

УДК 624.072.23

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАЛО  
ЦИКЛОВИХ ПОВТОРНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА  
РОЗВИТОК ПРОГИНІВ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
МАЛОЦИКЛОВЫХ ПОВТОРНЫХ И ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ  
НАГРУЖЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ПРОГИБОВ НЕРАЗРЕЗНЫХ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК**

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF LOW-  
CYCLE REPEATED AND SIGNIFICANT LOADS ON THE  
DEVELOPMENT OF THE PROBLEMS OF NON-SEPARABLE  
REINFORCED CONCRETE BEAMS**

**Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Ющук О.В., асп.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Ющук А.В., асп.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**Masyuk G.Kh., Ph.D, prof., Yushchuk O.V., post-graduate student**  
(National University of Water management and nature resources use, Rivne)

Наведені результати експериментальних досліджень впливу малоциклових повторних і знакозмінних навантажень на прогини нерозрізних залізобетонних балок і виконаний порівняльний аналіз прогинів балок за різних режимів завантажень.

Приведенные результаты экспериментальных исследований влияния малоцикловых повторных и знакопеременных нагрузений на прогибы неразрезных железобетонных балок и выполнен сравнительный анализ прогибов балок при различных режимах загрузки.

The results of experimental studies of the influence of small cyclic repetitive and sign-loaded loads on the deflections of non-separable reinforced concrete beams are presented and a comparative analysis of beams deflections in different load modes is performed.

**Ключові слова:**

**Малоциклові знакозмінні навантаження, нерозрізні балки, прогини, цикли.**

## **Малоцикловые знакопеременные нагрузки, неразрезные балки, прогибы, циклы.**

### **Low-cycle sign-load loads, non-separable beams, deflections, cycles.**

**Вступ.** Надійність в роботі залізобетонних конструкцій забезпечується не тільки несучою їх здатністю, а й допустимими параметрами – другої групи граничних станів – шириною розкриття тріщин, прогинами і т.п. Конструкції нерозрізних залізобетонних балок досить широко використовуються при зведенні різних будівель і споруд. На сьогоднішній день напружено-деформований стан і робота в цілому нерозрізних залізобетонних балок за дії мало циклових повторних і знакозмінних навантажень вивчені недостатньо. Виходячи з цього дослідження роботи таких конструкцій, в т.ч. і розвиток прогинів, за дії вище вказаних навантажень є питанням актуальним.

**Аналіз останніх досліджень.** Значна кількість науковців як вітчизняних так і зарубіжних досліджували напружено-деформований стан нерозрізних балок за однозначних статичних навантажень. Такі дослідження висвітлені в роботах [4-6]. Робота нерозрізних залізобетонних балок за дії мало циклових повторних навантажень досліджувалась у роботах [1-3]. У вище вказаних працях науковці досліджували різні параметри роботи нерозрізних балок такі як: несучу здатність, міцність нормальних і похилих перерізів, тріщиностійкість і деформативність, ширину розкриття нормальних і похилих тріщин, прогини і ін. Що ж стосується дослідження роботи нерозрізних залізобетонних балок за дії мало циклових знакозмінних навантажень, то такі дослідження взагалі відсутні.

**Мета і задачі досліджень.** На основі експериментальних досліджень проаналізували вплив мало циклових повторних і знакозмінних навантажень на результат прогинів нерозрізних залізобетонних балок.

**Основна частина тексту.** Для дослідження поставленої мети авторами проведені експериментальні дослідження напружено-деформованого стану і роботи двохпролітних нерозрізних балок за дії мало циклових повторних і знакозмінних навантажень. Виготовлення балок було із бетону класу С25/30. Армування здійснювалось двома зварними каркасами. В якості робочої арматури використана арматура класу А400 діаметром 12 мм, поперечна арматура із класу А240, діаметром 6 мм. Армування балок подвійне симетричне – по два повздовжніх стержні знизу і зверху перерізу балки. Крок поперечних стержнів на при опорних ділянках 100 мм, в прольотах – 200мм. Нерозрізні двох пролітні балки з однаковими прольотами по 1500мм 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.

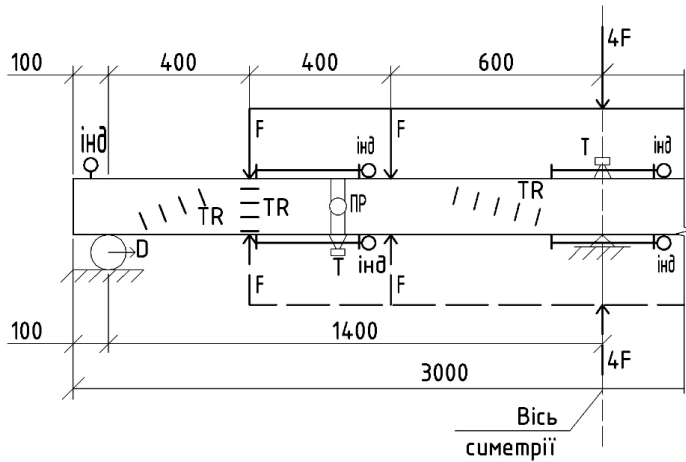


Рис. 1. Схема прикладання сил і розташування вимірювальних приладів.

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

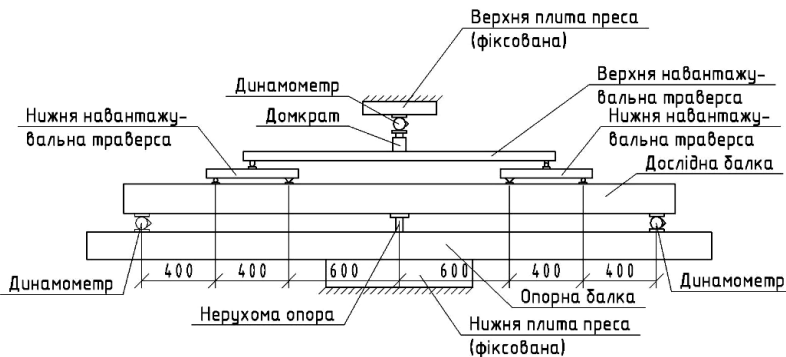


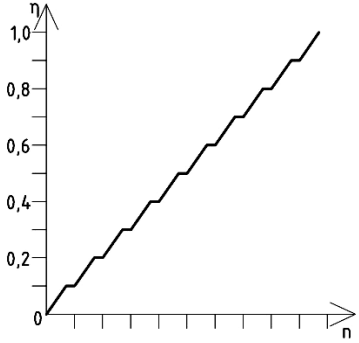
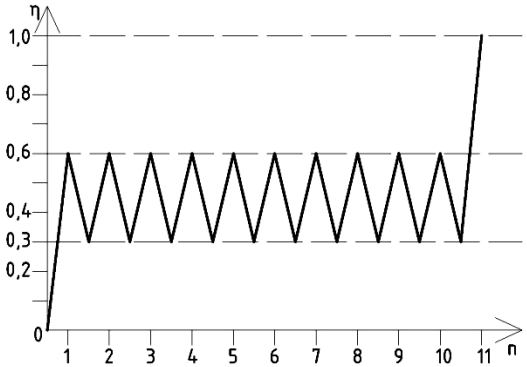
Рис. 2. Схема випробування двох пролітних балок

Випробування дослідних зразків здійснювалось за такими режимами завантажень: одноразовим статичним навантаженням до руйнування для визначення рівнів навантажень; мало цикловим повторним навантаженням з верхнім рівнем 0,6 і нижнім - 0,3; мало цикловим знакозмінним

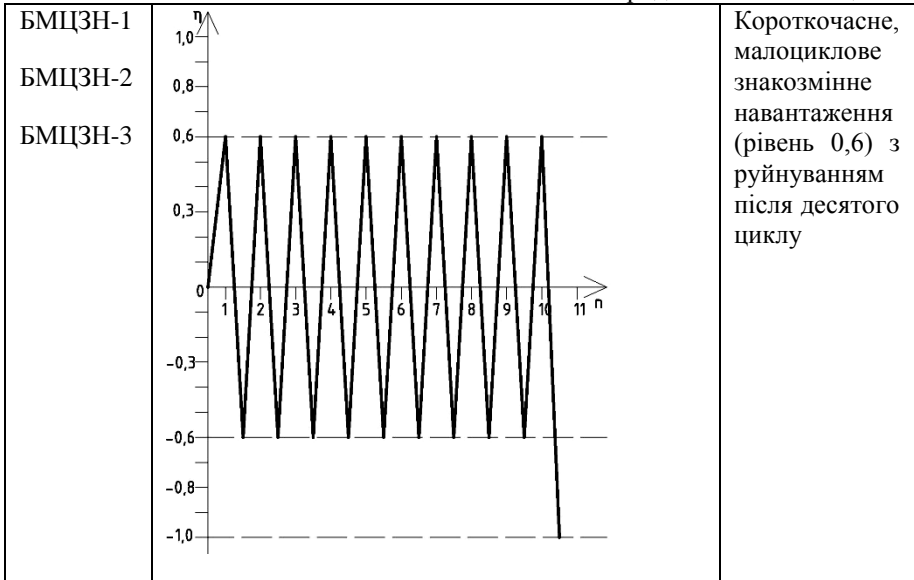
навантаженням з рівнем 0,6. Кількість циклів мало циклових навантажень прийнято десять. Після десяти циклів мало циклових навантажень балки доводились до руйнування. Схеми режимів навантажень експериментальних зразків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Схеми режимів навантаження балок

| Шифр балок                 | Режими навантажень   | Вид навантаження   |
|----------------------------|--|--|
| БОС-1<br>БОС-2<br>БОС-3    |   | Одноразове короткочасне, ступінчасте до руйнування   |
| БМЦП-1<br>БМЦП-2<br>БМЦП-3 |  | Короткочасне, малоциклове повторне навантаження рівень (0,3-0,6) з руйнуванням після десяти циклів |

## Продовження Таблиці 1



В процесі випробування балок вимірювались деформації бетону і арматури, прогини і можливе переміщення крайніх опор. Деформації бетону вимірювались індикаторами годинникового типу з ціною поділок 0,002 мм на базі 200 мм і тензорезисторами з базою 50 мм, наклеєних ланцюжками в прольотах де виникали максимальні згинальні моменти під першою силою від крайньої опори і максимальні від'ємні моменти над центральною опорою, а також в похилих перерізах від опори до місць прикладання сил на балку. Деформації арматури вимірювались за допомогою тензометрів Гугенберґера на базі 20 мм з ціною поділки 0,001 мм та тензорезисторів на базі 20 мм, які наклеювались на арматурні стержні в місцях виникнення максимальних зусиль. Прогини балок вимірювались прогиномірами типу 6 ПАО ЛИСИ з ціною поділок 0,01 мм. За індикаторами годинникового типу визначали переміщення крайніх опор.

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 відрізняється від роботи однопролітних залізобетонних згинальних

елементів навіть при однозначному статичному навантаженні (на першому півциклі). При подальших циклічних навантаженнях з кожним циклом напружено-деформований стан балок змінювався. Якщо порівнювати напружено-деформований стан балок за дії мало циклових повторних і мало циклових знакозмінних навантажень, то тут також є суттєва відмінність. Також прогини балок в залежності від характеру навантажень за своїми значеннями відрізнялись. Результати значень прогинів досліджувались на кожному напівциклі і на кожному циклі. Нижче наведений аналіз результатів прогинів. В експериментальних зразках за однозначного статичного навантаження прогини під час руйнування склали такі величини: БОС-1 – 2,27 см, БОС-2 – 2,24 см, БОС-3 – 2,26 см.

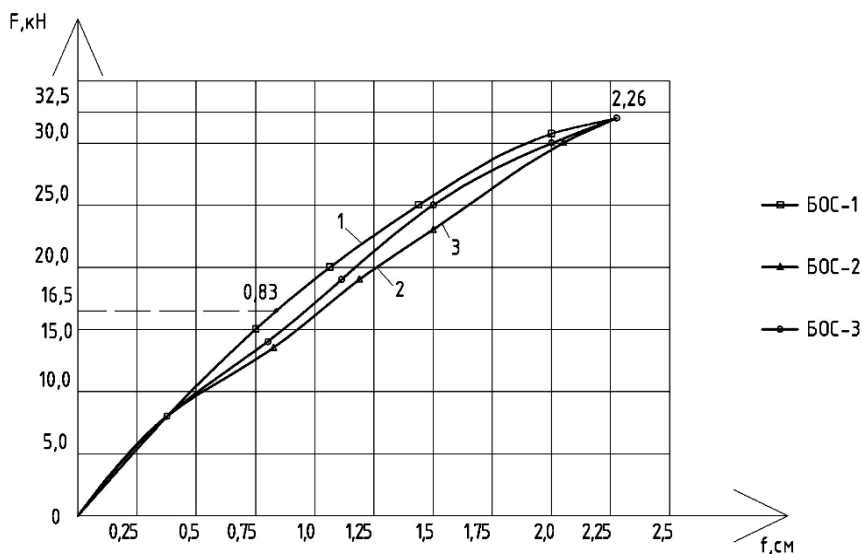


Рис. 3. Результати прогинів в балках за дії однозначного статичного навантаження

Вплив малоциклових повторних навантажень на розвиток прогинів балок вивчався на балках БМЦП-1,2,3. Прогини вимірювались під першою силою від крайньої опори в місцях найбільших прольотних згинальних моментів. Характер розвитку прогинів вивчався на вище вказаних балках і зміна їх середніх значень показана на рис. 4.

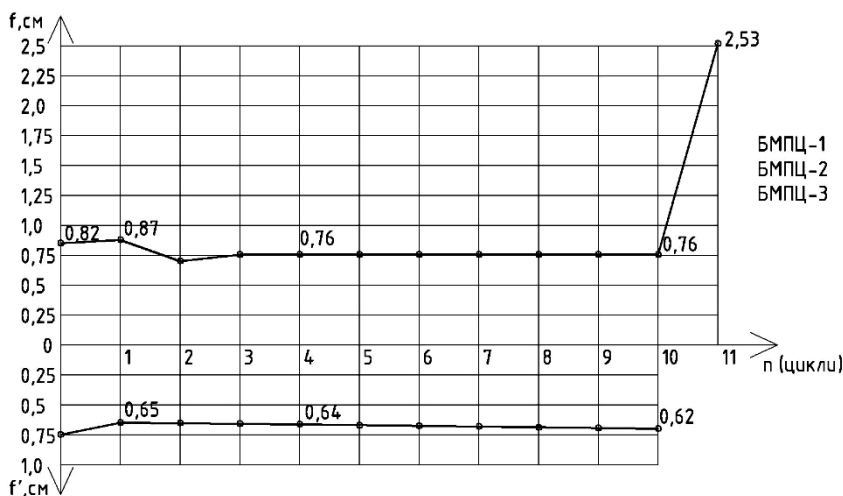


Рис. 4. Зміна прогинів балок при повторному навантаженні до рівня  $\eta = 0,6$  і розвантаженні до рівня  $\eta = 0,3$ . ( $f_{(cm)}$  - прогини при рівні  $\eta = 0,6$ , (середні значення 3-х балок)  $f'_{(cm)}$  - прогини при рівні  $\eta = 0,3$ )

При завантаженні балок мало цикловими повторними навантаженнями до верхнього рівня  $\eta = 0,6$ , що відповідає силі  $F=16,5$  кН, і розвантаження до нижчого рівня  $\eta = 0,3$ , що відповідає силі  $F=8,5$  кН, як видно із графіка (рис. 4) від циклу до циклу зміна прогинів, що на верхньому рівні, що на нижньому була незначною. Так при завантаженні до верхнього рівня на першому циклі прогин був рівним  $0,82$  см, на другому –  $0,87$  см, на третьому –  $0,74$  см і з четвертого по десятий цикл прогини були в межах  $0,75 \dots 0,76$  см. Що стосується нижчого рівня (розвантаження балок до  $\eta = 0,3$ ), то тут також особливих змін прогинів від циклу до циклу не відбувалось. Так на першому циклі прогин балок  $0,75$  см, на другому –  $0,65$  см, на третьому, четвертому і п'ятому прогин також був рівним  $0,64$  см, а з шостого по десятий –  $0,62$  см. Аналізуючи графіки зміни прогинів за дії мало циклових повторних навантажень можна констатувати, що прогини при невисоких рівнях навантажень практично стабільні. При чому якщо порівняти прогини при однозначному статичному навантаженні і при мало цикловому повторному навантаженні при однаковому рівні навантажень різниця не значна. Так при силі рівній  $16,5$  кН прогини при статичному навантаженні був  $0,83$  см, а при повторному – максимальний прогин був  $0,87$  см. Збільшення прогинів при цьому викликано зменшенням жорсткості балок, по-скільки за дії циклових навантажень тріщини які виникли в розтягнутій зоні балок на першому циклі

розвивались на наступних циклах. Порівнюючи значення прогинів при руйнуючих зусиллях, то за дії статичного однозначного навантаження в балках були 2,24 см, 2,27 см і 2,26 см, в балках що зазнавали дії мало циклових повторних навантажень – відповідно 2,51 см, 2,53 см і 2,53 см. Як бачимо, розкид значень прогинів незначний, що говорить про однакові міцнісні і деформативні характеристики балок. Руйнуючі зусилля балок були відповідно при одноразових – 32,5 кН; 32,53 кН; 32,51 кН і при повторних 30,0 кН; 30,02 кН і 30,0 кН.

Значний інтерес представляє вивчення прогинів і їх зміна за дії малоциклових знакозмінних навантажень в нерозрізних двохпролітних балках. Графік зміни значень прогинів за дії мало циклових знакозмінних навантажень в напівциклах «а» і «б» показаний на рис. 5.

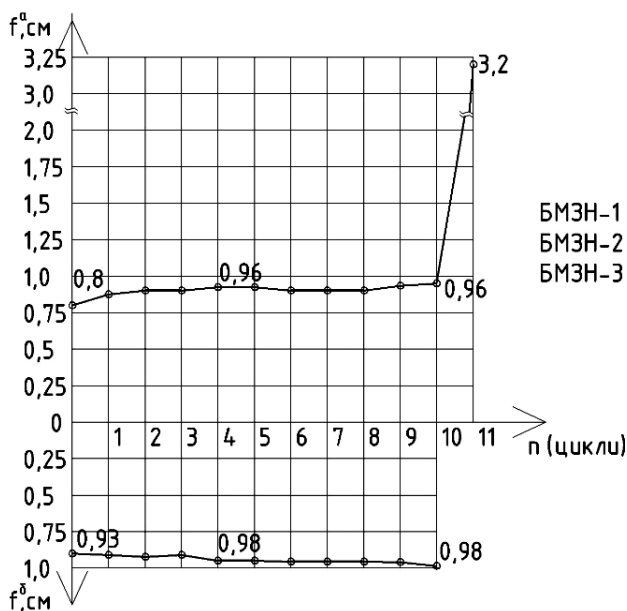


Рис. 5. Зміна прогинів балок за дії знакозмінних навантажень при рівні  $\eta = 0,6$  (середні значення 3-х балок). ( $f_{(cm)}^{(a)}$  - прогин на пів циклі «а»,  $f_{(cm)}^{(b)}$  - прогин на пів циклі «б»)

Аналіз графіків зміни прогинів за дії мало циклових знакозмінних навантажень показав, що значення прогинів в напівциклах «б» дещо більші. На першому напівциклі «а» прогин склав -0,8 см, а в напівциклі



«б» - 0,93 см, а на п'ятому – відповідно 0,96 см і 0,98 см. Починаючи з п'ятого циклу прогин практично на обох напівциклах стабілізувались. При руйнуванні за навантаження  $F=27,5$  кН прогини склали – 3,2 см (середнє значення по 3-х балках).

**Висновки.** На основі проведених експериментальних досліджень роботи двохпрілітних залізобетонних балок за дії мало циклових повторних і знакозмінних навантажень слід зазначити що вище зазначені навантаження суттєво впливають на напружено-деформований стан балок і на величину прогинів. За дії мало циклових навантажень за рівня  $\eta = 0,6$  прогини збільшились на 10%, а при руйнуванні прогини збільшились на 12%, а за дії знакозмінних відповідно на 13% - і на 40% в порівнянні з однозначним. Всі ці зміни прогинів необхідно враховувати в конструкціях, які в процесі експлуатації зазнають таких навантажень, хоча для цього необхідно провести додаткові дослідження для подальшого накопичення експериментальних даних.

1. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження перерозподілу зусиль в двох прілітних 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. 2. Савицький В.В. Експериментальні дослідження прогинів та ширини розкриття тріщин у збірно-монолітних нерозрізних 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. 3. Бабич Є.М. Міцність і деформативність важкого бетону при мало цикловому стисненні / Є.М. Бабич, Н.І. Ільчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2003, вип. 9. – с. 166-173. 4. Дорофеев В.С. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская // Одесса: Эвен, 2010. – 175с. 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. 6. 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.