

**ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ДІАГРАМИ «МОМЕНТ-КРИВИЗНА» НЕРОЗРІЗНИХ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**FEATURES OF "MOMENT-CRYVISM" DIAGNOSTIC BUILDING NON-INFLAMMATORY CONVENTIONAL ELEMENTS FOR THE EFFECT OF SMALL CYCLE IMPROVED 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.**, ст. викладач, ORCID: 0000-0002-1450-3771 **Федюк М.А.**, студент ORCID: 0000-0002-2213-8372 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**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.**, senior lecturer, ORCID: 0000-0002-1450-3771 **Fedjuk M.A.**, student, ORCID: 0000-0002-2213-8372 (National university of water management and nature resources use, Rivne, Ukraine)

В даній статті наведено рекомендації побудови діаграми «момент-кривизна» статично-невизначених згинальних елементів за дії малоциклових повторних знакозмінних навантажень. На основі аналізу експериментально-теоретичних досліджень встановлено особливості побудови діаграми « $M - \frac{1}{r}$ ».

In the given article the recommendations of construction of the diagram "moment-curvature" of statically-indefinite bending elements for the action of small-cycle repeated repeated load-loadings are given. On the basis of the analysis of experimental and theoretical studies, the features of the construction of the diagram are established « $M - \frac{1}{r}$ ». In the process of testing the experimental samples, it is established that the curvature depends not only on the deflections but also on the deformations of the materials of the compressed and extended zones. In addition, it should be noted that the magnitude of the curvature is also affected by the rate of deformation of the concrete. The higher the level of application of the load, the greater the deformation of concrete in the same period of time. Also, the deformation of concrete in both compressed and stretched zones is affected by the repeated changeable load. From cycle to cycle of deformation grow, and hence the curvature also increases.

**Ключові слова:** кривизна, деформації, нерозрізні двохпролітні балки, малоциклові знакозмінні навантаження  
curvature, deformation, non-split twin-beam beams, low-cycle sign-exchange loads

**Вступ.** Повні діаграми деформування «момент-кривизна» згинальних елементів мають нисхідну вітку після досягнення максимуму. Це особливо важливо при розрахунках нерозрізних згинальних елементів за дії миттєвих навантажень, при яких відбувається руйнування конструкцій, вони збільшуються до 30%.

Для побудови повної розрахункової діаграми « $M - \frac{1}{r}$ » необхідно враховувати не тільки зміну властивостей матеріалів при навантаженні, а й вплив різниці в швидкості деформування по висоті поперечного перерізу і довжини конструкції, і інших параметрів, а також хвильового характеру деформування, який служить причиною розвантажень, знакозмінних і повторних навантажень локальних ділянок конструкції.

Вивченням розвитку напружено-деформованого стану у статично невизначених конструкціях за дії одноразових статичних, динамічних, статичних повторних і динамічних повторних навантажень присвячено ряд робіт як вітчизняних так і зарубіжних вчених. Що стосується досліджень напружено-деформованого стану і його параметрів нерозрізних залізобетонних конструкцій за дії малоциклових знакозмінних навантажень, то вони практично відсутні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує значна кількість досліджень присвячених оцінці параметрів напружено-деформованого стану нерозрізних залізобетонних балок за дії статично одноразових [1, 2, 3, 4, 5] циклічних повторних [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] і малоциклових знакозмінних [13, 14, 15, 16] навантаженнях. В своїх дослідженнях наведених робіт вчені висвітлювали окремі параметри напружено-деформованого стану. Якою буде залежність « $M - \frac{1}{r}$ » за дії малоциклових знакозмінних навантажень і як вона змінюватиметься від циклу до циклу вказаних навантажень, то такі дані відсутні. Це і визначає актуальність даної проблеми.

**Постановка мети і задачі досліджень.** У статті ставиться за мету на основі експериментальних даних проаналізувати напружено-деформований стан перерізів нерозрізних залізобетонних балок, його зміни в процесі випробовувань і на основі даного аналізу побудувати діаграми залежності «момент-кривизна».

**Методика досліджень.** Для вирішення поставлених задач були проведені експериментальні дослідження випробування двохпролітних залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень. Балки були виготовлені із бетону класу С25/30 і армовані двома зварними каркасами. Армування балок подвійне-симетричне. Робоча поздовжня арматура із класу А400 по два стержні діаметром 12 мм. В якості поперечної арматури прийняті стержні

діаметром 6 мм із класу А240. Нерозрізні двохпролітні балки прольотами по 1500мм, перерізом 100x160 мм. Випробування балок виконувалось в спеціальній установці з використанням гідравлічного преса ПГ-200. Завантаження здійснювалось чотирма силами, по дві сили в кожному прольоті. Навантаження балок відбувалось ступенями до рівня 0,6 від руйнівного з наступним розвантаженням ступенями до 0. Потім балки аналогічно завантажувались протилежним за знаком навантаженням також до рівня 0,6 і розвантажувались до 0. На п'ятому циклі знакозмінні навантаження балок були збільшені до рівня 0,8 від руйнівного, а починаючи з шостого циклу балки знову завантажувались до початкового рівня 0,6 від руйнівного. Після десяти циклів знакозмінних навантажень балки були доведені до руйнування.

Аналізуючи результати експериментальних випробувань нерозрізних залізобетонних балок слід зазначити, що кривизна залежить не тільки від прогинів, а й від деформацій матеріалів стиснутої і розтягнутої зон. Діаграма бетону « $\sigma - \varepsilon$ » при одновісному стиску і розтягу, як вказано в роботі (17), описується з врахуванням ЕКБ за такою залежністю

$$\frac{\sigma}{f} = \frac{k \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_u} \right) - \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_u} \right)^2}{1 + (k - 2) \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_u} \right)}, \quad (1)$$

де  $f$ ,  $\varepsilon_u$  - максимальні напруження і відповідні їм деформації бетону при одновісному стиску або розтягу:

$$k = \frac{\varepsilon_u E}{f}. \quad (2)$$

Для розрахункових залежностей при описі діаграми « $\sigma - \varepsilon$ » арматури використаємо функцію, яка складається із двох ділянок – прямолінійної до рівня пружної роботи і криволінійної при напруженнях  $\sigma_{0,02}$ . В даному випадку в формулі (1) необхідно замінити аргумент  $\varepsilon$  і функцію  $\sigma$  на такі їх значення  $(\varepsilon - \varepsilon_{0,02})$  і  $(\sigma - \sigma_{0,02})$ .

Якщо зобразити графічно діаграми « $\sigma - \varepsilon$ » при конкретнім значенні швидкості деформування в кожний момент часу, що розглядається, то вони мають вигляд (рис. 1). Для цього до двох координат  $\sigma$  і  $\varepsilon$  добавимо третю, яка враховує середню на ступені, що розглядається, швидкість деформування  $\varepsilon_m$ . В результаті отримаємо поверхню, утворену нескінченними паралельними площинами, на кожній із яких буде зафіксований графік залежності « $\sigma - \varepsilon$ » тільки для цієї конкретної швидкості деформацій  $\varepsilon_m$ .

Якщо через точку  $\varepsilon_u$  провести площину паралельно площині координаційних осей  $\sigma\sigma\varepsilon$ , то лінія її перетину з отриманою поверхнею дає графік зміни в часі максимального напруження  $f_u$ .

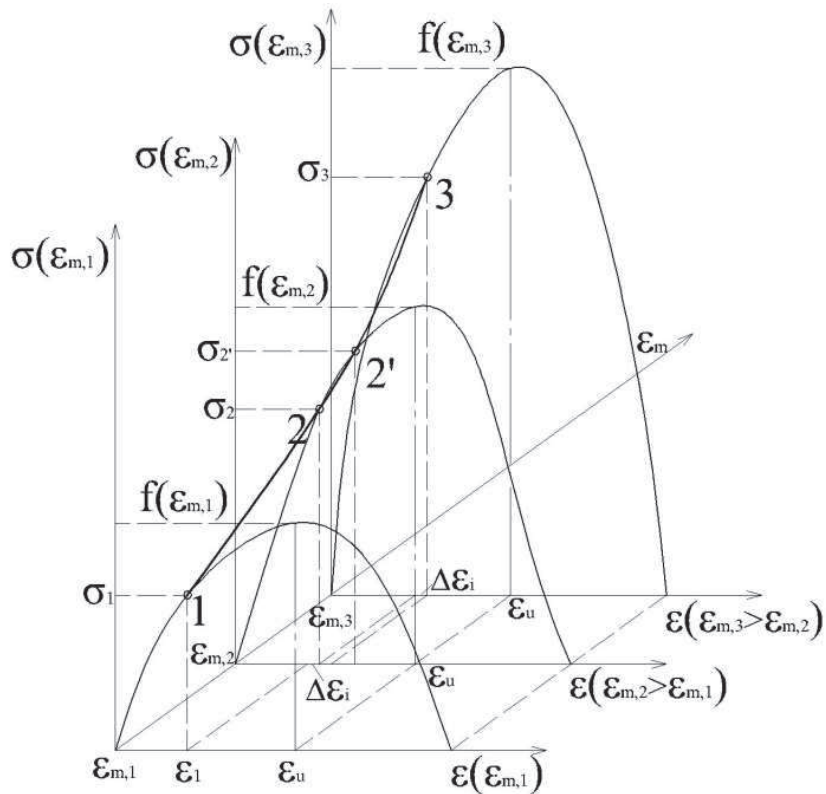


Рис. 1. Врахування зміни швидкості деформування на діаграму роботи матеріалів на ступенях, 1-2-2'-3 – характерні точки діаграми

В подальшому при виконанні розрахунків знаходять середню на кожній ступені швидкість деформацій. Отже, на кожному етапі розрахунок виконують дискретно-ступеневим методом з урахуванням ущільнення стиснутого і розущільнення розтягнутого бетону в перерізі, і зміцненню арматури, відповідаючого швидкості деформування саме цього етапу.

Згідно гіпотезі плоских перерізів деформації по висоті перерізу

$$\varepsilon = \frac{\bar{\varepsilon}(\bar{z} - z)}{\bar{z}}, \quad (3)$$

де  $\bar{\varepsilon}, \bar{z}$  - деформації крайнього волокна і висота стиснутої зони;  $\varepsilon, z$  - деформації волокна, що розглядається і відстань від нього до нейтральної вісі.

Враховуючи, що швидкість деформування волокон  $\varepsilon_{,m} = \frac{\varepsilon}{t}$ , то лінійність

розподілу деформацій по висоті перерізу зумовлює і лінійність розподілу швидкостей деформування. Аналітичний вираз швидкості деформування довільного волокна на етапі, що розглядається як функцію його відстані до нейтральної вісі отримаємо, розглядаючи зміну деформацій за деякий

проміжок часу  $\Delta t$ . Прирівнявши його крок рахунку в часі, визначимо швидкість, середню для цього кроку рахування. Від ступеня до ступеня швидкість деформування змінюється, що дозволяє достатньо диференційовано оцінити роботу конструкцій.

Із залежності (3) з врахуванням  $\frac{1}{r} = \bar{\varepsilon} / \bar{z}$

$$\varepsilon_{m,k(z)} = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{r_k}(\bar{z}_k - z) - \frac{1}{r_{k-1}}(\bar{z}_{k-1} - z)}{\Delta t}, \quad (4)$$

де  $\frac{1}{r_k}$ ,  $\frac{1}{r_{k-1}}$  - кривизни на даному і попередньому ступені.

Якщо у виразі (4)  $z$  замінити на відстань від стиснутої грані бетону до розтягнутої арматури, то отримаємо аналогічний вираз для швидкості деформування арматури.

Вплив швидкості деформування по довжині елемента враховується автоматично, по скільки розрахунок виконують за допомогою розбивки на ділянки по довжині, в процесі рахування в них визначають швидкості деформацій на кожному кроці рахування і безпосередньо враховують їх відмінність.

Врахування розвантажень, знакозмінних і повторних навантажень локальних ділянок конструкцій базується на наступних спрощених припущеннях (рис. 2):

- вихідна діаграма « $M - \frac{1}{r}$ » являє собою криволінійну залежність з ниспадаючою віткою, вигляд і форма якої відомі;
- розвантаження проходить по прямій, паралельній дотичній до кривої « $M - \frac{1}{r}$ » на початку координат, причому  $tg \alpha = E_{cd} I_{red}$ ;
- відтиснення пластичних деформацій після повного розвантаження проходить по прямій, нахиленій під кутом  $\beta$ , причому  $tg \beta = E_{cd}^* I_{red}$  ( $E_{cd}^*$  - модуль пружності бетону при знакозмінному навантаженні, прийнятий із роботи [14]:  $E_{cd}^* = 0,154 E_{cd}$ ;  $I_{red}$  - момент інерції зведеного перерізу, що визначається по висоті не тріснувшої частини бетону);
- деформування в зоні протилежного знака проходить по кривій, вигляд якої відомий і аналогічний початковій. Робота перерізу починається від точки перетину прямої, що характеризує відтиснення пластичних деформацій з віссю ординат. При цьому початкова діаграма для цієї зони зсувається вправо по осі абсцис;
- повторне навантаження в залежності від його початку на діаграмі проходить по прямій, паралельній дотичній на початку координат до

перетину з початковою, далі по початковій діаграмі (у випадку, якщо повторне навантаження починається з першої половини циклу розвантаження або відтиснення після розвантаження); по прямій розвантаження, потім по прямій відтиснення деформацій після розвантаження і далі по початковій діаграмі, зсунутій по осі абсцис (у випадку, якщо повторне навантаження починається з другої половини циклу навантаження протилежного знака, його розвантаження або відтиснення пластичних деформацій).

Критерієм стану приведеної розрахункової моделі служить порівняння результатів поточного і попереднього ступенів рахування.

Діаграму «момент-кривизна» будують ступеневим способом за відомими до того часу із рішення рівнянь руху кривизнам. Для визначення відповідних моментів спочатку розв'язують рівняння проєкцій

$$\sum X = N_c + N'_s - N_{ct} - N_s = 0; \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} N_c &= \int_0^{\bar{z}} \sigma_c [\varepsilon_c(z)] b(z) dz; \\ N_{ct} &= \int_{\bar{z} + \bar{z}_{ct}}^{\bar{z}} \sigma_{ct} [\varepsilon_{ct}(z)] b(z) dz; \\ N'_s &= \sigma'_s (\varepsilon'_s) A'_s; \\ N_s &= \sigma_s (\varepsilon_s) A_s, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де  $\sigma(\varepsilon)$  - залежності « $\sigma - \varepsilon$ » матеріалів з урахуванням зміцнення;

$\bar{z}$ ,  $\bar{z}_{ct}$  - висота стиснутої і розтягнутої зони, виражена через кривизну  $\frac{1}{r}$  і

деформації  $\varepsilon_c$ ;  $\bar{\varepsilon}(z)$  - закон зміни деформацій по висоті перерізу:

$$\frac{\bar{\varepsilon}_c}{\varepsilon_s} = \frac{\bar{z}}{d - z} \quad \text{або} \quad \frac{\bar{\varepsilon}_c}{\varepsilon_s} = \frac{\psi_c}{\psi_s} \cdot \frac{\bar{z}}{d - \bar{z}}. \quad (7)$$



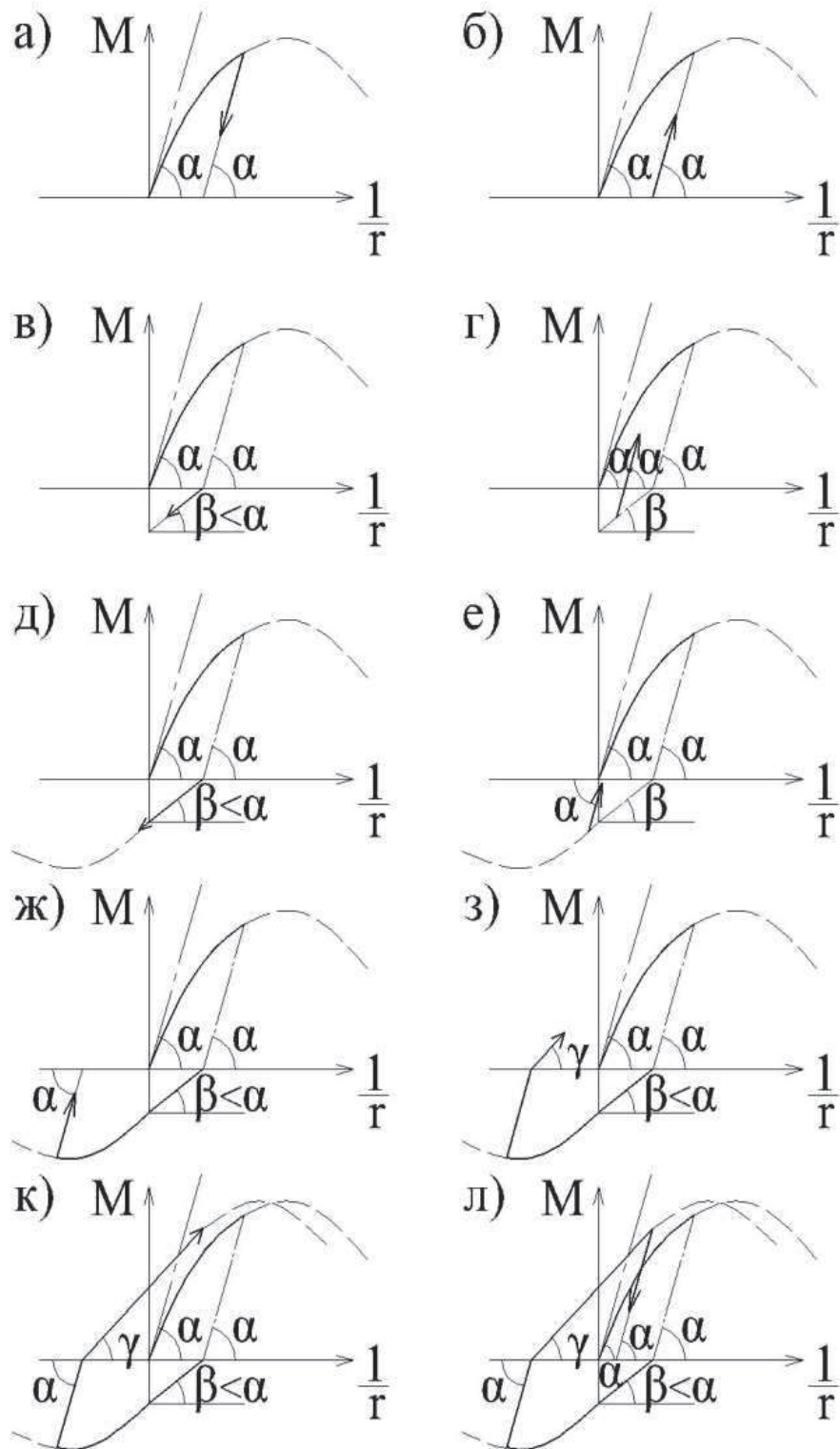


Рис. 2. Варіанти реалізації розрахункової моделі розвантажень, знакозмінних і повторних навантажень

а) – розвантаження; б – повторне навантаження; в – відтиснення пластичних деформацій; г – повторне навантаження після відтиснення; д – знакозмінне навантаження; е, ж – розвантаження знакозмінного навантаження; з – відтиснення пластичних деформацій протилежного знаку; к – повторне навантаження того ж знаку; л – повторне розвантаження.

Після розв'язання рівняння (7) відносно одного невідомого  $\bar{z} = \frac{\bar{\varepsilon}}{r}$

визначають момент в перерізі

$$M = \int_0^{\bar{z}} \sigma_c [\varepsilon_c(z)] b(z) z dz + \int_0^{\bar{z} + \bar{\varepsilon}_{ct}} \sigma_{ct} [\varepsilon_{ct}(z)] b(z) z dz + \sigma'_s (\varepsilon'_s) A'_s z'_s + \sigma_s (\varepsilon_s) A_s z_s \quad (8)$$

Таким чином, ниспадаюча ділянка в розрахунковій діаграмі « $M - \frac{1}{r}$ » обумовлена наявністю і реалізацією ниспадаючої віткою діаграми « $\sigma - \varepsilon$ » бетону. Збільшення кількості стиснутої повздовжньої арматури суттєво збільшує кривизну  $\frac{1}{r_u}$  і значно менший момент  $M_u$ . При цьому росте

довжина ниспадаючої вітки і зменшується кут нахилу її до горизонталі. В меншій степені зазначені явища залежать від наявності поперечної арматури.

**Висновки.** На основі проведеного аналізу експериментально-теоретичних досліджень слід зазначити, що запропоновані рекомендації по побудові розрахункової діаграми « $M - \frac{1}{r}$ » за дії малоциклових повторних навантажень достовірно описують дослідні дані при вказаних навантаженнях.

1. Бамбура А.М. Расчет железобетонных статически неопределимых систем с учетом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры // Тезисы докладов респ. Науч. Техн. Конф. «Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику», - Полтава, 1989. – Часть 1. – с. 6-7

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

3. Дрофеев 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.

4. Зайцев Л.И. Расчет статически неопределимых железобетонных балок с учетом нисходящей ветви бетона / Л.И. Зайцев, Л.Р. Маилян, Асаад Р. // Межвузовский сборник. – Ростов-на-Дону, 1983. – с. 3-12.

5. Маилян Л.Р. Расчет статически неопределимых балок с учетом нисходящей ветви деформирования / Л.Р. Маилян // Известия высших учебных заведений: Строительство и архитектура. - 1986. – 5-9.

6. Бабич В.Є. Напружено-деформований стан нерозрізних залізобетонних балок з урахуванням повної діаграми деформування бетону / В.Є. Бабич // Науковий вісник будівництва – Харків: ХТУБА, 1999. – Вип. 7. – с. 101-107.

7. Бабич Є.М. Удосконалення розрахунку нерозрізних залізобетонних балок з використанням деформаційної моделі нормальних перерізів / Є.М. Бабич, В.Є. Бабич // Таврійський науковий вісник. Херсон, 1999. – с. 18-24.



8. Бабич В.Є. Особливості роботи нерозрізних залізобетонних балок при повторних навантаженнях / В.Є. Бабич // Будівельні конструкції: Зб. наук. пр. – Київ: НДІБК, 2003. – вип. 58. – с. 8-13.

9. Бранцевич В.П. Деформации железобетонных балок при циклических нагрузениях низкой частоты / В.П. Бранцевич // Совершенствование технологии и расчета железобетонных конструкций. – Москва: НИИЖБ, 1984. – с. 17-19.

10. Гуменюк В.С. Особенности работы неразрезных железобетонных балок при воздействии многократно повторяющихся нагрузок // Влияние неупругих свойств железобетона на распределение усилий в статически неопределимых конструкциях: Труды НИИЖБ / Под редакцией С.М. Крылова и Л.Н. Зайцева. – Москва: Стройиздат, 1975. – вип. 20. – с. 57-71.

11. Икрин В.А. Анализ деформирования неразрезных железобетонных балок при циклических нагрузках / В.А. Икрин, Ю.Н. Кравцов // Известия высших учебных заведений: Строительство и архитектура. – 1986. – с. 4-8.

12. Расторгуев Б.С. Перераспределение усилий в железобетонных конструкциях при малоцикловых воздействиях / Б.С. Расторгуев, С.В. Цепелев // Бетон и железобетон. 1989, №10. – с. 16-18.

13. Голишев А.Б. К расчету статически неопределимых железобетонных конструкций на переменные нагрузки с учетом ползучести бетона / А.Б. Голишев, А.Я. Барашиков // Известия высших учебных заведений: Строительство и архитектура. 1972. - №9. - с. 13-18.

14. Карпенко Н.И. Исследование деформаций железобетонных балочных элементов при знакопеременных нагрузках / Н.И. Карпенко, В.А. Ерышев, А.М. Кокарев, Т.А. Мухамедиев // Исследования железобетонных конструкций при статических, повторных и динамических воздействиях. – Москва: НИИЖБ. 1984. – с. 55-72.

15. Масюк Г.Х. Експериментально-теоретичні дослідження роботи залізобетонних балок за дії повторних знакозмінних навантажень / Г.Х. Масюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. пр. – Рівне. 2016. – с. 178-183.

16. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження впливу мало циклових повторних і знакозмінних навантажень на розвиток прогинів нерозрізних залізобетонних балок / Г.Х. Масюк, О.В. Ющук // Будівельні конструкції, теорія і практика. Київ – КНУБА. №2. – с. 34-42.

17. Маилян Л.Р. Построение динамической диаграммы «момент-кривизна» изгибаемых элементов / Л.Р. Маилян, В.А. Шевченко // Бетон и железобетон. 1989. №7. – с. 32-34.

1. Bambura A.M. Raschet zhelezobetonnykh statychesky neopredelyemykh system s uchetom realnykh dyahramm deformatsyonyia betona y armatury // Tezysy dokladov resn. Nauch. Tekhn. Konf. «Sovershenstvovanye zhelezobetonnykh konstruktsyi, rabotaiushchyykh na slozhnye vydy deformatsyi, y ykh vnedrenye v stroytelnuuu praktyku», - Poltava, 1989. – Chast 1. – s. 6-7

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

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

4. Zaitsev L.Y. Raschet statychesky neopredelyemykh zhelezobetonnykh balok s uchetom nyskhodiashchei vetvy betona / L.Y. Zaitsev, L.R. Maylian, Asaad R. // Mezhvuzovskiy sbornik. – Rostov-na-Donu, 1983. – s. 3-12.
5. Maylian L.R. Raschet statychesky neopredelyemykh balok s uchetom nyskhodiashchei vetvy deformirovaniya / L.R. Maylian // Yzvestiya vysshykh uchebnykh zavedeniy: Stroytelstvo y arkhytektura. - 1986. – s. 5-9.
6. Babych V.Ie. Napruzhenno-deformovanyi stan nerozriznykh zalizobetonnykh balok z urakhuvanniam povnoi diahramy deformuvannia betonu / V.Ie. Babych // Naukovyi visnyk budivnytstva – Kharkiv: KhTUBA, 1999. – Vyp. 7. – s. 101-107.
7. Babych Ye.M. Udoskonalennia rozrakhunku nerozriznykh zalizobetonnykh balok z vykorystanniam deformatsiinoi modeli normalnykh pereriziv / Ye.M. Babych, V.Ie. Babych // Tavriiskiy naukovyi visnyk. Kherson, 1999. – s. 18-24.
8. Babych V.Ie. Osoblyvosti roboty nerozriznykh zalizobetonnykh balok pry povtornykh navantazhenniakh / V.Ie. Babych // Budivelni konstruksii: Zb. nauk. pr. – Kyiv: NDIBK, 2003. – vyp. 58. – s. 8-13.
9. Brantsevych V.P. Deformatsyy zhelezobetonnykh balok pry tsyklycheskykh nahruzheniyakh nizkoi chastoty / V.P. Brantsevych // Sovershenstvovanye tekhnolohyy y rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy. – Moskva: NYYZhB, 1984. – s. 17-19.
10. Humeniuk V.S. Osobennosti roboty nerazreznnykh zhelezobetonnykh balok pry vozdeistvyi mnohokratno povtoriaiushchykh nahruzok // Vliyanye neupruhykh svoistv zhelezobetona na raspredelenye usylyi v statychesky neopredelyemykh konstruksiyakh: Trudy NYYZhB / Pod redaktsiyei S.M. Khylova y L.N. Zaitseva. – Moskva: Stroiizdat, 1975. – vyp. 20. – s. 57-71.
11. Ykryn V.A. Analyz deformirovaniya nerazreznnykh zhelezobetonnykh balok pry tsyklycheskykh nahruzках / V.A. Ykryn, Yu.N. Kravtsov // Yzvestiya vysshykh uchebnykh zavedeniy: Stroytelstvo y arkhytektura. – 1986. – s. 4-8.
12. Rastorhiev B.S. Pereraspredelenye usylyi v zhelezobetonnykh konstruksiyakh pry malotsyklovykh vozdeistvyiakh / B.S. Rastorhiev, S.V. Tsepelev // Beton y zhelezobeton. 1989, №10. – s. 16-18.
13. Holyshev A.B. K raschetu statychesky neopredelyemykh zhelezobetonnykh konstruksiy na peremennyye nahruzky s uchetom polzuchesty betona / A.B. Holyshev, A.Ia. Barashykov // Yzvestiya vysshykh uchebnykh zavedeniy: Stroytelstvo y arkhytektura. 1972. - №9. - s. 13-18.
14. Karpenko N.Y. Yssledovanye deformatsiy zhelezobetonnykh balochnykh elementov pry znakorperemennykh nahruzках / N.Y. Karpenko, V.A. Etyshv, A.M. Kokarev, T.A. Mukhamedyev // Yssledovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy pry statycheskykh, povtornykh y dynamycheskykh vozdeistvyiakh. – Moskva: NYYZhB. 1984. – s. 55-72.
15. Masiuk H.Kh. Eksperymentalno-teoretychni doslidzhennia roboty zalizobetonnykh balok za dii povtornykh znakovminnykh navantazhen / H.Kh. Masiuk // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Zb. nauk. pr. – Rivne. 2016. – s. 178-183.
16. Masiuk H.Kh. Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu malo tsyklovykh povtornykh i znakovminnykh navantazhen na rozvytok prohyniv nerozriznykh zalizobetonnykh balok / H.Kh. Masiuk, O.V. Yushchuk // Budivelni konstruksii, teoriia i praktyka. Kyiv – KNUBA. №2. – s. 34-42.
17. Maylian L.R. Postroenye dynamycheskoi dyahrammy «moment-kryvyzna» yzghybaemykh elementov / L.R. Maylian, V.A. Shevchenko // Beton y zhelezobeton. 1989. №7. – s. 32-34.