

УДК 624.012.044

**МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОБОТА ЗГИНАЛЬНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ ЗА
МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВИСОКИХ РІВНІВ**

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РОБОТА ИЗГИБАЕМЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СО СМЕШАННЫМ
АРМИРОВАНИЕМ ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЖЕНИЯХ
ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ**

**METHOD OF STUDY AND WORK OF CONCRETE CONCRETE
ELEMENTS BETWEEN MIXED ARMY FOR MALOCYCLE LOADS OF
HIGH LEVELS**

**Панчук Ю.М., к.т.н., доцент, (Національний університет водного
господарства та природокористування м. Рівне)**

**Панчук Ю.М., к.т.н., доцент, (Национальный университет водного
хозяйства и природопользования г. Ривне)**

**Panchuk Y.M., candidate of technical sciences, (National university of water
management and nature resources use, Rivne)**

**Наведені методика та результати досліджень згинальних залізобетонних
балок зі змішаним армуванням. Напружено-деформований стан балок
визначається значенням верхнього відносного рівня і кількістю циклів
навантаження. Виявлено три стадії деформування зразків**

**Приведены методика и результаты исследований изгибающих
железобетонных балок со смешанным армированием. Напряженно-
деформированное состояние балок определяется значением верхнего
относительного уровня и количеством циклов нагружения. Выведено
три стадии деформирования образцов.**

**In real conditions, reinforced concrete constructions of buildings and
structures are exposed to repeated loads. The action of this type of load can
cause in the design of the destruction of a special form, in which deformation
of structures increases indefinitely with repeated loads that do not exceed a
one-time destructive load. In order to study the influence of low-cycle static
loads of high levels on the strength and deformation characteristics of
reinforced concrete bending elements with mixed reinforcement, prototype
samples of beams of a rectangular section measuring 200x100 mm, 2000 mm**

in length, were tested. According to the results of the stress-strain state of experimental beam samples, the following conclusions can be drawn:

- the work of beams with mixed reinforcement for low-cycle loads of high levels is determined by the value of the upper relative level and the number of load cycles. The work of beams can be characterized by three stages: "squeezing out" deformations - 1st stage; stabilization and elastic work - 2nd stage; Decomposition and destruction - Stage III. For the beams tested at the upper level of loading $\eta_{top} = 0,98$ the first two stages were not detected;

- the work of concrete consisted in accumulation of damages in the compressed zone both at loading and unloading stages, and the cyclic loading resulted in a three hundred duct deformation of the compressed zone of concrete;

- the deformation of the stretched armature was determined by the value of the upper relative load level η_{top} , there were few signs of the three stages of deformation;

- low-cycle loads slightly influenced the change in the height of the compressed concrete zone, with the increase in the number of load cycles, its value slowly decreased;

- the main deformation changes (deflections) occurred in the first 3-5 cycles of little cyclic loading;

- low-cycle loads had a negative impact, increasing the loss of previous tension reinforcement;

- the slipping of reinforced concrete reinforcement in the ends of the beams was not detected;

- a definite boundary of low-cycle tensile beams, the value of which was 0.891;

- samples of beams were destroyed due to the achievement of low cycle fatigue, destruction occurred in the normal section at stresses in the working armature equal to the boundary of fluidity, as well as the crushing of the compressed zone of concrete.

Ключові слова:

Залізобетон, змішане армування

Железобетон, смешенное армирование

Reinforced concrete, mixed reinforcement

Вступ. В реальних умовах залізобетонні конструкції будівель та споруд в більшості випадків піддані дії повторних навантажень. Такі навантаження відбуваються при вітрових, снігових, технологічних та інших впливах. Дія такого виду навантажень може викликати в конструкції руйнування особливого виду, при якому деформації конструкцій необмежено зростають при повторних навантаженнях, які не перевищують одноразового руйнівного навантаження. Вплив малоциклового навантаження високих рівнів на

міцнісні і деформативні характеристики залізобетонних конструкцій в нормативних документах не враховується.

Мета. Робота залізобетонних згинальних елементів зі змішаним армуванням за малоциклових навантажень високих рівнів практично не вивчалась [1], проведені лише деякі випробування згинальних елементів з частковим попереднім напруженням [2]. З метою вивчення впливу малоциклових статичних навантажень високих рівнів на міцнісні та деформативні характеристики залізобетонних згинальних елементів зі змішаним армуванням були виготовлені і випробувані дослідні зразки балок прямокутного перерізу розміром 200x100 мм, довжиною 2000 мм.

Основна частина. Дослідні балки були армовані напруженою арматурою класу А-IIIв діаметром 12 мм ($\sigma_{02} = 850,73$ МПа; $\sigma_{spu} = 895,0$ МПа; $E_{sp} = 1,949 \times 10^5$ МПа) та ненапруженою арматурою класу А-III діаметром 10 мм ($\sigma_y = 556,95$ МПа; $\sigma_{su} = 708,85$ МПа, $E_s = 2,01 \times 10^5$ МПа), розташованою в середині прольоту і обірваною згідно епюри матеріалів. Зміцнення арматури класу А-IIIв здійснювали з фіксацією зусиль та деформацій арматури. Опорні частини балок армували плоскими каркасами, які виготовляли з дроту класу Вр-I діаметром 5 мм. В торцях встановлювали сітки з дроту цього ж класу для запобігання можливого зминання бетону від зусиль попереднього напруження після відпуску арматури. Повний відсоток армування балок складав $\mu = 1,15\%$. Коефіцієнт змішаного армування при цьому складав $K_p = 0,686$. Всього було виготовлено 12 балок, дві з яких були випробувані дією одноразового статичного навантаження до руйнування, а 10 балок – на дію малоциклового навантаження. Величину верхнього рівня навантаження приймали $\eta_{top} = 0,92 \dots 0,98 M_u$, нижній рівень для всіх балок приймали однаковим $\eta_{low} = 0$.

Балки виготовляли в металевих формах з механічним натягом напруженої арматури на упори. Після проявлення всіх втрат напруга в напружуваній арматурі склала 642,48 МПа.

Випробування балок виконували за схемою «чистого згину» у віці 240...330 діб для того, щоб виключити зміну характеристик бетону в часі. Зосередженні сили до верхнього рівня навантаження прикладали в третинах прольоту з постійною швидкістю навантаження ступенями рівними 10% від очікуемого руйнівного навантаження. Аналогічно ступенями виконували розвантаження балки до нижнього рівня. Величина руйнівного згинального моменту M_u , яку визначили за результатами випробування двох балок, склала 2,08 тс·м. Кількість циклів навантаження визначали числом навантажень, які витримував зразок до руйнування.

Для вимірювання деформацій в середині прольоту балок наклеювались тензорезистори на бетоні з двох боків по висоті зразка з базою 50 мм, на напружуваній та не напружуваній арматурі - з базою 20 мм. Прогини балок в середині прольоту вимірювали прогиномірами бПАО ЛИСИ, крім того, для

фіксації зміщення балок на опорах встановлювали індикатори годинникового типу. Для вимірювання проковзування напруженої арматури в торцях балок встановлювали індикатори годинникового типу. Момент виникнення і розвитку тріщин фіксували візуально, ширину розкриття тріщин вимірювали мікроскопом МПБ-2. На кожному етапі навантаження-розвантаження ширину тріщин вимірювали на рівні розтягнутої арматури, при цьому фіксували довжину поширення і відстань між ними. При випробуваннях вивчали вплив верхнього рівня навантаження η_{top} та кількість циклів n на зміну деформацій бетону, напруженої та не напруженої арматури, прогинів, тріщин, а також проковзування напруженої арматури в бетоні.

Всі дослідні зразки балок, які були випробувані малоцикловими навантаженнями руйнувались внаслідок досягнення малоциклової втомленості, руйнування відбувалось за нормальним перерізом при напруженнях в робочій арматурі рівних границі текучості, а також дріблення стиснутого бетону. Характер руйнування проявився в необмеженому зростанні деформацій (прогину балок) з роздрібленням найбільш стиснутої грані бетону між зосередженими силами. Зруйнована частина стиснутого бетону мала вигляд пересіченою поздовжніми і поперечними тріщинами крихкої структури.

Випробування балок починали малоцикловим навантаженням з верхнім відносним рівнем $\eta_{top} = M/M_u = 0,98$. Три зразки, випробувані за цього рівня були зруйновані при кількості циклів навантаження 10,25 і 28. Далі при $\eta_{top} = 0,96$, дві балки вичерпали несучу здатність після 26 і 37 –ми циклів навантаження. При зниженні рівня до $\eta_{top} = 0,96$, дві балки працювали до руйнування на протязі 51 -60 –ти циклів. За найменшого рівня навантаження $\eta_{top} = 0,92$ було випробувано три зразки, при цьому руйнування однієї балки відбулося після 200 циклів навантаження, друга балка після 100 циклів навантаження була свідомо доведена до руйнування, результати третьої балки до відома не приймались, так як вона мала дефекти в стиснутій зоні бетону і зруйнувалась після 12-ти циклів навантаження.

За даними експериментальних досліджень малоциклової втомленості балок була отримана залежність:

$$\eta_{t,cyc} = 1 - 0,109(n_{cyc} - 1)/(65,122 + n_{cyc}) \quad (1)$$

де $\eta_{t,cyc}$ - верхній відносний рівень навантажень, за якого відбувається навантаження; n_{cyc} – кількість циклів навантажень, які витримував зразок до руйнування.

З залежності (1) визначена границя мало циклової втомленості балок, значення якої склало 0,891.

Отримані дослідним шляхом дані дозволяють судити про зміну деформацій стиснутого бетону і розтягнутої арматури в залежності від рівня і

кількості циклів навантаження. Є цікавим аналіз деформованого стану балки, яка працювала при навантаженнях з верхнім відносним рівнем $\eta_{top} = 0,92$ [3].

Основна зміна деформативних характеристик бетону і арматури відбувалась після перших трьох – п'яти циклів повторного навантаження. Так на першому циклі навантаження середні значення деформацій бетону, стиснутої зони і розтягнутої арматури склали: $\varepsilon_{bm} = 185,8 \cdot 10^{-5}$, $\varepsilon_{sp\ m} = 256,2 \cdot 10^{-5}$ і $\varepsilon_{sm} = 241,3 \cdot 10^{-5}$, а на п'ятому - відповідно: $\varepsilon_{bm} = 211,68 \cdot 10^{-5}$, $\varepsilon_{sp\ m} = 270,58 \cdot 10^{-5}$ і $\varepsilon_{sm} = 268,2 \cdot 10^{-5}$. Подальше збільшення кількості циклів до десяти – п'ятнадцяти привело лише до незначної зміни деформацій бетону і арматури, що свідчить про вибір пластичних деформацій і відповідає I-й стадії роботи елемента. Діапазон з 22-го 180-й цикли прикладання навантаження можна розглядати як стадію II, яка відповідає умовній стабілізації. Так на 20-ому циклі середні деформації стиснутого бетону і розтягнутої арматури склали $\varepsilon_{bm} = 240,3 \cdot 10^{-5}$, $\varepsilon_{sp\ m} = 257,0 \cdot 10^{-5}$ і $\varepsilon_{sm} = 233,8 \cdot 10^{-5}$, а на 180-му циклі ті ж деформації змінилися до значень - відповідно: $\varepsilon_{bm} = 271,9 \cdot 10^{-5}$, $\varepsilon_{sp\ m} = 286,5 \cdot 10^{-5}$ і $\varepsilon_{sm} = 221,35 \cdot 10^{-5}$. Після 180-го циклу до моменту руйнування (200-й цикл), відбувалось інтенсивне збільшення повних та залишкових деформацій, що свідчило про зменшення міцності бетону стиснутої зони, тобто про настання третьої стадії роботи.

Такі ж процеси трьох стадійного деформування бетону та арматури відбувались в балках, навантажених верхнім відносним рівнем $\eta_{top} = 0,94...0,96$. А в елементах, випробуваних при $\eta_{top} = 0,98$ перших двох стадій руйнування не виявлено. Внаслідок зростання деформацій бетону і арматури відбувалось накопичування руйнувань і наступило руйнування зразків.

Процес накопичення прогинів пов'язаний з впливом циклічного навантаження на деформації стиснутого бетону і розтягнутої арматури. Високі рівні циклічного навантаження приводять до інтенсивного зростання повних прогинів на протязі 5...10 циклів навантаження. Незалежно від значення верхнього рівня навантаження прогини мали тенденцію до стабілізації. Збільшення повних прогинів відбувалось за рахунок залишкових значень внаслідок зростання руйнувань бетону стиснутої зони і розтягнутої арматури за дії циклічного навантаження.

Для балки, підданої впливу навантажень з верхнім відносним рівнем $\eta_{top} = 0,92$ був відмічений трьох стадійний розвиток прогинів. Так, з 1-го по 5-й цикли відбувався уповільнений приріст максимальних і залишкових прогинів, величина яких на 5-ому циклі складала відповідно 15,4 і 3,2 мм (I-а стадія). Починаючи з 5-го до 180-й цикли балка працювала в II-й стадії, яка відповідала незначному приросту прогинів, на 170-му циклі прогини досягли величини 20,0 і 4,3 мм. При подальшому збільшенні кількості циклів навантаження до моменту руйнування було відмічене прискорене зростання прогинів (стадія III). В балках, випробуваних при рівнях навантаження $\eta_{top} = 0,94...0,96$ були виявлені ті ж особливості розвитку прогинів. Дослідні

елементи, піддані максимальним навантаженням $\eta_{\text{top}} = 0,98$, мали умовну стабілізацію прогинів з інтенсивним їх зростанням до моменту руйнування.

Малоциклові навантаження викликали негативний вплив на напружено-деформований стан в арматурі, що призвело до збільшення втрат попереднього напруження. У всіх балок, випробуваних малоцикловими навантаженнями високих рівнів, значна частина втрат попереднього напруження відбулася на перших двох – трьох циклах навантаження, далі із зростанням кількості циклів навантаження, напруження в арматурі продовжували незначно зменшуватись, і незадовго до руйнування зразків було відмічено невелике збільшення напружень в арматурі. Прилади, які були поставлені на напружуваній арматурі в торцях балок, не зафіксували проковзування арматури в бетоні із зростанням рівня і кількості циклів навантаження.

Висновки. Аналізуючи отримані результати напружено-деформованого стану дослідних зразків балок можна зробити наступні висновки:

1. Робота балок зі змішаним армуванням за малоциклових навантажень високих рівнів визначається значенням верхнього рівня і кількістю циклів навантаження. Роботу балок можна характеризувати трьома стадіями: «відтискування» деформацій – I-а стадія; стабілізації і пружної роботи – стаді II; розущільнення і руйнування – стадія III. Для балок випробуваних верхнім рівнем навантаження $\eta_{\text{top}} = 0,98$ перші дві стадії виявлені не були.

2. Робота бетону полягала в накопиченні пошкоджень в стиснутій зоні як на етапах навантаження, так і при розвантаженні, циклічні навантаження привели до тристадічного деформування стиснутої зони бетону.

3. Деформування розтягнутої арматури визначалось величиною верхнього рівня навантаження η_{top} , мало ознаки трьох стадій деформування.

4. Малоциклові навантаження незначно впливали на зміну висоти стиснутої зони бетону, із збільшенням кількості циклів навантаження величина її повільно зменшувалась.

5. Основні зміни деформацій (прогинів) відбулися на перших 3-5 циклах мало циклового навантаження.

6. Малоциклові навантаження чинять негативний вплив, збільшуючи втрати попереднього напруження арматури, які необхідно враховувати в розрахунках.

7. Проковзування напружуваної арматури в бетоні на торцях балок не виявлено.

8. Визначена границя малоциклової втомленості балок, значення якої склало 0,891.

9. Всі зразки балок руйнувались внаслідок досягнення малоциклової втомленості, руйнування відбувалось за нормальним перерізом при

напруженнях в робочій арматурі рівних границі текучості, а також дріблення стиснутого бетону.

1. Бабич Є.М., Борисюк О.П., Коцебчук П.П. Залізобетонні балки і плити зі змішаним армуванням. - Рівне: Вид-во УДАВГ, 1997. - 134 с.

2. Градюк И.И., Стасюк М.И. Раскрытие и закрытие трещин в изгибаемых элементах со смешанным армированием //Бетон и железобетон. - 1983. - №3. - с.39-40.

3. Бабич Е.М., Панчук Ю.Н. Экспериментальные исследования работы железобетонных балок со смешанным армированием при малоцикловых нагружениях высоких уровней / Международн. конф. «Инженерные проблемы современ. бет. и ж.б.». Минск, 1997. С.45-53.

4. Панчук Ю.М. Дослідження деформацій стиснутого бетону і розтягнутої арматури залізобетонних балок зі змішаним армуванням при малоциклових навантаженнях високих рівнів / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. Наук. статей. Вип.5. Рівне, 2000. С.226-235.

5. Панчук Ю.М. Деформативність згинальних залізобетонних елементів при короткочасних малоциклових навантаженнях високих рівнів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Тез. доп. міжнародн. наук. конф. –Рівне, 1996. –С. 105.

6. Бабич Є.М., Панчук Ю.М. Дослідження роботи балок зі змішаним армуванням при дії малоциклових навантажень високих рівнів // Тези доп. науков. конф. –Полтава, 1997. С.30-32.

7. Панчук Ю.М., Методика досліджень залізобетонних балок зі змішаним армуванням на вплив малоциклових навантажень високих рівнів // Тези доп. наук. – техн. конф. –Рівне 1996 –С.7.

1. Babych YE.M., Borysyuk O.P., Kotsebchuk P.P. Zalizobetonni balky i plyty zi zmishanyum armuvannyam. - Rivne: Vyd-vo UDAVH, 1997. - 134 s.

2. Gradyuk I.I., Stasyuk M.I. Raskrytiye i zakrytiye treshchin v izgibayemykh elementakh so smeshannym armirovaniyem //Beton i zhelezobeton. - 1983. - №3. - s.39-40.

3. Babich EM, Panchuk Yu.N. Experimental studies of the work of reinforced concrete beams with mixed reinforcement at low-cycle loads of high levels / International. Conf. "Engineering problems are modern. bet. and zh.b. ". Minsk.p.45-53.

4. Panchuk Yu.M. Research of deformations of compressed concrete and stretched reinforcement of reinforced concrete beams with mixed reinforcement with low cycle loads of high levels / Resource-saving materials, constructions, buildings and structures. Zb Science articles Vp.5 Rivne, 2000. p.226-23.

5. Panchuk YU.M. Deformatyvnist' z-hynal'nykh zalizobetonnykh elementiv pry kortkochasnykh malotsyklovykh navantazhennyakh vysokykh rivniv // Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy: Tez. dop. mizhнародn. nauk. конф. –Rivne, 1996. –S. 105.

6. Babych YE.M., Panchuk YU.M. Doslidzhennya roboty balok zi zmishanyum armuvannyam pry diyi malotsyklovykh navantazhen' vysokykh rivniv // Tezy dop. naukov. конф. –Poltava, 1997. S.30-32.

7. Panchuk YU.M., Metodyka doslidzhen' zalizobetonnykh balok zi zmishanyum armuvannyam na vplyv malotsyklovykh navantazhen' vysokykh rivniv // Tezy dop. nauk. – tekhn. конф. –Rivne 1996 –S.7.