

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАЛОЦИКЛОВИХ ПОВТОРНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА РОЗВИТОК ТРІЩИН НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

Г. Масюк, к. т. н., О. Ющук, аспірант

Національний університет водного господарства та природокористування

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.079>

Постановка проблеми. Залізобетонні нерозрізні балки досить широко використовують під час зведення різних будівель і споруд, зокрема в монолітних перекриттях багатоповерхових промислових і громадських будівель, у монолітних перекриттях підземних резервуарів, у перекриттях паркінгів для автомобілів тощо. Нерозрізні балки перекриттів зазначених будівель і споруд піддаються у процесі експлуатації малоцикловим повторним й знакозмінним навантаженням. Варто зазначити, що розрахунки за другою групою граничних станів – прогини, розкриття тріщин тощо, за чинними нормативними документами не враховують впливу малоциклових повторних і знакозмінних навантажень на допустимі параметри. На сьогодні напружено-деформований стан і робота загалом нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень вивчені недостатньо. Виходячи з цього, дослідження роботи таких конструкцій, у тому числі розвиток тріщин, за дії зазначених навантажень – питання актуальне.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Чимало науковців, як вітчизняних, так і зарубіжних, досліджували напружено-деформований стан нерозрізних балок за однозначних статичних навантажень. Такі дослідження висвітлені у працях [4-6]. Роботу нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних навантажень досліджували у працях [1-3]. Вивчали різні параметри роботи нерозрізних балок, такі як: несуча здатність, міцність нормальних і похилих перерізів, тріщиностійкість і деформативність, ширина розкриття нормальних і похилих тріщин, прогини тощо.

Досліджень стосовно роботи нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень взагалі немає.

Постановка завдання. Наше завдання – на основі експериментальних досліджень проана-

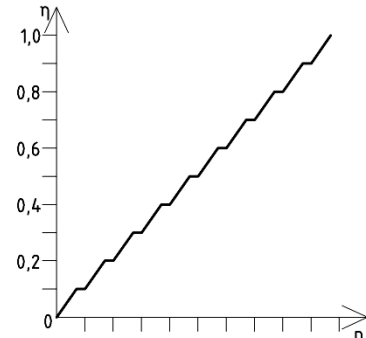
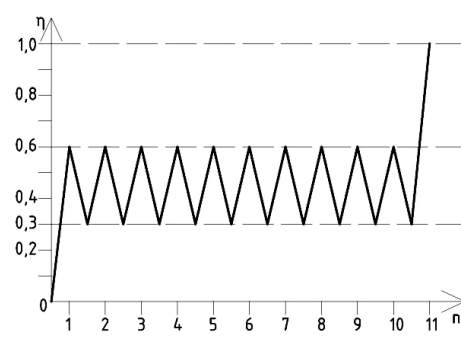
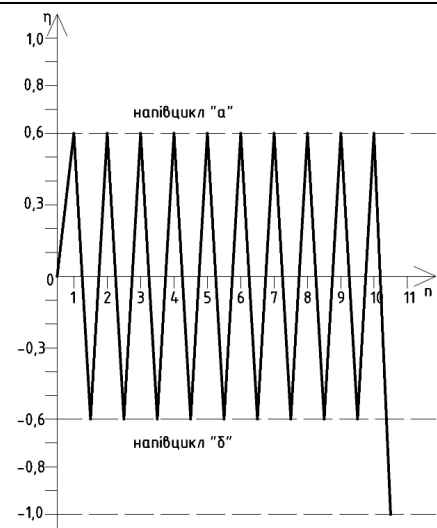
лізувати вплив малоциклових повторних і знакозмінних навантажень на тріщиностійкість і ширину розкриття тріщин нерозрізних залізобетонних балок.

Виклад основного матеріалу. Було проведено експериментальні дослідження напружено-деформованого стану і роботи двопролітних нерозрізних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень. Виготовляли балки з бетону класу С25/30. Армування здійснювали двома зварними каркасами. Робочою арматурою слугувала арматура класу А400 діаметром 12 мм, поперечна арматура із класу А240, діаметром 6 мм. Армування балок подвійне симетричне – по два поздовжні стрижні знизу і зверху перерізу балки. Крок поперечних стрижнів на припорних ділянках – 100, у прольотах – 200 мм. Нерозрізні двопролітні балки з однаковими прольотами по 1500 мм і розмірами поперечного перерізу 100 x 160 мм були випробувані за допомогою спеціальної силової траверси з використанням гідравлічного преса ПГ-200. Завантаження балок здійснювали чотирма зосередженими силами, по дві сили в кожному прольоті, які прикладали за схемою (рис. 1), де також показано розташування вимірювальних приладів.

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

Випробування дослідних зразків здійснювали за такими режимами завантажень: одноразове статичне навантаження до руйнування для визначення рівнів навантажень; малоциклове повторне навантаження з верхнім рівнем 0,6 і нижнім – 0,3; малоциклове знакозмінне навантаження з рівнем 0,6. Кількість циклів малоциклових навантажень прийнято десять. Після десяти циклів малоциклових навантажень балки довели до руйнування. Схеми режимів навантажень експериментальних зразків подано в таблиці.

Схеми режимів навантаження балок

Шифр балок	Режим навантаження	Вид навантаження
БОС-1 БОС-2 БОС-3		Одноразове короткочасне, ступінчасте до руйнування
БМЦП-1 БМЦП-2 БМЦП-3		Короткочасне, малоциклове повторне навантаження рівень (0,3-0,6) з руйнуванням після десяти циклів
БМЦЗН-1 БМЦЗН-2 БМЦЗН-3		Короткочасне, малоциклове знакозмінне навантаження (рівень 0,6) з руйнуванням після десятого циклу

У процесі випробування балок вимірювали деформації бетону і арматури, прогини і можливе переміщення крайніх опор. Деформації бетону вимірювали індикаторами годинникового типу з ціною поділок 0,002 мм на базі 200 мм і тензорезисторами з базою 50 мм, наклеєних ланцюжками у прольотах, де виникали максимальні згинальні моменти під першою силою від крайньої опори і максимальні від'ємні моменти над центральною опорою, а також у похилих перерізах від опори до місць прикладання сил на балку.

Деформації арматури вимірювали за допомогою тензометрів Гугенбергера на базі 20 мм з ціною поділки 0,001 мм та тензорезисторів на базі 20 мм, які наклеювали на арматурні стрижні в місцях виникнення максимальних зусиль. Прогини балок вимірювали прогиномірами типу 6 ПАО ЛИСИ з ціною поділки 0,01 мм. За індикаторами годинникового типу визначали переміщення крайніх опор. За появою тріщин у процесі випробування балок спостерігали візуально та за допомогою мікроскопа МПБ-3 з ціною поділки 0,002 мм.

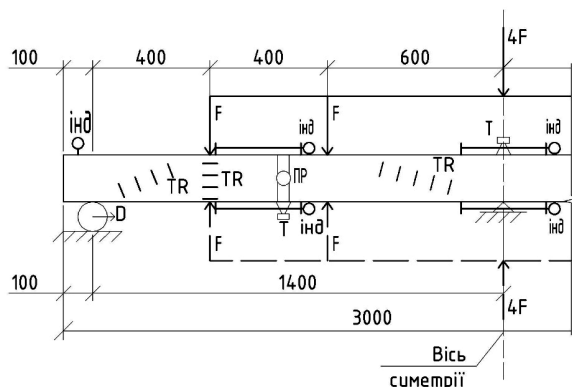


Рис. 1. Схема прикладання сил і розташування вимірювальних приладів

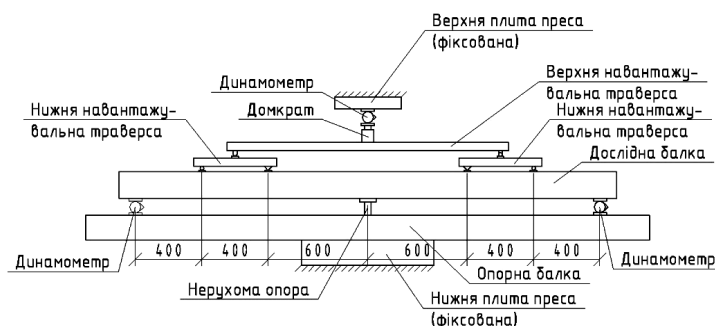


Рис. 2. Схема випробування двопролітних балок

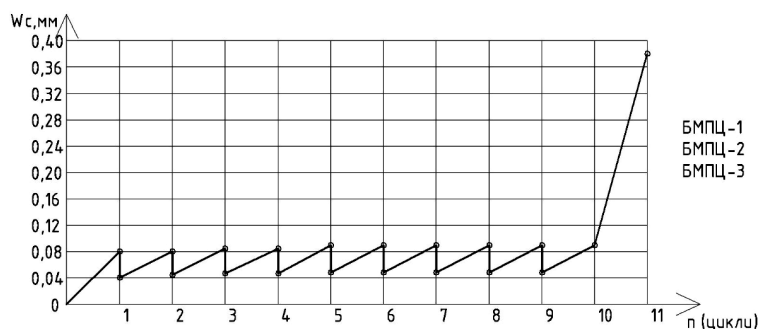


Рис. 3. Зміна ширини розкриття нормальних тріщин балок за повторного навантаження до рівня $h = 0,6$, розвантаження до рівня $h = 0,3$ ($W_{c(см)}$ – ширина розкриття тріщин за рівня $h = 0,6$, (середні значення 3-х балок); $W'_{c(см)}$ – ширина розкриття тріщин за рівня $h = 0,3$)

Схема розкриття тріщин за дії малоциклового і знакозмінного навантаження істотно відрізняється від схеми розкриття тріщин за однозначного статичного навантаження, що значною мірою впливає на експлуатаційні характеристики нерозрізних залізобетонних балок. Під час роботи нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклового навантаження спостерігали розвиток тріщин до 4-5 циклу завантаження, після чого відбулася стабілізація ширини відкриття і закриття тріщин, що, як бачимо з рис. 3, є сталішою.

На ступенях навантаження вище за рівень циклічного навантаження до руйнування спо-

стерігали збільшення приросту ширини розкриття тріщин. Максимальні значення ширини розкриття тріщин за руйнування балок були більші, ніж за однозначного статичного навантаження. Це можна пояснити зміною структури бетону за рахунок залишкових значень ширини розкриття тріщин за рівня $h = 0,3$ за малоциклових повторних навантажень.

Подальший розвиток тріщин спостерігали за збільшення навантаження до руйнування, де за рівня навантаження $h = 0,8$ від руйнівного почали відкриватися похилі тріщини і був істотний розвиток похилих і нормальних тріщин і ширина їх розкриття.

Під час роботи нерозрізних залізобетонних балок за дії знакозмінного навантаження спостерігали значний розвиток ширини розкриття нормальних тріщин на 1-2 циклах. Після 3-го до 5-го циклів відбулася стабілізація. За знакозмінних навантажень після 5-го циклу нормальні тріщини практично розділили переріз балки на окремі блоки, тобто злилися з розтягнутої до стиснутої зон перерізу. Відтак спостерігали подальший розвиток ширини розкриття тріщин на 7-10 циклах унаслідок деструктуризації бетону через наскрізне перерізання перерізу балки нормальними тріщинами. За навантажень балки на 7-му циклі з'явилися похилі тріщини. Значення ширини їх розкриття після десяти циклів було $W = 0,25$ мм. За навантаження балки після 10-го циклу до рівня навантаження $h = 0,8$ від руйнівного ширина похилих тріщин буде $W = 0,5$ мм (рис. 4).

Аналіз графіків зміни ширини розкриття тріщин показав, що за дії малоциклового повторного навантаження вище за зазначені рівні тріщини розвиваються до 4-5 циклів, після чого стабілізуються і перебувають приблизно на однаковому рівні. Подальший розвиток тріщин спостерігали тільки за збільшення рівня навантаження вище за цикловий. Аналіз графіка ширини розкриття тріщин за дії знакозмінного малоциклового навантаження суттєво відрізняється від графіка, показаного на рис. 3. Як видно із графіка, розвиток ширини розкриття нормальних тріщин від циклу до циклу зростав до 4-го циклу, далі відбулася стабілізація ширини розкриття нормальних тріщин, після 7-го циклу ширина розкриття збільшувалася на півциклах, і після 10 циклів досягла значень у півциклі «а» – 0,6 мм, а в напівциклі «б» – 0,62 мм.

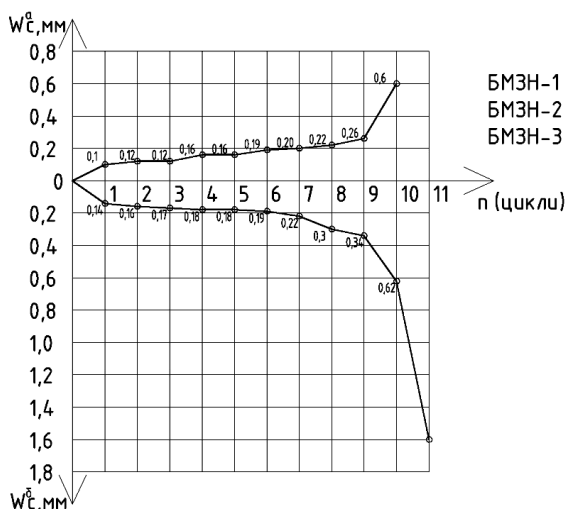


Рис. 4. Зміна ширини розкриття нормальних тріщин балок за дії знакозмінних навантажень за рівня

$h = 0,6$ (середні значення 3-х балок). ($W_{C(cm)}^{(a)}$ – ширина розкриття тріщин на півциклі «а», $W_{C(cm)}^{(b)}$ – ширина розкриття тріщин на півциклі «б»)

Висновки. На основі проведених експериментальних досліджень роботи двопролітних залізобетонних балок за дії малоциклового повторних і знакозмінних навантажень бачимо, що зазначені навантаження суттєво впливають на напружено-деформований стан балок і на характер розвитку тріщин і ширину їх розкриття порівняно з однозначним навантаженням. За дії малоциклового повторних навантажень спостерігаємо стабілізацію розкриття тріщин за рівня навантаження $h = 0,6$ і незначного їх закриття за рівня навантаження $h = 0,3$, а подальший розвиток тріщин спостерігали лише за збільшення навантаження до руйнування. За дії знакозмінних навантажень спостерігали коротку стабілізацію після 4-го циклу. Подальше малоциклове знакозмінне навантаження після 6-го циклу вплинуло на значення ширини розкриття нормальних і похилих тріщин. Збільшення ширини розкриття тріщин відбулося через порушення структури бетону, порушення щеплення арматури з бетоном у місцях виникнення тріщин і через зменшення жорсткості перерізів і збільшення їх деформативності. Усі ці зміни розвитку і ширини розкриття тріщин необхідно враховувати в розрахунках конструкцій, які у процесі експлуатації зазнають таких навантажень, хоча для цього необхідно провести додаткові дослідження для подальшого накопичення експериментальних даних.

Бібліографічний список

1. Масюк Г. Х., Бабич В. С. Експериментальні дослідження перерозподілу зусиль в двох пролітних нерозрізних залізобетонних балках при повторних навантаженнях. *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 збірномонолітних нерозрізних балках при дії повторних навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. пр. Рівне: УДУВГП, 2003. Вип. 9. С. 303-310.
3. Бабич С. М., Ільчук Н. І. Міцність і деформативність важкого бетону при малоциклового стисненні. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. пр. Рівне: УДУВГП, 2003. Вип. 9. С. 166-173.
4. Дорофеев В. С., Каршук В. М., Крантовская Е. Н. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок. Одесса: Эвен, 2010. 175 с.

5. Дорофеев В. С., Карпюк В. М., Крантовская Е. Н., Бреднёв А. М. Деформативность материалов неразрезных железобетонных балок. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2010. Вип. 38. С. 246-254.

6. Дорофеев В. С., Карпюк В. М., Крантовська О. М. Тріщиностійкість нерозрізних балок. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія і практика будівництва*. 2007. № 600. С. 92-100.

Масюк Г., Юшук О.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАЛОЦИКЛОВИХ ПОВТОРНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА РОЗВИТОК ТРІЩИН НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

Подано результати експериментальних досліджень роботи двопролітних нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і малоциклових знакозмінних навантажень. Проаналізовано роботу випробуваних балок і зміну їх напружено-деформованого стану від початку завантажень аж до руйнування. Аналіз показав, що напружено-деформований стан, тріщиностійкість і деформативність залізобетонних нерозрізних двопролітних балок за дії малоциклових повторних і малоциклових знакозмінних навантажень суттєво відрізняється від таких самих балок, що випробовують одноразове статичне навантаження. Дія зазначених навантажень на експериментальні зразки не тільки зменшує їх несучу здатність, а й знижує тріщиностійкість, збільшує деформативність, ширину розкриття тріщин і прогини.

На основі проведених експериментальних досліджень роботи двопролітних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень бачимо, що зазначені навантаження суттєво впливають на напружено-деформований стан балок і на характер розвитку тріщин та ширину їхнього розкриття порівняно з однозначним навантаженням. За дії малоциклових повторних навантажень спостерігаємо стабілізацію розкриття тріщин за рівня навантаження $h = 0,6$ і незначного їхнього закриття за рівня навантаження $h = 0,3$, а подальший розвиток тріщин спостерігали лише за збільшення навантаження до руйнування. За дії знакозмінних навантажень спостерігали коротку стабілізацію після 4-го циклу. Подальше малоциклове знакозмінне навантаження після 6-го циклу вплинуло на значення ширини розкриття нормальних і похилих тріщин. Збільшення ширини розкриття тріщин відбулося через порушення структури бетону, порушення зчеплення арматури з бетоном у місцях виникнення тріщин і через зменшення жорсткості перерізів і збільшення їхньої деформативності. Усі ці зміни розвитку і ширини розкриття тріщин необхідно враховувати в розрахунках конструкцій, які у процесі експлуатації зазнають таких навантажень, хоча для цього необхідно провести додаткові дослідження для подальшого накопичення експериментальних даних.

Ключові слова: залізобетонні двопролітні балки, малоциклові повторні і знакозмінні навантаження, тріщиностійкість, ширина розкриття тріщин.

Masyuk H., Yushchuk O.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF SMALL CYCLIC REPETITIVE AND SIGN-LOADED LOADS ON THE DEVELOPMENT OF CRACKS OF INDISTINGUISHABLE REINFORCED CONCRETE BEAMS

In the given article the results of experimental researches of the work of two-pass non-separable reinforced concrete beams under the influence of low-cyclic repetitive and small-cycle alternating loads are given. The work of the tested beams and the change of their stress-strain state from the beginning of loading up to destruction have been analyzed. The analysis showed that the stress-strain state, crack resistance and deformability of reinforced concrete indistinguishable two flying beams for the effects of low-cyclic repetitive and small-cycle alternating loads significantly differ from the same beams, experiencing a one-time static load. The effect of the above loads on experimental samples not only reduces their bearing capacity, but also reduces crack resistance, increases deformability, width of crack opening and deflection.

With few cyclic repetitive loads on the prototype, the bearing capacity decreased by 8-10 %, the width of the opening increased for ten cycles of low cycles of repeated loads with the upper level $h = 0,6$ and lower $h = 0,3$ by 15-18 % compared with the prototype samples, loaded with a one-time static load up to $h = 0,6$, deflections respectively increased by 13 %. As for the beams tested by the cyclic semicircular load-shifting levels of $h = 0.6$ in semicircles "a" and "b", the change of parameters corresponded to the following value in these beams: carrying capacity decreased by 16-18 %; the width of the crack opening increased by 80-85 %, on the half-cycles "a" and "b"; the deflections increased by 40 %. All these changes of the stress-strain state in the two-pass reinforced concrete beams under the influence of low-cyclic repetitive and low-cycle alternating loads are due to the violation of the structure of the concrete due to the formation of microcracks and the violation of the adhesion of reinforcement with concrete. That is, there is a certain fatigue of materials in the most loaded sections of the structure. This is especially true for constructive elements undergoing a few cyclic alternating loads, even at operational levels $h = 0.6$. If a detailed analysis of the change in the parameters of the stress-strain state, then after the first few cycles this change is noticeable.

Key words: reinforced concrete double-conductor beams, small-cycle repeated and sign-loaded loads, crack resistance, width of opening of cracks.

Стаття надійшла 13.03.2018.