість науковців досліджували роботу нерозрізних залізобетонних балок при одноразових статичних навантаженнях, результати яких висвітлено в роботах [3...5]. Що стосується експериментально-теоретичних досліджень роботи параметрів напружено-деформованого стану

нерозрізних залізобетонних балок за дії повторних навантажень, то дані дослідження опубліковані в роботах [6...10]. Експериментально-теоретичні дослідження роботи нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень викладені в роботах авторів [11...16].

Діючі нормативні документи не в повній мірі відображають реальний характер роботи залізобетонних конструкцій з урахуванням реального деформування матеріалів, характер тріщиноутворення при повторних, а тим більше за дії малоциклових знакозмінних навантажень. Враховуючи вище зазначене, дана проблема є актуальною.

Постановка мети і задічі досліджень. В роботі поставлено за мету визначити напружено-деформований стан, тріщиностійкість і деформативність, зміну ширини розкриття тріщин і прогинів нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень в світлі діючих нормативних документів [1, 2].

Методика і результати досліджень. Для вирішення поставлених задач по визначенню напружено-деформованого стану, тріщиностійкості і деформативності нерозрізних залізобетонних балок були проведені експериментальні дослідження з випробуванням таких балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень.

Конструкція зразків і методика проведення експериментальних випробувань наведені в роботі [17].

Відомо, що утворення будь-яких тріщин в залізобетоні призводить до порушення його цілісності. Тому використання залежностей механіки твердого деформованого тіла для оцінки деформативності і тріщиностійкості викликає ряд труднощів. Для реального дослідження напружено-деформованого стану в зонах навколо тріщин і проаналізувати його вплив на жорсткість залізобетонних елементів поряд із залученням вихідних положень механіки руйнування, необхідно мати достовірні результати експериментальних досліджень і чітко знати класифікацію тріщин. В залізобетонних згинальних елементах в залежності від зовнішніх силових дій тріщини утворюються, як наведено в роботі [18], трьох типів (рис. 1):

- нормальні тріщини до повздовжньої осі елемента, які перетинають повздовжню і поперечну арматуру, а можуть бути між поперечними стержнями; утворюються на ділянках де $M \geq M_{wk}$, а $V < V_{wk}$;
- похилі до повздовжньої осі елемента, які перетинають повздовжню і поперечну арматуру і утворюються на ділянках, де $M < M_{wk}$, а $V \geq V_{wk}$;
- похилі до повздовжньої осі елемента, які перетинають тільки поперечну арматуру і утворюються на рівні проходження нейтральної лінії в перерізі, як правило, на при опорних ділянках, де $M < M_{wk}$, а $V \geq V_{wk}$.

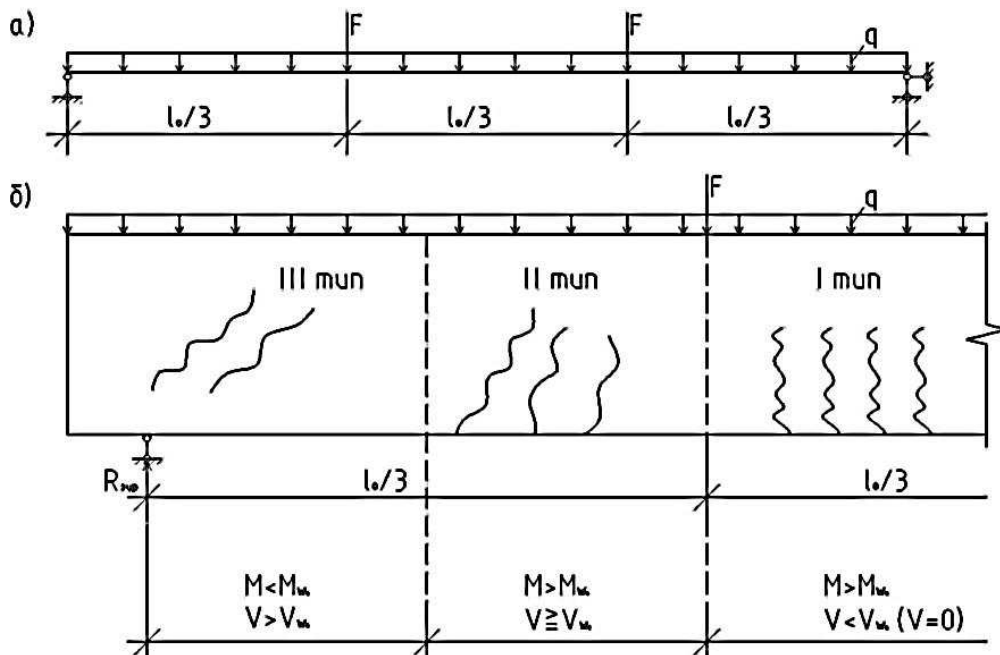


Рис. 1. а) розрахункова схема статично визначеної балки; б) класифікація і характер тріщин за граничними умовами їх утворення в одно пролітній балці за дії однозначного навантаження, де M і V - максимальні значення моменту і поперечної сили від зовнішнього навантаження на ділянці, що розглядається;

M_{wk} і V_{wk} - згинальний момент і поперечна сила, які відповідають вичерпанню опору поперечних перерізів, утворенню тріщин, відповідно нормальних зі сторони розтягнутої грані і похилих на рівні нейтральної вісі.

Що стосується характеру і класифікації типів тріщин в нерозрізних балках, то вони схожі. Але за дії малоциклових знакозмінних навантажень картина тріщиноутворення суттєво відрізняється. Після одного циклу завантаження балок до рівня $\eta = 0,6$, нормальні тріщини розділяють балку на блоки, а похилі тріщини перетинають одна одну навхрест. По-скільки в нерозрізних балках по всій їх довжині виникають і згинальні моменти і поперечні сили від дії зовнішнього навантаження. Для довохпролітної балки найбільш напруженими є перерізи на середній опорі і поряд з нею, де і згинаючий момент і поперечна сила від зовнішнього навантаження найбільші при будь-якому рівні навантаження.

При проведенні експериментальних досліджень дослідних зразків на початку навантаження в напівциклах «а» і «б» першого циклу практично у всіх балках з'явилися нормальні тріщини типу I над середньою опорою зверху балки і під першою від крайньої опори зосередженою силою. При збільшенні навантаження з'являлися нові тріщини типу II, які починалися розвиватись із розтягнутих зон перерізів балки і були перпендикулярні до повздовжньої розтягнутої арматури, а потім нахилилися в бік зосереджених сил. Це пояснюється зміною співвідношення M/V .

Також слід зазначити, що утворення тріщин нормальних і похилих у дослідних балках відбувалося при різних значеннях навантажень. Нормальні

тріщини в балках у напівциклах «а» і «б» утворювались в розтягнутих зонах при навантаженні $F = (0,28...0,35)F_u$, а похилі - $F = (0,4...0,45)F_u$.

Виконавши аналіз порівняння експериментальних і теоретичних даних значень ширини розкриття тріщин і прогинів за діючими нормами були розбіжності. По-скільки в процесі дії малоциклових знакозмінних навантажень перерізи балки перетинаються наскрізними тріщинами, в зв'язку з чим їх жорсткість суттєво зменшується за рахунок порушення цілісності їх, що тим самим збільшує ширину розкриття тріщин і прогини. При визначенні цих величин норми рекомендують визначати за залежностями в які входять параметри характеристик бетону ε_{ctm} і E_{ck} .

На основі аналізу експериментально-теоретичних досліджень рекомендується для нерозрізних залізобетонних конструкцій балкового типу, що зазнають дії малоциклових знакозмінних навантажень визначати ширину розкриття тріщин і прогини за рекомендаціями діючих будівельних норм, вводячи певні коефіцієнти умов роботи до відповідних параметрів, а саме $\gamma_{\eta,n}^E$ до ε_{ctm} і $\gamma_{\eta,n}^E$ до E_{ck} . Дані коефіцієнти умов роботи визначені статистичною обробкою експериментальних даних і мають такий вигляд:

$$\gamma_{\eta,n}^E = 2,6(1 - \eta_t)^{0,4} - 1,6(1 - \eta_c); \quad (1)$$

$$\gamma_{\eta,n}^E = 2,5(1 - \eta_t)^{0,5} - 1,5(1 - \eta_c). \quad (2)$$

Висновки. Проведені експериментально-теоретичні дослідження по визначенню ширини розкриття тріщин за умовою $W_k = S_r(\varepsilon_{sm} - \gamma_{\eta,n}^E \varepsilon_{ctm})$

(3) і прогинів $f = \int_0^l \left(\frac{\overline{MM}_{Ek}}{\gamma_{\eta,n}^E E_{ck} I_{red}} \right) dx$ (4) дають задовільну збіжність. Тому при

визначенні цих параметрів W_k і f для нерозрізних залізобетонних конструкцій, що зазнають дії малоциклових знакозмінних навантажень визначати слід за умовами (3) і (4).

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинні від 2011-06-01]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 97с. (Державні буд. норми України).

Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia: DBN V.2.6-98:2009. – [Chynni vid 2011-06-01]. – Kyiv: DP «Ukrarkhbuildinform», 2011. – 97s. (Derzhavni bud. normy Ukrainy).

2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. – [Чинний від 2011-06-01]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 118с. – (Державний стандарт України).

Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkohto betonu. Pravyly proektuvannia: DSTU B.V.2.6-156:2010. – [Chynnyi vid 2011-06-01]. – Kyiv: DP «Ukrarkhbudinform», 2011. – 118s. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).

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

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

4. 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. Osobenosty napriazhenno-deformirovanoho sostoiannya nerazreznykh zhelezobetonnykh balok y rascheta prochnosti naklonnykh sechenyi / V.S. Dorofeev, V.M. Karpiuk, E.N. Krantovskaia, F.R. Karpiuk // Budivelni konstruktsii mizhvidomchyi nauk.-tekh. zb. nauk. pr. (budivnytstvo) – vyp. 73. – Kyiv, NDIBK, 2010, s. 151-163.

5. 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. Deformabilityofthetmaterialsofcontinuousconcretebeams / V.S. Dorofeev, V.M. Karpyuk, E.N. Krantovskaya, A.M. Brednev // Newsofthe ODABA. - vip. 38- Odesa, 2010. pp. 246-254.

6. Бабич В.Є. Методика визначення внутрішніх зусиль в нормальних перерізах залізобетонних балок //: зб. наук. праць / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, УДВГП. – Рівне, 2003. – вип. 9. – с.147-152.

Babych V.Ie. Metodyka vyznachennia vnutrishnykh zusyl v normalnykh pererizakh zalizobetonnykh balok //: zb. nauk. prats / Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy, UDVHP. – Rivne, 2003. – vyp. 9. – s.147-152.

7. 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.

Masyuk G.K. Calculationofthestrengthofnormalcrosssectionsofnon-separableiron-tonebeamsunderrepeatedloadsbasedonthedeformationmodel / G.H. Masyuk, V.E. Babich // BuildingConstructions: InterdepartmentalSciences. - Tech. sciencesAve - Kiev. NIIDK, 2004, p. 659-664.

8. 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 rovnoi diahramy deformuvannia betonu / V.Ie. Babych // Nauk. visnyk bud-va. – Kharkiv: KhTUBA, 1999, vyp. 7. – s.101-107.

9. 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 // Resur-soekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy: Zb. nauk. pr. – Rivne, UDUVHP, 2002, vyp. 8. – s. 47-55.

10. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження перерозподілу зусиль двохпролітних нерозрізних залізобетонних балках при повторних навантаженнях / Г.Х. Масюк, В.Є. Бабич // Вісник Українського державного уні-верситету водного господарства та природокористування: зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2002, вип. 4(17). – с.165-173.

Masyuk G.K. Experimental investigation of redistribution of effort of two-pass non-separable reinforced concrete beams under repeated loads / G.H. Masyuk, V.E. Babich // Bulletin of the Ukrainian State University of Water Management and Nature Management: Sb. sciences Ave - Rivne, UDUVGP, 2002, issue no. 4 (17). - p.165-173.

11. Бабич Є.М. Особливості опору бетону в залізобетонних елементах малоцикловим однозначним і знаковмінним навантаженням // Є.М. Бабич, Г.Х. Масюк / Міжвідомчий науково-технічний збірник. Будівництво в сейсмічних районах України. – Київ, НДІБК, 2004, вип. 60. – с.665-668.

Babich Ye.M. Features of the resistance of concrete in reinforced concrete elements with low-cycle single-valued and alternating load // Ye.M. Babich, G.H. Masyuk / Interdepartmental scientific and technical collection. Construction in seismic areas of Ukraine. - Kyiv, NDIBK, 2004, issue no. 60. - p.665-668.

12. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження впливу малоциклових повторних і знаковмінних навантажень на розвиток тріщин нерозрізних залізобетонних балок / Масюк Г.Х., Ющук О.В. - Вісник ЛНАУ «Архітектура і сільськогосподарське будівництво». Випуск 19. – Львів: ЛНАУ, 2018 р. – 79-82 с.

Masiuk H.Kh. Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu malotsyklovykh povtornykh i znakovminnykh navantazhen na rozvytok trishchyn nerozriznykh zalizobetonnykh balok / Masiuk H.Kh., Yushchuk O.V. - Visnyk LNAU «Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo». Vypusk 19. – Lviv: LNAU, 2018 r. – 79-82 s.

13. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження впливу малоциклових повторних і знаковмінних навантажень на розвиток прогинів нерозрізних залізобетонних балок / Масюк Г.Х., Ющук О.В. - Збірник наукових праць Київського національного університету будівництва і архітектури - Київ: КНУБА, 2018.- Випуск 2. – С. 34 – 42

Masiuk H.Kh. Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu malotsyklovykh povtornykh i znakovminnykh navantazhen na rozvytok prohyniv nerozriznykh zalizobetonnykh balok / Masiuk H.Kh., Yushchuk O.V. - Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho natsionalnoho universytetu budivnytstva i arkhitektury - Kyiv: KNUBA, 2018.- Vypusk 2. – S. 34 – 42

14. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження несучої здатності двохпролітних нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знаковмінних навантажень // Масюк Г.Х., Ющук О.В., Шайдюк О.А., Дзюбак С.І. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту - Харків: УкрДУЗТ, 2018.- Випуск 175. – С. 84 – 91

Masiuk H.Kh. Eksperymentalni doslidzhennia nesuchoi zdatnosti dvokhprolitnykh nerozriznykh zalizobetonnykh balok za dii malotsyklovykh povtornykh i znakovminnykh navantazhen // Masiuk H.Kh., Yushchuk O.V., Shaidiuk O.A., Dziubak S.I. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu - Kharkiv: UkrDUZT, 2018.- Vypusk 175. – S. 84 – 91

15. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження перерозподілу зусиль в двохпролітних нерозрізних залізобетонних балках за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень / Масюк Г.Х., Ющук О.В., Федюк М.А. - Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць. Випуск 11 - Луцьк: ЛНТУ, 2019 р. – 73-83 с

Masiuk H.Kh. Eksperymentalni doslidzhennia pererospodilu zusyly v dvokhprolytnykh nerozriznykh zalizobetonnykh balkakh za dii malotsyklovykh povtornykh i znakovminnykh navantazhen / Masiuk H.Kh., Yushchuk O.V., Fediuk M.A. - Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Zbirnyk naukovykh prats. Vypusk 11 - Lutsk: LNTU, 2019 r. – 73-83 s

16. Масюк Г.Х. Результати експериментальних досліджень тріщиностійкості і деформативності згинальних залізобетонних елементів під дією малоциклових знакозмінних навантажень /Зб. Наук. Праць, Ресурсо-економні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, вип.. 9, - Рівне, 2003, - с. 168-172.

Masyuk G.Kh.

The results of experimental studies of crack resistance and deformability of bending reinforced concrete elements under the action of flow-cycle alternating loads / Coll. Science. Works, Resource-saving materials, structures, buildings and structures, issue. 9, - Rivne, 2003, - p. 168-172.

17. Масюк Г.Х. Задачі та методика експериментальних досліджень напружено-деформованого стану нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторно змінних і знакозмінних навантажень / Масюк Г.Х., Ющук О.В., Войтович О.В., Новоселецький Р.І. - Ресурсо-економні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Випуск 33 - Рівне: НУВГП, 2016 р. – 184-190 с.

Masyuk G.Kh. Masyuk GH, Yushchuk OV, Voitovych OV, Novoseletsky RI. - Resource-saving materials, structures, buildings and structures. Collection of scientific works. Issue 33 - Rivne: NUVGP, 2016 - 184-190 p.

18. Расчетные модели силового сопротивления железобетона (монография) /В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов/ Издательство АСВ, Москва, 2004. – 472 с.

Calculated models of reinforced concrete resistance (monograph) /V.M. Bondarenko, VI Kolchunov / DIA Publishing House, Moscow, 2004. - 472 p.