

УДК 624.012.45.191.33

**ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИОПОРНИХ ДІЛЯНОК
НЕРОЗРІЗНИХ БАЛОК ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ ЗНАКОЗМІННИХ
НАВАНТАЖЕНЬ**

**PROBLEMS AND METHODS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE
STRESSED AND DEFORMED STATE OF SUPPORT SECTIONS OF
SINGLE BEAMS UNDER THE ACTION OF SMALL CYCLE VARIABLE
LOADS**

**Масюк Г.Х. к.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0001-5207-3111, Сірочук В.І.
аспірант, ORCID ID: 0009-0007-8590-949X (Національний університет
водного господарства та природокористування).**

**Masjuk G.H. Ph.D., prof., ORCID ID: 0000-0001-5207-3111, Sirochuk V.I.
post-graduate student, ORCID ID: 0009-0007-8590-949X (National University
of Water Management and Nature Management).**

**В статті наведено методику проведення експериментальних досліджень
напружено-деформованого стану приопорних ділянок нерозрізних
залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень,
також наведено об'єм, зразки та устаткування для проведення
досліджень і поставлені задачі цих досліджень.**

**The article describes the methodology of conducting experimental studies of the
stress-strain state of the support sections of uncut reinforced concrete beams
under the action of low-cycle sign-changing loads, the volume, samples and
equipment for conducting studies and the tasks of these studies are also given.**

**Since this problem has practically not been solved to date, current
regulatory documents do not take into account the determination of the stress-
strain state of statically indeterminate elements under complex types of loads,
in particular under the action of low-cycle sign-changing loads. The proposed
truss model does not fully reveal the operation of the support sections of uncut
reinforced concrete elements. And the stress-strain state in these areas is quite
complex, since in these places there are significant values of transverse forces
and bending moments, especially with alternating sign loads. In these areas,
transverse cracks appear, which break these areas into blocks, connected in
the stretched zone by longitudinal and transverse or inclined reinforcement,
and in the upper zone by compressed concrete, the density of which is
disturbed by cracks.**

Ключові слова: напружено-деформований стан, нерозрізні балки, приопорні ділянки, знакозмінні навантаження.

stress-deformed state, non-separated beams, support sections, sign-changing loads.

Вступ. Значна кількість залізобетонних нерозрізних конструкцій піддається тривалій дії повторно-знакозмінних і малоциклових знакозмінних навантажень, тобто, навантажень, які періодично змінюють знак.

Опір матеріалів при таких навантаженнях суттєво відрізняється від опору їх постійним статичним навантаженням, а саме тим, що руйнування може відбутися при напруженнях, які менше не тільки межі міцності, а навіть межі пружності.

Відомо, що опір залізобетонних елементів при сумісності дії згинальних моментів і поперечних сил є однією із найбільш важливою і не до кінця розв'язаною проблемою, як в теорії залізобетону, так і в реальному проєктуванні ефективних залізобетонних конструкцій. Якщо розрахунку міцності нормальних перерізів залізобетонних елементів у вітчизняній і зарубіжній літературі приділено багато уваги і публікацій, то розрахунку міцності поперечних перерізів звичайних і, особливо, нерозрізних залізобетонних конструкцій, присвячено зовсім мало публікацій і він лишається до сьогоднішнього дня далеким від досконалості.

Для оцінки несучої здатності похилих перерізів найбільш відомим став метод граничної рівноваги зусиль, які в них виникають. Одною із причин незадовільної збіжності розрахункових по цьому методу і дослідних значень руйнуючої поперечної сили полягає в тім, що в розрахунковій моделі діючих норм не враховуються такі внутрішні зусилля, як сили зачеплення берегів бетону в критичній похилій тріщині, нагельні зусилля в повздовжній арматурі. Окрім того, діючі норми не розглядають цілий ряд інших факторів, в тому числі зміну знаку згинального моменту по довжині елементу.

Головна проблема при розробці інженерних методів розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних конструкцій полягає в статичній невизначеності даної задачі у зв'язку з тим, що кількість невідомих (висота стиснутої зони над похилою тріщиною, довжина її горизонтальної проєкції, осьові і нагельні зусилля в повздовжній арматурі, сили щеплення бетону, величина руйнуючої поперечної сили) перевищує кількість рівнянь рівноваги статички.

Руйнування залізобетонних балок по похилій тріщині обумовлено багатьма взаємозалежними факторами. При випробуванні залізобетонних балок намагаються виявити основний критерій міцності похилого перерізу і на цій основі пропонують методикку розрахунку похилого перерізу.

Точність розрахунку міцності похилого перерізу залізобетонних балок на дію поперечної сили і згинального моменту за методиками, в основі яких

лежить теорія міцності бетону, цілком залежить від достовірності прийнятих припущень, функціонального виразу дотичних і нормальних напружень з урахуванням факторів, які характеризують роботу залізобетонних елементів в прольоті зрізу.

Аналіз останніх досліджень. В дослідженнях останніх десятирічч з'явився новий підхід до побудови розрахунку залізобетонних елементів, які характеризуються складними напружено-деформованими станами і умовами навантаження, на основі методів деформаційних моделей з використанням певних діаграм деформування бетону. Це робота вчених А.Я.Барашикова [1], А.М.Бамбури [2,3,4], Є.М.Бабича [5], В.С.Дорофєєва [6,7,8,9,10], О.Ф.Яременка [11] та ін.

В більшості опублікованих праць по дослідженню напружено-деформованого стану приопорних ділянок згинальних залізобетонних балок відсутні дані про деформативність, ширину розкриття похилих тріщин і переміщення сформованих блоків на всіх стадіях роботи, в тому числі і перед руйнуванням, внаслідок чого утруднено зробити достовірний прогноз, наприклад, прогинів, тріщиностійкості, кутів поворотів перерізів, на ділянках, де одночасно діють поперечна сила, згинальний момент і інші внутрішні силові фактори.

Утворення похилих тріщин в згинальних елементах, як правило, у опор або в місцях прикладання значних зосереджених сил, обумовлено спільною дією поперечних сил і згинальних моментів.

Місце їх утворення, нахил, розкриття і розвиток по висоті залежить від виду навантажень, форми перерізу, виду і кількості армування, співвідношення M/V , прольоту зрізу a/d і інших конструктивних, а також технологічних факторів.

Після утворення критичної похилої тріщини елемент розділяється на дві частини, які зв'язані між собою в стиснутій зоні бетоном над похилою тріщиною, а в розтягнутій зоні – повздовжньою арматурою, поперечними стержнями і відгинами, що пересікають похилу тріщину.

Що стосується дослідження нерозрізних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень, то такі дослідження одиничні [12]. Дослідження ж напружено-деформованого стану приопорних ділянок нерозрізних балок на проміжних опорах, то такі дослідження практично відсутні, що говорить про активність даних експериментально-теоретичних досліджень.

Постановка мети і задач досліджень. Метою даної роботи є розвиток наукових основ по визначенню напружено-деформованого стану приопорних ділянок нерозрізних залізобетонних балок, що зазнають дії малоциклових знакозмінних навантажень, вдосконалення, методики розрахунку міцності їх приопорних ділянок, базуючись на сучасній деформаційній моделі перерізів, а також підтвердити прийнятність вдосконаленої методики експериментальними даними. Крім того, перевірити діючі методи до визначення тріщиностійкості і деформативності досліджувальних елементів.

Для досягнення поставленої мети намічено вирішувати такі задачі:

- Отримати нові експериментальні дані про напружено-деформований стан приопорних ділянок нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень;
- Виявити вплив малоциклових знакозмінних навантажень на міцність, деформативність і тріщиностійкість приопорних ділянок нерозрізних балок;
- Вдосконалити деформаційну модель розрахунку міцності приопорних ділянок досліджувальних елементів;
- Уточнити інженерну, зручну для практичних розрахунків, методику розрахунку міцності похилих перерізів нерозрізних залізобетонних балок
- Вивчити характер перерозподілу зусиль на всіх стадіях роботи досліджувальних елементів.

Для досягнення поставленої мети і реалізації задач запроєктовано дві серії експериментальних досліджень роботи приопорних ділянок нерозрізних двохпролітних залізобетонних балок. Одночасно з випробуванням балок будуть випробувані бетонні і арматурні зразки з метою визначення міцнісних і деформованих характеристик матеріалів. Нерозрізні двохпролітні балки з однаковими прольотами по 1500мм і розмірами поперечного перерізу 100x160мм. Балки виготовляються із бетону С25/30 і армуються двома каркасами. Робоча арматура в верхній і нижній зоні балок по два стержні діаметром 12мм класу А400, поперечна арматура із класу В500 діаметром 5мм. Армуння балок зварними каркасами подвійне симетричне з кроком на приопорних ділянках 100мм, а в прольоті – 200мм. Деякі балки будуть виготовлені де в якості поперечної арматури будуть прийняті такі стержні діаметром мм під кутом 45 градусів. Конструкції дослідних зразків наведені на рис.1.

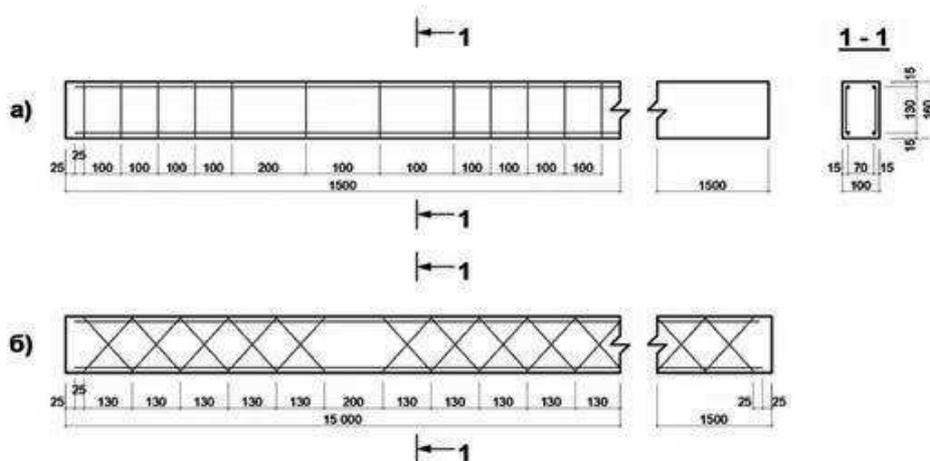


Рис.1. Конструкції дослідних зразків:
а) зразки з вертикальною поперечною арматурою;
б) зразки з похилою поперечною арматурою.

Для випробування двохпролітних нерозрізних балок планується в якості силової рами використовувати гідравлічний прес ПГ-200, на базі якого буде виготовлена і змонтована спеціальна установка (рис.2).

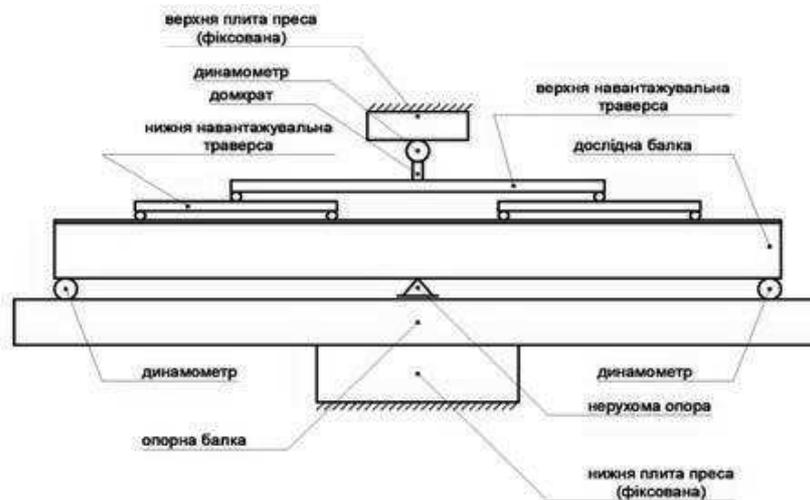


Рис.2. Конструктивна схема установки для випробування балки.

В якості крайніх опор використовуються протаровані кільцеві динамометри, які дадуть змогу в процесі випробувань вимірювати опорні реакції і розкриття статичної невизначеності.

Між верхньою навантажувальною траверсою і верхньою фіксованою плитою преса розташовуються гідравлічний домкрат і протарований кільцевий динамометр, за допомогою якого визначається повне навантаження на балку. Від верхньої навантажувальної траверси навантаження передається на нижні траверси. Балки випробовувати чотирма зосередженими силами, в кожному прольоті по дві сили, які прикладатимуться по схемі, показаній на мал.2. Значення прольотів зрізу $a/d=1;2;3$ при випробуванні балок будуть регулюватись зміною місць точок прикладання навантаження на верхній і нижній навантажувальних траверс, які виготовляються з прокату.

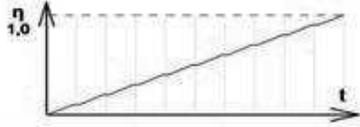
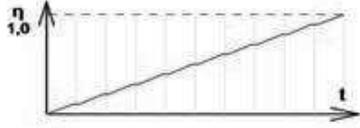
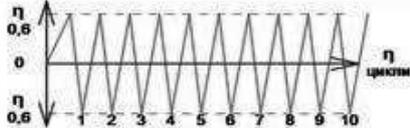
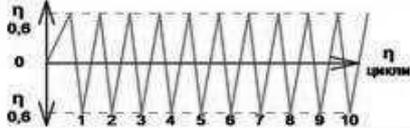
Випробування балок малоцикловими залізобетонними навантаженнями планується за режимами, які наведені в табл.1.

В процесі випробувань балок вимірюватимуться деформації бетону і арматури, прогини балок, можливе переміщення опор. Деформації бетону вимірюватимемо індикаторами годинникового типу з ціною поділок 0.001мм на базі 200мм в похилих перерізах на приопорних ділянках балок і на базі 100мм в нормальних перерізах і тензорезисторами з базою 50мм наклеєних ланцюжком на грані балки. Деформації арматури будуть вимірюватись за допомогою тензометрів Гугенбергера на базі 20мм з ціною поділок 0.001мм та тензорезисторів на базі 20мм, які наклеюються на арматурні повздовжні і поперечні стержні.

Прогини балок будемо визначати прогиномірами 6ПАОЛИСИ з ціною поділок 0.01мм, а також за допомогою індикаторів годинникового типу визначатимемо переміщення крайніх опор.

Режим завантаження дослідних балок.

Режим завантаження дослідних балок

Назва балки (шифр)	Прольот зрізу a/d (mm)	Рівень навантажень η	Характер режимів навантажень	Примітка
Б - 1	1(130)	1		Короткочасне ступінчасте до руйнування
Б - 2	2(160)			
Б - 3	3(190)			
БО - 1	1(130)	1		Короткочасне ступінчасте до руйнування
БО - 2	3(390)			
БОМЦЗН-1	1(130)	0,6		Короткочасне ступінчасте повторне малоциклове знакозмінне з руйнуванням на 11-му циклі
БОМЦЗН-2	2(160)			
БОМЦЗН-3	3(390)			
БОМЦЗН-1	1(130)	0,6		Короткочасне ступінчасте повторне малоциклове знакозмінне з руйнуванням на 11-му циклі
БОМЦЗН-2	2(160)			
БОМЦЗН-3	3(390)			

За появою тріщин в процесі ескпериментальних досліджень буде вестись візуально та за допомогою мікроскопа. Балки Б-1, Б-2, Б-3 армовані вертикальною поперечною арматурою і балки БО-1, БО-2 армовані похилими стержнями будуть випробовуватись однозначним ступінчастим навантаженням до руйнування для встановлення рівня навантажень. Балки БОМЦЗН-1, БОМЦЗН-2 армовані похилими поперечними стержнями і балки БОМЦЗН-1, БОМЦЗН-2 і БОМЦЗН-3 будуть випробовуватись короткочасним ступінчастим десятицикловим знакозмінним навантаженням. Після десятициклового знакозмінного навантаження балки на 11 товщині будуть доведені до руйнування. Схема розміщення приладів показана на рис.3.

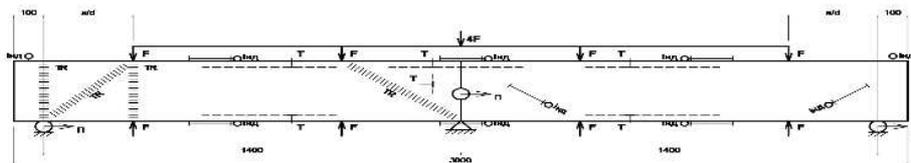


Рис.3. Схема розміщення вимірювальних приладів на дослідній балці.:
Инд. – індикатори годинникового типу; Т – тензометри Гугенбергера; П – прогиноміри; TR – тензорезистори з базою 50мм.

Висновки. Запропонована методика експериментальних досліджень приопорних ділянок нерозрізних балок з розробленим устаткуванням із застосуванням сучасних вимірювальних приладів дозволить дослідити за дії вищевказаних навантажень напружено-деформований стан і його зміну в процесі випробування балок, а також дослідити перерозподіл зусиль в перерізах балки.

1. Барашиков А.Я., Колякова В.М. Експериментально-теоретичні дослідження бетону при тривалих повторних навантаженнях. Вісник нац.унів «Львівська політехніка», 2007. №600.С.3-9.

Barashykov A.Ia., Koliakova V.M. Eksperymentalno-teoretychni doslidzhennia betonu pry tryvalykh povtornykh navantazhenniakh. Visnyk nats.univ «Lvivska politekhnik», 2007. №600.S.3-9.

2. Бамбура А.М. Расчет железобетонных статически неопределимых систем с учетом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры. Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику: тезисы докладов респ.научно-техн.конф.Полтава, 1989.часть1.С.6-7.

Bambura A.M. Raschet zhelezobetonnykh statychesky neopredelymykh system s uchetom realnykh dyahramm deformyrovaniya betona y armatury. Sovershenstvovanye zhelezobetonnykh konstruktsyi, robotaiushchykh na slozhnye vydy deformatsyi, y ykh vnedrenye v stroytelnuiu praktyku: tezysy dokladov resp.nauchno-tekhn.konf.Poltava, 1989.chast1.S.6-7.

3. Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе. Будівельні конструкції. Міжвідомчий наук.-техн.зб.Київ: НДБІК, 2003. Вип.59.Книга 1.С.121-130.

Bambura A.N., Hurkovskiy A.B. K postroeniyu deformatsyonnoi teoryy zhelezobetona sterzhnevyykh system na eksperymentalnoi osnove. Budivelni konstruktsii. Mizhvidomchyi nauk.-tekhn.zb.Kyiv: NDBIK, 2003. Vyp.59.Knyha 1.S.121-130

4. Давиденко А.И., Бамбура А.Н., Беляева С.Ю., Присяжнюк Н.В. К расчету прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, с использованием полной диаграммы деформирования бетона. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Зб.наук.праць за заг.ред.Лучка Й.Й. Львів: Каменяр. 2007. Вип.7.С.209-2016.

Davydenko A.Y., Bambura A.N., Beliaeva S.Iu., Prysiazhniuk N.V. K raschetu prochnosty secheniy, naklonnykh k prodolnoi osy elementa, s yspolzovanyem polnoi dyahrammy deformyrovaniya betona. Mekhanika i fizyka ruinuvannia budivelnykh materialiv ta konstruktsii. Zb.nauk.prats za zah.red.Luchka Y.I. Lviv: Kameniar. 2007. Vyp.7.S.209-2016.

5. Бабич Є.М. Бабич В.Є. Удосконалення розрахунку нерозрізних залізобетонних балок з використанням деформативної моделі нормальних перерізів. Таврійський науковий вісник. Херсон.1999.С.18-24.

Babych Ye.M. Babych V.Ie. Udoskonalennia rozrakhunku nerozriznykh zalizobetonnykh balok z vykorystanniam deformatsiinoi modeli normalnykh pereriziv. Tavriiskiyi naukovyi visnyk. Kherson.1999.S.18-24.

6. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Аветисян А.Г., Крантовская Е.Н. и др. О необходимости и постановке системных экспериментальных исследований прочности, трещиностойкости и деформативности приопорных участков изгибаемых

железобетонных элементов, испытывающих сложные деформации, с целью уточнения и развития их расчета. Науково-техн.проб.сучасн.залізобетону. Буд.констр. Міжвід.наук.-техн.зб.Київ: НДБІК, 2005.Т.2.С.160-167.

Dorofeev V.S., Karpiuk V.M., Avetyasian A.H., Krantovskaia E.N. y dr. O neobkhodymosty u postanovke systemnykh eksperymentalnykh yssledovanyi prochnosty, treshchynostoikosty u deformatyvnostry pryopornykh uchastkov yzghybaemykh zhelezobetonnykh elementov, usrytyvaiushchykh slozhnye deformatsyy, s tseliu utochneniya u razvytyia ykh rascheta. Naukovo-tekhn.prob.suchasn.zalizobetonu. Bud.konstr. Mizhvid.nauk.-tekhn.zb.Kyiv: NDBIK, 2005.T.2.S.160-167.

7. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Крантовская Е.Н. Основные параметры несущей способности наклонных сечений неразрезных балок в местах смены знака и величины изгибающих моментов. Ресурсоекономні матеріали, констр., будівлі та споруди. Зб.наук.пр.Рівне, вип.15.С.150-160.

Dorofeev V.S., Karpiuk V.M., Krantovskaia E.N. Osnovnye parametry nesushchei sposobnosti naklonnykh secheniy nerazreznnykh balok v mestakh smeny znaka u velychyny yzghybaiushchykh momentov. Resursoekonomni materialy, konstr., budivli ta sporudy. Zb.nauk.pr.Rivne, vyp.15.S.150-160.

8. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Карпюк Ф.Р. и др. Вдосконалений деформацийный метод розрахунку міцності приопорних ділянок непереармованих прогінних залізобетонних конструкцій. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб.наук.пр.Київ. НДБІК, 2008.Вип.70.С.103-116.

Dorofeev V.S., Karpiuk V.M., Karpiuk F.R. y dr. Vdoskonalenyi deformatsiynyi metod rozrakhunku mitsnosti pryopornykh dilianok neperearmovanykh prohynnykh zalizobetonnykh konstruktsii. Stalezalizobetonni konstruktsii: doslidzhennia, proiektuvannia, budivnytstvo, ekspluatatsiia: zb.nauk.pr.Kyiv. NDBIK, 2008.Vyp.70.S.103-116.

9. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Крантовська О.М. Вдосконалення інженерного методу розрахунку несучої здатності похилих нерозрізних залізобетонних балок. Вісник ОДАБА. Одеса, 2007. Вип.№26.С.164-171.

Dorofieiev V.S., Karpiuk V.M., Krantovska O.M. Vdoskonalennia inzhenernoho metodu rozrakhunku nesuchoi zdatnosti pokhylykh nerozriznykh zalizobetonnykh balok. Visnyk ODABA. Odesa, 2007. Vyp.№26.S.164-171

10. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Крантовская Е.Н. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок: монография. Одесса. ОДАБА, 2010. С.175.

Dorofeev V.S., Karpiuk V.M., Krantovskaia E.N. Prochnost, treshchynostoikost y deformatyvnost nerazreznnykh zhelezobetonnykh balok: monohrafyia. Odessa. ODABA, 2010. S.175.

11. Яременко А.Ф., Ковров А.В. Напряженно-деформированное состояние неразрезных железобетонных балок. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Наук.-техн. Зб.Київ, 2004. №71. С.198-205.

Iaremenko A.F., Kovrov A.V. Napriazhenno-deformirovannoe sostoianye nerazreznnykh zhelezobetonnykh balok. Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Nauk.-tekhn. Zb.Kyiv, 2004. №71. S.198-205.

12. Ющук О.В. Несуча здатність, тріщиностійкість і деформативність нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень: дис...к.т.наук.: 05-23-01/Рівне. НУВГП, 2021. С.160.

Iushchuk O.V. Nesucha zdatnist, trishchynostiikist i deformatyvnist nerozriznykh zalizobetonnykh balok za dii malotsyklovykh povtornykh i znakozminnykh navantazhen: dys...k.t.nauk.: 05-23-01/Rivne. NUVHP, 2021. S.160.