



Савицька О. В., к.е.н., доцент, Савицький В. В., к.т.н., доцент
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.v.paharenko@nuwm.edu.ua ;
v.v.savickiy@nuwm.edu.ua)

ВПЛИВ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ І ДОВАНТАЖЕНЬ НА ПРОГИНИ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

Описано результати експериментальних досліджень прогинів збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок з ненапруженими стиками двох видів за дії повторних (малоциклових) навантажень різних рівнів. Розкрито питання впливу повторних навантажень та на роботу балок. Встановлено вплив довантаження понад експлуатаційний рівень на прогини балок.

Ключові слова: залізобетонні балки; збірно-монолітний залізобетон; повторні навантаження; прогини; бетон; арматура.

Вступ. Залізобетонні балки широко застосовуються в будівельній практиці. Вони входять до складу різноманітних будівель і споруд. Особливе місце займають нерозрізні залізобетонні балки, оскільки в них найбільш раціонально використовуються бетон і арматура. За рахунок об'єднання збірних елементів при монтажі в статично невизначені системи можна підвищити міцність, жорсткість і тріщиностійкість залізобетонних балок. Такі збірно-монолітні балки мають чимало переваг порівняно зі збірними та монолітними.

Залізобетонні нерозрізні збірно-монолітні балки широко використовуються як ригелі в складі плоских перекриттів та покриттів виробничих та цивільних будівель, спеціальних інженерних споруд (прольотних мостових конструкцій, естакад, резервуарів, газгольдерів, силосних корпусів і градирень великого діаметру), в склепінчастих і купольних ребристих перекриттях при великих навантаженнях, в підземних спорудах, а також як багатопрольотні підкранові балки [1, С. 22].

Збірно-монолітні балки є оптимальним поєднанням збірних та монолітних елементів, оскільки забезпечується їх спільна робота, а витрати металу і бетону в багатьох випадках не перевищують витрат матеріалів на виготовлення аналогічних монолітних балок.

На перекриття та покриття виробничих, громадських, житлових будівель, інженерних споруд, до складу яких входять нерозрізні збірно-монолітні залізобетонні балки, в більшості випадків діють малоциклові повторні тимчасові навантаження, які можна розділити на повторні тривалі і повторні короткочасні [2, С. 15].

З огляду на вищенаведене, поставлена така **мета роботи**: встановити вплив повторних навантажень і довантажень на прогини збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок.

Методика досліджень. Для виготовлення зразків використовували важкий бетон класів С15/20 і С20/25.

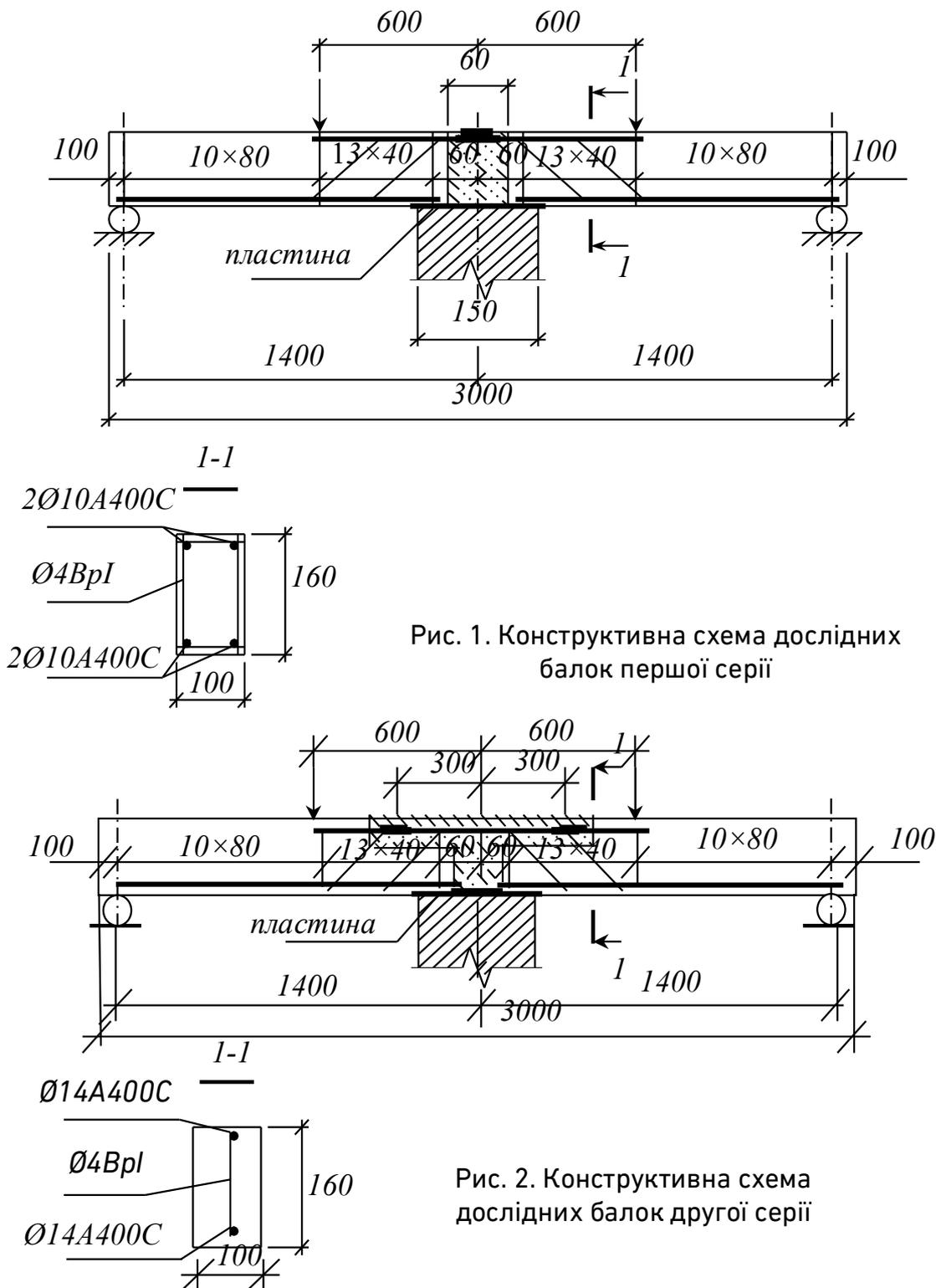
Для балок першої серії зі стиком над опорою застосовувалась опорна і пролітна арматура класу А500С 2Ø10 мм (рис. 1), стик арматури виконувався з накладками. Використовувалось по два стержні поздовжньої арматури як над опорою, так і в прольотах. Для поперечного армування застосовувався арматурний дріт класу В500 2Ø4 мм з кроком 8 см. На приопорних ділянках (до точок прикладання навантаження) крок поперечної арматури зменшувався до 4 см шляхом встановлення додаткових стержнів, а також влаштовувались відігнуті стержні (хомути). Поздовжні й поперечні стержні об'єднувались в просторовий каркас, а похилі стержні встановлювались додатково. До арматурних стержнів біля середньої опори приварювались пластини розміром 10×10 см з листової сталі товщиною 4 мм, які потім об'єднувались спільною опорною пластиною розміром 12×20 см товщиною 4 мм. Балка спочатку бетонувався в прольотах, потім випуски арматури зварювались за допомогою накладок і стик шириною 6 см замонолічувався (після зміцнення на протязі 28 діб основного бетону). Ширина середньої опори становила 15 см.

Для балок другої серії застосовувалась опорна арматура класу А500С 1Ø14 мм (рис. 2), стик арматури виконувався за допомогою зварювання з накладками. Встановлювався один стержень опорної арматури діаметром Ø14 мм. Для пролітної арматури також застосовувався один стержень арматури класу А500С Ø14 мм. Поперечне армування виконувалось аналогічно до балок першої серії. Середня опора мала ширину 15 см. Для випробовування двопролітних збірно-монолітних нерозрізних балок у якості силової рами використали гідравлічний прес ПГ – 200, на базі якого була змонтована спеціальна установка (рис. 3). Для цього на нижню опорну плиту преса вкладалася зварена з двох швелерів опорна балка, на якій закріплювались середня нерухома опора та шарнірно-рухомі крайні опори.

В якості крайніх опор використовували кільцеві динамометри, які дали змогу в процесі випробувань вимірювати опорні реакції. Між



навантажувальною траверсою і верхньою фіксованою плитою преса розташовували гідравлічний домкрат і кільцевий динамометр, за допомогою якого визначали повне навантаження на балку (див. рис. 3).



Тиск у домкраті створювали насосною станцією, по манометру якої дублювали визначення навантаження. Балки випробовували як двопролітні з навантаженням двома зосередженими силами, які прикладалися на відстані 60 см від центра нерухокої опори (див. рис. 1, 2). Навантаження балок 1Б-1, 2Б-1 та 3Б-1 здійснювали одноразово короткочасно до руйнування. Зосереджені сили прикладали ступенями. На кожному ступені навантаження здійснювались витримки протягом 10–15 хвилин, під час яких знімалися відліки по приладам, виконувався візуальний огляд балок, фіксувався характер тріщиноутворення. Балки 1Б-2, 2Б-2 і 3Б-2 піддавались повторним короткочасним навантаженням, рівень яких складав приблизно 60% від руйнівного, яке визначалося шляхом випробовування балок 1Б-1, 2Б-1, 3Б-1.

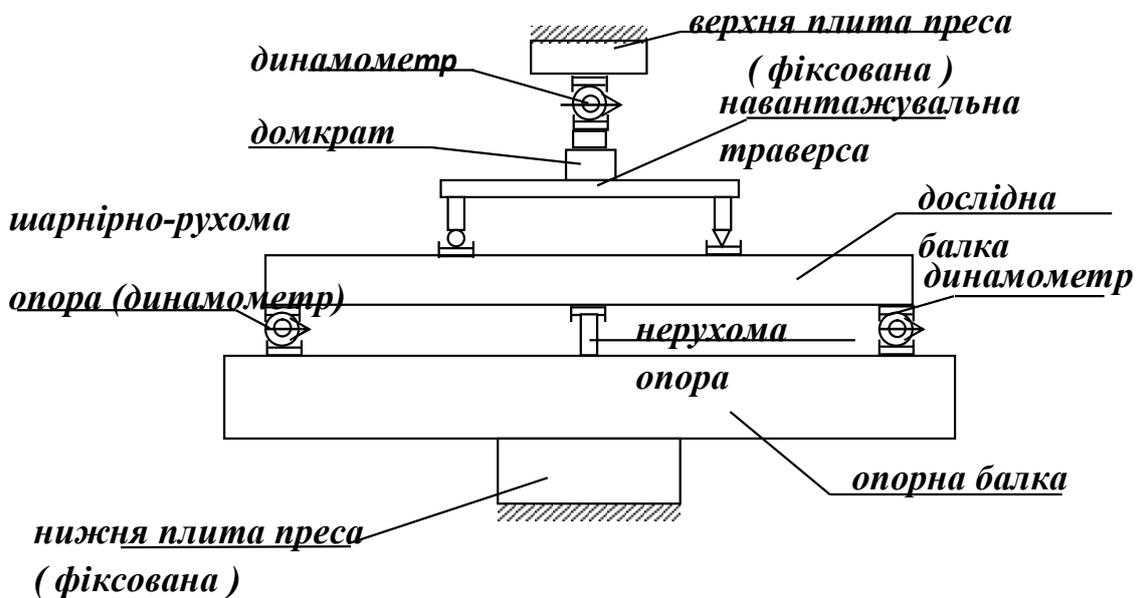


Рис. 3. Конструктивна схема установки для випробування балок

Рівень відносного навантаження був вибраний таким, щоб якнайближче імітував дію навантаження в процесі реальної експлуатації балок. Навантаження й розвантаження в циклах здійснювали ступенями. На балки 1Б-2, 2Б-2, 3Б-2 кожної серії навантаження повторювалось десять циклів, а на одинадцятому напівциклі вони були довантажені до руйнування.

У процесі експлуатації конструкції в певний момент часу можуть виявитись перевантаженими порівняно з експлуатаційним рівнем (непередбачені навантаження, ремонтні роботи, землетруси



тощо), тому балки Б-3 кожної серії на дев'ятому й десятому циклах було довантажено до рівня 0,8 від руйнівного, а на одинадцятому доведено до руйнування. Балки 1Б-4, 2Б-4 навантажувались до рівня 0,8 на сьомому і восьмому циклах, а на дев'ятому і десятому циклах рівень навантаження понижався до експлуатаційного, щоб виявити відмінності в роботі елементів до і після перевантажень.

В процесі випробовування балок вимірювались прогини балок під силами та на відстані 40 см від крайніх опор за допомогою індикаторів годинникового типу ИЧ-10М з ціною поділок 0,01 мм. В процесі навантаження балок фіксували показники вимірювальних приладів до навантаження та на кожному прикладеному ступені. Всі балки були доведені до руйнування.

Вплив повторних навантажень на прогини балок

Величини прогинів балки 1Б-1 в точках під зосередженими силами змінювались пропорційно навантаженню, приріст величини прогинів незначно збільшувався на кожному ступені порівняно з попереднім аж до моменту руйнування. Подібним чином відбувалася зміна величини прогинів у точках посередині між зосередженими силами та крайніми опорами.

Величина прогинів на циклах навантаження балки 1Б-2 змінювалась наступним чином: на першому циклі прогини збільшувались з незмінно зростаючим приростом. При розвантаженні спостерігались суттєві залишкові величини прогинів, тобто балка не вертається у своє початкове прямолінійне положення. На другому циклі величини прогинів збільшувались практично прямо пропорційно до навантаження, тобто з незмінним приростом. Така зміна величини прогинів спостерігалась аж до останнього циклу, з поступовим збільшенням величин максимальних прогинів та поступовим зменшенням залишкових величин прогинів на циклах від. На циклі руйнування при збільшенні навантаження вище рівня циклового приріст величини прогинів збільшується аж до моменту руйнування, тобто крива прогинів напрямлена увігнутістю до осі прогинів на діаграмі. Зменшення величин максимальних прогинів балки 1Б-2 порівняно з балкою 1Б-1 пов'язане з суттєвим зниженням залишкових величин прогинів на циклах навантаження.

Величини прогинів балки 1Б-3 на першому циклі змінювались майже прямо пропорційно навантаженню, тобто приріст зростання величини прогинів на кожному ступені навантаження незначно збільшувався. При розвантаженні спостерігаються суттєві залишкові величини прогинів. Але вже на другому циклі величини прогинів

змінюються практично прямо пропорційно навантаженню, максимальні величини прогинів на циклі значно зменшились. До п'ятого циклу при збільшенні максимальних величин прогинів зменшуються майже до нуля їх залишкові величини. На циклі довантаження збільшується приріст зростання значень прогинів і виникають суттєві залишкові величин прогинів при розвантаженні. Але вже на наступному циклі довантаження вони різко зменшуються і відновлюється майже лінійна залежність між прогинами та навантаженням. На останньому циклі знову спостерігаємо збільшення приросту величини прогинів від ступеня, що відповідає рівню довантаження, аж до моменту руйнування. Зменшення цих величин порівняно з відповідними для балок 1Б-1 та 1Б-2 пов'язане зі зменшенням залишкових величин прогинів на циклах навантаження та довантаження.

Величина прогинів на першому циклі навантаження балки 1Б-4 змінювалась із постійним зростанням приросту на ступенях. При розвантаженні мали місце суттєві залишкові величини прогинів, які на другому циклі різко зменшились, а залежність між навантаженням та величиною прогинів стала практично лінійною. Також значно зменшилися максимальні значення прогинів. До п'ятого циклу відбувалося повільне зростання максимальних величин прогинів, а залишкові їх значення практично зменшились до нуля. На циклі довантаження поновилося збільшення приросту величини прогинів, суттєво збільшилося значення залишкового прогину. На наступному циклі довантаження відбулося зменшення максимальних величин прогинів. На циклі навантаження до попереднього рівня після довантаження спостерігалось незначне збільшення значення максимального прогину порівняно з циклом, що передував довантаженню при майже повній відсутності залишкових прогинів. Отже, довантаження зменшило жорсткість балки. При навантаженні до руйнування відбулося значне збільшення величини приросту прогинів зі ступеня, що відповідає рівню довантаження, до моменту руйнування (рис. 4).

Величини прогинів балки 2Б-1 змінювались зі збільшенням приросту аж до руйнування.

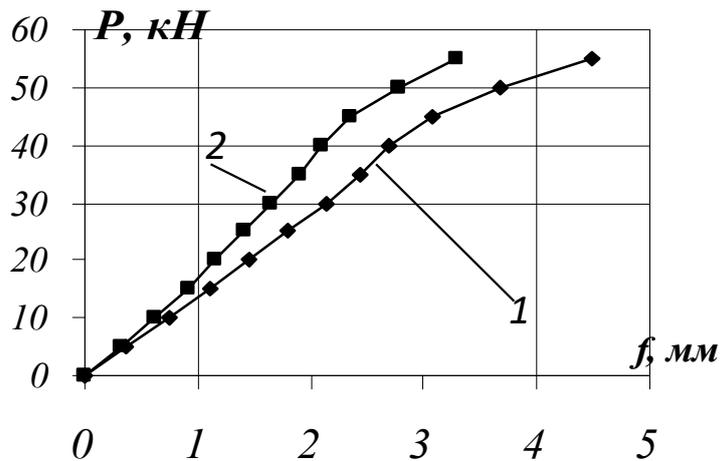


Рис. 4. Зміна прогинів на циклах руйнування балок першої серії (на прикладі балки 1Б-4): 1 – під зосередженими силами; 2 – посередині між зосередженими силами та крайніми опорами

Закономірності зміни величини прогинів балки 2Б-2 були такими ж, як і для балок першої серії за відповідного режиму навантаження. Тобто, на другому циклі спостерігається стрімке зменшення величин максимальних прогинів і їх залишкових значень порівняно з першим. До десятого циклу максимальні величини прогинів поступово зростають, а їх залишкові значення зменшуються майже до нуля. Одночасно знижується приріст значень прогинів. На ступенях навантаження вище рівня циклічного і до руйнування спостерігалось збільшення приросту величин прогинів. При руйнуванні максимальні величини прогинів, визначені за екстраполяцією, були меншими, ніж відповідні значення для балки 2Б-1. Це пояснюється впливом повторних навантажень (поступовим зменшенням залишкових величин прогинів на циклах).

Величини прогинів балки 2Б-3 змінювались з закономірностями, які спостерігались в роботі балок першої серії при такому ж режимі навантаження. На другому циклі відбулося різке зменшення максимальних величин прогинів та їх залишкових значень. До п'ятого циклу поступово зменшувався приріст величини прогинів на ступенях, а величини прогинів поступово збільшувались. При довантаженні максимальні і залишкові величини прогинів суттєво зросли. А вже на наступному циклі довантаження вони зменшились. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відновилося збільшення приросту величин прогинів. Зменшення величини прогинів пов'язане з впливом повторних

навантажень – зменшення залишкових прогинів на циклах навантаження та довантаження (рис. 5).

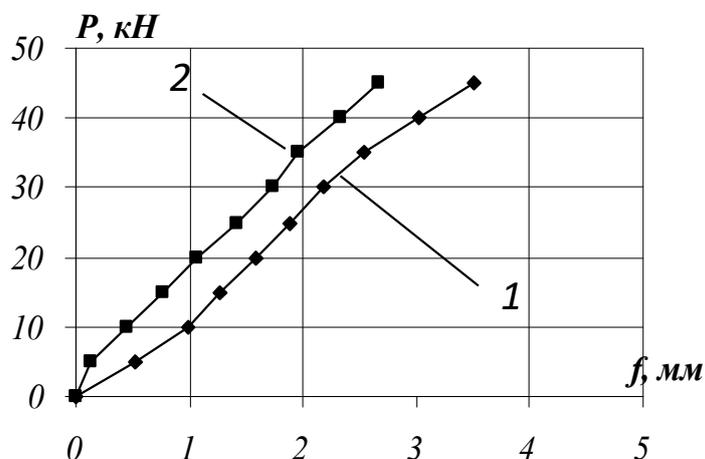


Рис. 5. Зміна прогинів на циклах руйнування балок другої серії (на прикладі балки 2Б-3): 1 – під зосередженими силами; 2 – посередині між зосередженими силами та крайніми опорами

Характер зміни величин прогинів балки 2Б-4 був таким самим, як і для балки попередньої серії при такому ж режимі навантаження. На першому циклі він був практично лінійним. На другому циклі максимальні величини прогинів збільшились, а залишкові зменшились. Після довантаження при навантаженні до попереднього рівня величини прогинів дещо збільшились, тобто жорсткість балки після довантаження зменшилась, залишкові величини прогинів практично не змінились. На останніх ступенях навантаження до руйнування відновився нелінійний характер зміни величини прогинів.

Висновки

1. При повторних навантаженнях рівня 60% від руйнівного на п'ятому-шостому циклах відбувається стабілізація значень прогинів.
2. Повторні навантаження рівня 60% від руйнівного збільшують повні прогини балок на 15–20%.
3. Довантаження до рівня 80% від руйнівного збільшують повні прогини балок на 20–30%.

1. Бабич Є. М., Крусь Ю. О. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень : монографія. Рівне : РДТУ, 1999. 119 с.
2. Бабич Є. М., Крусь Ю. О., Кухнюк О. М. Розрахунок згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень : рекомендації. Рівне : РДТУ, 2001. 31 с.
3. Бабич Є. М., Бабич В. Є., Савицький В. В. Розрахунок нерозрізних залізобетонних балок із використанням деформаційної моделі : рекомендації. Рівне, 2005.
4. Савицький В. В. 298



Експериментальні дослідження роботи збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок при дії повторних навантажень. *Будівельні конструкції* : зб. наук. праць. К. : НДІБК, 2003. С. 90–96.

REFERENCES:

1. Babych Ye. M., Krus Yu. O. *Betonna ta zalizobetonna elementy v umovakh malotsyklovykh navantazhen* : monohrafiia. Rivne : RDTU, 1999. 119 s.
2. Babych Ye. M., Krus Yu. O., Kukhniuk O. M. *Rozrakhunok zghynalnykh zalizobetonnykh elementiv pry dii malotsyklovykh navantazhen* : rekomendatsii. Rivne : RDTU, 2001. 31 s.
3. Babych Ye. M., Babych V. Ye., Savytskyi V. V. *Rozrakhunok nerozriznykh zalizobetonnykh balok iz vykorystanniam deformatsiinoi modeli* : rekomendatsii. Rivne, 2005.
4. Savytskyi V. V. *Eksperymentalni doslidzhennia roboty zbirno-monolitnykh nerozriznykh zalizobetonnykh balok pry dii povtornykh navantazhen*. *Budivelni konstruktsii* : zb. nauk. prats. K. : NDIBK, 2003. S. 90–96.

Savytska O. V., Candidate of Economics (Ph.D.), Associate Professor, Savytskyi V. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, o.v.paharenko@nuwm.edu.ua ; v.v.savickiy@nuwm.edu.ua)

INFLUENCE OF REPEATED LOADS AND ADDITIONAL LOADS ON DEFLECTIONS OF PRECAST-MONOLITHIC NON-SEGMENTED REINFORCED CONCRETE BEAMS

Reinforced concrete continuous precast-monolithic beams are widely used as crossbars in flat floors and coverings of industrial and civil buildings, special engineering structures (span bridge structures, overpasses, tanks, gas holders, silo buildings and large-diameter cooling towers), in vaulted and domed ribbed floors under heavy loads, in underground structures, and also as multi-span crane beams. In most cases, low-cycle repeated temporary loads act on floors and coverings of industrial, public, residential buildings, and engineering structures, which include continuous precast-monolithic reinforced concrete beams, which can be divided into repeated long-term and repeated short-term. In view of the above, the following goal of the work is set: to establish the effect of repeated loads and additional loads on the deflections of continuous precast-monolithic reinforced concrete beams. For the beams of the first series with a joint above the support, support and span reinforcement was used,

the joint of the reinforcement was performed with overlays. Two longitudinal reinforcement rods were used both above the support and in the spans. For transverse reinforcement, reinforcing wire was used. In the support areas (to the points of load application), the pitch of the transverse reinforcement was reduced by installing additional rods, and bent rods (clamps) were also arranged. For the beams of the second series, supporting reinforcement was used, the reinforcement joint was performed by welding with overlays. One supporting reinforcement rod was installed. For the span reinforcement, one reinforcement rod was also used. Transverse reinforcement was performed similarly to the beams of the first series. Ring dynamometers were used as extreme supports, which made it possible to measure support reactions during the tests. A hydraulic jack and a ring dynamometer were placed between the loading crossbar and the upper fixed plate of the press, with the help of which the full load on the beam was determined. The pressure in the jack was created by a pumping station, the pressure gauge of which was used to duplicate the load determination. The beams were tested as double-span with loading by two concentrated forces. During operation, the structures may at some point be overloaded compared to the operational level (unforeseen loads, repair work, earthquakes, etc.), therefore, the 3 beams of each series were loaded to a level of 0.8 from the destructive level in the ninth and tenth cycles, and were brought to destruction in the eleventh. Beams 4 were loaded to a level of 0.8 in the seventh and eighth cycles, and in the ninth and tenth cycles the load level was reduced to the operational level in order to identify differences in the operation of the elements before and after overloads. During the beam testing, the beam deflections were measured under forces and at a distance of 40 cm from the extreme supports using clock-type indicators. With repeated loads of 60% of the destructive level, the deflection values stabilize in the fifth and sixth cycles. Repeated loads of 60% of the destructive level increase the total deflections of the beams by 15–20%. Additional loading to a level of 80% of the destructive level increases the total deflections of the beams by 20–30%.

Keywords: reinforced concrete beams; precast reinforced concrete; repeated loads; deflections; concrete; reinforcement.