

УДК 624.012.044

**МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ ЗА КОРОТКОЧАСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗГИБАЮЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ**

**METHOD AND RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CONCRETE CONCRETE MECHANISMS WITH MIXED ARMORATION FOR SHORT-DOWN LOADING**

**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 і результати експериментальних досліджень згинальних залізобетонних балок зі змішаним армуванням**

**Приведены методика и результаты экспериментальных исследований изгибающих железобетонных балок со смешанным армированием**

**The research of reinforced concrete beams with mixed reinforcement for short-term loading of the load was performed for the purpose of studying the stress-strain state, changes in the deflections of the middle of the passage, the dynamics of the crack opening and the possible slipping of the reinforced reinforcement in the concrete. Two samples of beams, 10x10x200 cm in size, reinforced with pre-stressed reinforcement with a diameter of 12 classes A-III<sub>v</sub>, and a non-elastic armature of A-III class 12 diameter, placed in the middle of the span and torn in accordance with the material of the material, were made for the research. The transverse and longitudinal mounting fittings are made with a diameter of 5 mm from VR-I. The tests were performed according to the scheme of a single-span hinged beam, loaded in the tertiary**

span by two equal lumped forces. Investigation of the stress-strain state of beams samples revealed the following features of their work:

- up to the time of the occurrence of cracks in concrete ( $\eta \leq 0,5$ ) there was a slight development of deformations of concrete and stretched armature. Concrete of the compressed and stretched zone, as well as the working fittings deformed together;

- the appearance of normal cracks at  $\eta > 0,5$  redistributed the effort from the concrete of the extended zone, which crossed the cracks, to the working armature, which led to rapid growth of deformations and bending of beams, as well as to reduce

- in the range of stresses  $0.5 \leq \eta \leq 0.7$  there was observed a slower growth of concrete deformations, as well as a decrease in its height in the compressed zone;

- at a voltage level  $\eta > 0,7$  there was accelerated development of deformations of concrete, stretched armature and deflections, there was a sharp decrease in the height of the compressed zone of concrete, indicating the onset of the process of fracture and fluidity of the fittings;

- slipping of reinforced concrete in concrete was not detected.

**Ключові слова:**

Залізобетон, змішане армування, експериментальні дослідження.

Железобетон, смешенное армирование, экспериментальные исследования.

Reinforced concrete, mixed reinforcement, research

Якість будівництва характеризується сукупністю показників надійності проектних рішень, застосованих будівельних конструкцій, матеріалів і виробів, а також виконання будівельно-монтажних робіт. Для того, щоб усунути виникнення серйозних дефектів в процесі зведення і експлуатації будівель та споруд, їх розрахунки повинні базуватись на реальних розрахункових схемах. Наближені методи розрахунку не віддзеркалюють реальної роботи конструкції, в результаті окремі елементи мають надмірні запаси міцності, а деяких частинах конструкції з'являються дефекти.

В зв'язку з цим найбільш прогресивний напрямок розрахунку окремих конструкцій, а також будівель і споруд в цілому, побудований на розрахункових схемах, прийнятий без спотворення реальної конструкції. Такий підхід до рішення складних інженерних задач не може обмежуватися лише теоретичним шляхом, а повинен базуватись на перевірених експериментальних даних. Експеримент виявляє недоліки теорії, визначає фактичний розподіл деформацій в різних елементах конструкції, як на стадії пружної роботи, так і при розвитку тріщин. Для вивчення реальної роботи залізобетонних елементів зі змішаним армуванням були проведені експериментальні дослідження зразків балок на вплив короткочасного навантаження.

Було виготовлено і випробувано 2 зразки балок у віці 246...250 діб, розміром 10x10x200 см. Випробування виконували за схемою однопрольотної шарнірно опертої балки, завантаженої в третирах прольоту двома рівними зосередженими силами. Силове завантаження здійснювали в устаткування преса ПММ-200 за допомогою гідравлічного домкрата ДРГ-25, подачу масла на домкрат виконували насосною станцією.

На станині преса встановлювали розподільчу балку, на якій розміщували опори, відстань між якими в осях становила 185 см. Одна опора мала рухливий каток діаметром 30 мм, друга – нерухома у вигляді привареного кутика висотою 30 мм. На опори через металеві прокладки вкладали дослідну балку. Зусилля від гідравлічного домкрата, через металеву траверсу, передавали на балку. Величину прикладеного навантаження на зразок балки визначали за тарованим динамометром, її також контролювали за показником насосної станції.

Величину прогинів дослідної балки вимірювали в середині прольоту двома прогиномірами 6 ПАО з ціною поділки 0,01 мм, встановленими з двох протилежних боків балки. Разом з тим контролювали можливе просідання опор балки за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, які встановлювали в місцях опор на спеціальних підставках. Крайні деформації розтягнутої зони бетону, до моменту виникнення тріщин, фіксували ланцюжком з п'яти тензорезисторів базою 50 мм, наклеєних таким чином, щоб загальна довжина вимірювання крайніх деформацій бетону складала 25 см. Для визначення положення нейтральної осі, на бічних поверхнях бетону, в середині прольоту балки наклеювали колонки з 10 тензорезисторів базою 50 мм. Відстань між тензодатчиками за висотою перерізу в стисненій зоні складала 1,5 см, в розтягненій – 4x2,0 см. Деформації робочої арматури в зоні чистого згину вимірювали двома тензорезисторами, наклеєними на ненапружуваній арматурі та чотирма тензодатчиками, встановленими на напружуваній арматурі з базою 20 мм, тензорезистори розміщували по середині довжини арматури. Також, для визначення можливого проковзування напружуваної арматури, з двох торців балки встановлювали індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Для більш чіткого спостереження за виникненням та розвитком тріщин бетону, на бічну поверхню балок наносили шар вапняного розчину. На черговому ступені навантаження, після виникнення перших тріщин бетону, ширину їх розкриття вимірювали мікроскопом МПБ-2 з ціною поділки 0,05мм. На кожному ступені прикладання навантаження відмічали величину розвитку та виникнення нових тріщин бетону. Випробування балок виконували ступінчатим навантаженням, рівним 10% від очікуваного руйнівного. На кожному ступені відбувалось витримування навантаження на протязі 4-5 хвилин для можливості зняття відліків з встановлених на зразку механічних приладів. Показники з наклеєних тензорезисторів знімали відразу після прикладання чергового навантаження та в кінці витримки.

Дослідження залізобетонних балок зі змішаним армуванням за короткочасної дії навантаження виконували з метою вивчення напружено-деформованого стану, зміни прогинів середини прольоту, динаміки розкриття тріщин та можливого проковзування напружуваної арматури в бетоні. Для проведення досліджень було виготовлено 2 зразки балок, розміром 10x10x200 см, армованих попередньо напружуваною арматурою діаметром 12 класу А-IIIв та ненапружуваною арматурою діаметром 12 класу А-III, розміщеною в середині прольоту і обірваною відповідно до епюри матеріалів. Поперечна та поздовжня монтажна арматура виготовлена діаметром 5 мм із Вр-І. Із такої ж арматури для виключення можливого проковзування напружуваної арматури на кінцях балок перпендикулярно до поздовжньої осі балок, встановлювали зварні сітки з кроком 100 мм на довжині 240 мм [2]. Міцнісні та деформативні характеристики бетону і арматури визначали випробуванням бетонних кубів та призм на осьовий стиск, призм з анкерними пристроями - на осьовий розтяг, зразків арматури – на розрив.

Основні міцнісні та деформативні характеристики бетону дослідних балок наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Міцнісні та деформативні характеристики бетону балок

$R_b$ , МПа	$E_{b0} = E'_b (\eta=0)$ $10^{-4}$ , МПа	$E_b = E'_b (\eta=0,3)$ $10^{-4}$ , МПа	$\lambda_R$	$R_{bt}$ , МПа
32,14	2,833	2,533	0,3530	2,42

Фактичний діаметр робочої арматури: напружуваної – 11,2 мм, ненапружуваної – 9,2 мм, площа поперечного перерізу –  $A_{sp}=1,107 \text{ см}^2$ ,  $A_s = 0,775 \text{ см}^2$ , модуль пружності  $E_{sp}=19,98 \times 10^4$  МПа,  $E_s = 20,10 \times 10^4$  МПа; межа текучості  $\sigma_{0,2}=850,73$  МПа,  $\sigma_y=556,95$  МПа; тимчасовий опір розриву  $\sigma_{spu} = 895,0$  МПа,  $\sigma_u = 708,85$  МПа.

Витягування арматури А-III до класу А-IIIв здійснювали на металевих формах зразків балок за допомогою гідравлічного домкрата ДРГ-25 і спеціальної траверси з тягами. Зусилля натягу, що передавали арматурі, фіксували відтарованим трубчастим динамометром і за показниками манометра насосної станції. Витягування арматури проводили ступенями рівними 5% від руйнівного до напружень 858,2 МПа. Після розвантаження і наклеювання тензорезисторів на арматурі, улаштування опорних сіток, проводили її натяг на форму-опалубку зразка. При цьому на кожному ступені навантаження фіксували деформації арматури тензометрами з базою 20 мм та індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм на базі 200 мм. Натягування арматури проводили до напружень 753,25 МПа. Після проявлення втрат від релаксації, обтиску різьби анкера, упорів та шайб, значення напруження в арматурі склало 642, 43 МПа. Далі встановлювали в форму ненапружувану арматуру і опорні каркаси.

Бетонування зразків здійснювали на вібростолі, твердіння бетону відбувалось в природних умовах. Після відпуску напруженої арматури з упорів форми на бетон балок, у віці 98 діб, розпалублені зразки зберігались в природних температурно-вологісних умовах.

Аналізуючи напружено-деформований стан дослідних балок встановлено, що розтягнута арматура, а також бетон розтягнутої та стиснутої зони в діапазоні напружень  $0 < \eta \leq 0,3$  працюють сумісно, деформування матеріалів відбувається пружно. Так, при  $\eta = 0,3$  деформації в арматурі і бетоні склали відповідно  $\epsilon_{sp}=319,03 \times 10^{-5}$  і  $\epsilon_{sm}=-25,22 \times 10^{-5}$ ,  $\epsilon_{bm}=1,18 \times 10^{-5}$ ,  $\epsilon_{bt}=28,47 \times 10^{-5}$ , значення вигину середини прольоту балок знизилось з -2,26 мм (при  $\eta=0$ ) до -0,54 мм, а висота стиснутої зони становила 10,73 см.

При наступному збільшенні рівня навантаження до  $\eta=0,5$  виникли перші нормальні тріщини в розтягнутій зоні бетону під місцем прикладання зосереджених сил, внаслідок зменшення жорсткості елементу, відбувся перерозподіл напружень в його перерізі. Разом із виключенням з роботи пронизаної тріщинами частини розтягнутого бетону, зусилля в розтягнутій зоні сприймалися робочою арматурою, її деформації різко зросли до значень  $\epsilon_{sp}=395,60 \times 10^{-5}$  і  $\epsilon_{sm}=23,28 \times 10^{-5}$ . Значення висоти стиснутого бетону зменшилось до 8,03 см, а прогину – зросло до 1,77 мм.

В межах напружень  $0,5 < \eta < 0,7$  спостерігались дещо уповільнений приріст деформацій стиснутого бетону і незначне зменшення його висоти. При напруженнях  $\eta > 0,7$  відбувалось прискорене зростання деформацій розтягнутої арматури, зниження висоти стиснутого бетону, а також зростання прогинів. Епюра деформацій, побудована для бетону стиснутої зони по висоті перерізу набула трикутної форми [3].

Деформації в робочій арматурі і в крайньому волокні стиснутої зони бетону перед руйнуванням відповідно набули таких значень:  $\epsilon_{sp} = 588,50 \times 10^{-5}$ ,  $\epsilon_{sm} = 249,50 \times 10^{-5}$ ,  $\epsilon_{bm} = 204,46 \times 10^{-5}$ , висота стиснутого бетону зменшилась до 6,04 см, величина прогину досягла 11,91 мм. Напруження в найбільш стиснутому волокні бетону при цьому перевищили його призмову міцність в 1,72 рази, тобто справедлива нерівність  $\sigma_{bm} > R_b$ . Руйнування балок відбувалось в розтягнутій зоні при досягненні напружень а робочій арматурі, рівних межі текучості і мало повільний характер [1].

При виникненні текучості арматури проходило різке наростання прогину дослідних зразків балок з наступним роздрібненням стиснутої зони бетону, що характерно для балок з  $h/l \leq 0,5$ . Середнє значення руйнівного моменту в балках склало  $M_R^{cu} = 19,130$  Кн·м, а ширина розкриття генеральної нормальної тріщини  $a_{cr} = 0,5$  мм [4].

Під час випробування дослідних балок на протязі всього періоду їх роботи, проковзування напруженої арматури в бетоні не зафіксовано.

Значення деформацій та напружень найбільш стиснутого волокна бетону і розтягнутої арматури дослідних зразків балок, наведені в таблиці 1.



Таблиця 1

Дослідні значення середніх деформацій і напружень в крайньому волокні бетону, напруженої та ненапруженої арматури, відносної висоти стиснутої зони бетону, прогинів середини прольоту, ширини розкриття нормальних тріщин в балках при короткочасному навантаженні з врахуванням обтиску бетону

M, КН·м	$\eta$	$\varepsilon_{bm} \times 10^{-5}$	$\sigma_{bm}$ , МПа	$\varepsilon_{spm} \times 10^{-5}$	$\sigma_{spm}$	$\varepsilon_{sm}$	$\sigma_{sm}$	x, см	$\xi$	f, мм	a <sub>ср</sub> , мм
0	0	-45,0	-12,15	291,30	404,51	-41,18	-82,77	-	-	-2,26	-
1,913	0,10	-32,23	-8,71	296,70	414,46	-39,48	-79,35	11,84	0,721	-1,72	-
3,826	0,20	-16,76	-4,52	303,13	426,28	-36,26	-72,88	11,56	0,704	-1,11	-
5,739	0,30	1,18	0,32	319,03	455,26	-25,22	-50,69	10,73	0,653	-0,54	-
7,652	0,40	31,44	8,49	350,26	511,18	-9,60	-19,30	9,19	0,560	0,39	-
9,565	0,50	66,16	17,87	395,60	588,08	23,28	46,79	8,03	0,489	1,77	0,05
11,478	0,60	90,33	24,40	441,66	663,13	55,44	111,43	7,38	0,449	3,42	0,15
13,391	0,70	109,71	29,63	480,80	726,67	81,93	164,68	7,15	0,435	4,76	0,20
15,304	0,80	137,57	37,16	555,50	854,64	121,15	243,50	7,05	0,429	7,53	0,35
17,217	0,90	172,14	46,50	588,50	903,72	170,22	342,14	6,71	0,409	9,17	0,45
19,130	1,00	204,46	55,22	-	-	249,50	501,50	6,04	0,368	11,91	0,50

Дослідження напружено-деформованого стану балок виявили наступні особливості їх роботи:

- до моменту виникнення тріщин в бетоні ( $\eta \leq 0,5$ ) спостерігався незначний розвиток деформацій бетону і розтягнутої арматури. Бетон стиснутої та розтягнутої зони, а також робоча арматура деформувались сумісно;

- виникнення нормальних тріщин при  $\eta > 0,5$  перерозподілило зусилля з бетону розтягнутої зони, яку перетнули тріщини, на робочу арматуру, що привело до швидкого зростання деформацій і прогину балок, а також до зменшення стиснутої зони бетону;

- в діапазоні напружень  $0,5 \leq \eta \leq 0,7$  спостерігалось уповільнене зростання деформацій бетону, а також зниження його висоти стиснутої зони;

- при рівні напруження  $\eta > 0,7$  відбувався прискорений розвиток деформацій бетону, розтягнутої арматури і прогинів, проходило різке зменшення висоти стиснутої зони бетону, що свідчить про настання процесу руйнування і текучості арматури. Руйнування мало повільний характер.

- проковзування напруженої арматури в бетоні не виявлено.

1. 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.

2. 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.

3. Панчук Ю.М., Жук О., Цимбалюк А. Дослідження роботи залізобетонних згинальних елементів зі змішаним армуванням на вплив малоциклових навантажень високих рівнів // Тези доп. наук. – техн. конф. –Рівне 1996 –С.8.

4. Бабиць 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.

1. Panchuk YU.M. Deformatyvnysh' z'hynal'nykh zalizobetonnykh elementiv pry korotkochasnykh malotsyklovykh navantazhennyakh vysokykh rivniv // Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy: Tez. dop. mizhnarodn. nauk. konf. –Rivne, 1996. –S. 105.

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

3. Panchuk YU.M., Zhuk O., Tsymbalyuk A. Doslidzhennya roboty zalizobetonnykh z'hynal'nykh elementiv zi zmishanym armuvannyam na vplyv malotsyklovykh navantazhen' vysokykh rivniv // Tezy dop. nauk. – tekhn. konf. –Rivne 1996 –S.8.

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