

ВПЛИВ ДОВЖИНИ АНКЕРУВАННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ АРМАТУРИ НА ПРОГИНИ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

THE INFLUENCE OF THE LENGTH OF LONG-EDGE STEEL REINFORCEMENT IN REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS DEFLECTION.

Поляновська О.Є., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Polianovska O.Ye., post-graduate, (National university of water management and nature resources use, Rivne)

Наведені результати експериментальних досліджень впливу довжини анкерування поздовжньої арматури на вільних опорах та в прольотах на величину прогинів згинальних залізобетонних елементів. Доведено, що за умови, коли довжина анкерування стержнів складає не менше 10 діаметрів прогини елементів не змінюються.

Experimental investigation's results of influence of the long-edge steel reinforcement length on the free support and in spans on the size of reinforced concrete bending elements deflection are presented. It is proved, that if the length of the rods anchoring is not less than 10 diameters, the deflection of elements doesn't change.

Ключові слова:

Залізобетонні згинальні елементи, анкерування арматури, прогини.

Reinforced concrete bending elements, steel reinforcement anchoring, deflection.

Стан питання та задачі досліджень. В згинальних залізобетонних елементах з метою економії арматури частина поздовжніх стержнів (не більше 50 % розрахункової площі), можна не доводити до опор, а обривати в прольоті там, де вони не потрібні відповідно до розрахунку несучої здатності елемента по нормальним перерізам. Стержні, що обриваються, повинні бути заведені за місце теоретичного обривання відповідно до епюри згинальних моментів на довжину l_{bd} , значення якої визначали за умови, що міцність в місті теоретичного обривання стержнів (МТОС) по похилим і нормальним перерізам однакова [1].

В технічній і науковій літературі практично не висвітлені експериментальні дані дослідження впливу довжини анкерування стержнів, які обриваються в прольоті, на прогини згинальних залізобетонних

елементів. Опубліковані результати експериментальних досліджень впливу довжини анкерування поздовжніх стержнів, в тому числі і обірваних в прольотах, на характер руйнування та несучу здатність згинальних елементів [2, 3]. Тому в цій статті ставиться за мету проаналізувати результати дослідження впливу довжини анкерування арматури на вільних опорах та в прольотах на величину прогину згинальних залізобетонних елементів.

Конструкція дослідних зразків та методика їх випробування. Дослідні зразки уявляли собою залізобетонні балки з номінальними розмірами поперечного перерізу 200×100 мм та довжиною 200 см. Для виготовлення зразків використані бетон класу C25/30 та робоча поздовжня арматура класу A500C, а монтажні і поперечна арматура – класу A240.

Армування зразків здійснювали наступним чином. В крайні ділянки балок встановлювали по одному плоскому каркасу довжиною 750 мм, в яких була зосереджена монтажна та поперечна арматура із стержнів діаметром 6 мм класу A240 C. Поздовжні робочі стержні діаметром 12 мм класу A500C прикріплювалися до каркасів в'язальним дротом (рисунок 1). У верхній зоні

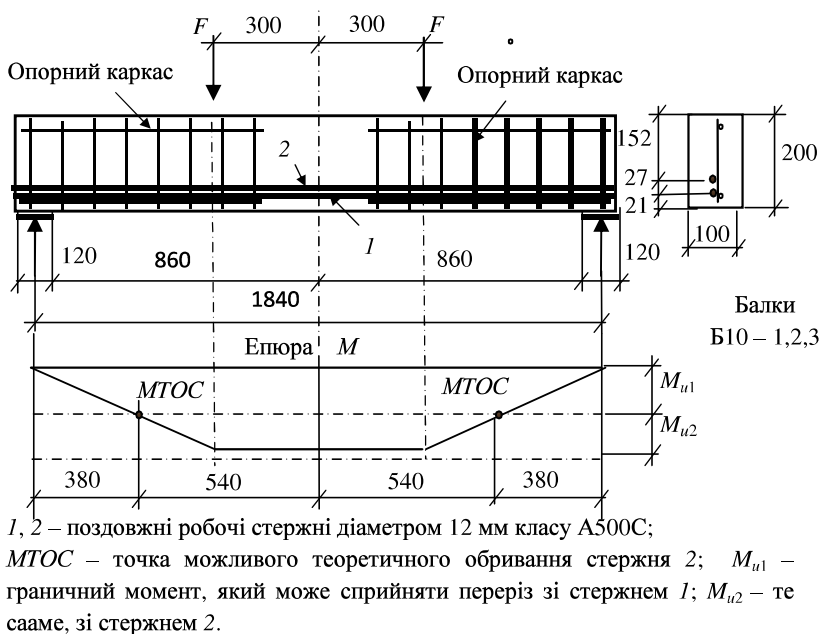


Рис. 1 - Конструктивна схема армування дослідних балок Б10 – 1,2,3:

на ділянці чистого згину поздовжня арматура була відсутня. Таке влаштування поздовжньої арматури унеможливило вплив приварювання

поперечних стержнів на зчеплення арматури з бетоном. В балках Б10 – 1,2,3 нижній і верхній стержні розташовані з наявністю зчеплення з бетоном по всій довжині. Торці всіх поздовжніх стержнів в усіх балках виходили за торцеву грань балок, що давало можливість вимірювати їх переміщення за допомогою індикаторів годинникового типу.

Ділянки стержнів, які мали зчеплення з бетоном, формувалися шляхом ізоляції на інших ділянках за допомогою поліхлорвінілових трубок, які на рисунку 2 позначені пунктиром. На опорах довжина анкерування нижніх стержнів 1, в основному, складала $10d$ (d – діаметр стержнів), і лише в балках Б5/10 – 1,2 - $5d$. Верхні стержні 2 заводилися в бетон від МТОС на $5d$, $7,5d$ і $10d$, а в двох балках стержні обривалися в МТОС. В декількох балках зчеплення арматури з бетоном унеможлилювалося між МТОС.

В маркуванні балок використані такі позначення: буква Б – балка; перша цифра – довжина заведення нижнього стержня за внутрішню грань опори балки; друга цифра – довжина наявності зчеплення з бетоном на ділянці за межами МТОС (довжина анкерування верхнього стержня), треті цифри – номери окремих балок; і – наявність ділянки відсутності зчеплення між МТОС.

Попередньо для конструювання балок теоретично визначалися МТОС, приймаючи механічні характеристики бетону класу С25/30 і арматури класу А500С. За методикою [4] з урахуванням [5] визначалася несуча здатність (граничний згинальний момент) перерізу умовно армованого окремо нижнім стержнем M_{u1} та верхнім M_{u2} та, використовуючи епюру моментів, знаходилися місця теоретичного обривання стержнів (МТОС).

Докладно виготовлення балок описано в роботі [3]. На час початку випробування балок кубикова міцність бетону склала $f_{cm,cube} = 43,0$, а середня призмочна міцність - $f_{cm,prism} = 31,8$ МПа (відношення $f_{cm,prism} / f_{cm,cube} = 0,74$). Якщо визначити характеристичне значення призової міцності, то воно виявиться близьким до значення для бетону класу С25/30. Визначена за стандартною методикою межа текучості арматури виявилася рівною $f_{ym} = 594,7$ МПа, а модуль пружності $E_s = 192000$ МПа.

Випробовування балок здійснювали в рамних металевих рамах з навантаженням двома зосередженими силами за допомогою гідравлічного домкрата і вимірюванням навантаження тарованими динамометрами. В процесі навантаження ступенями вимірювали деформації бетону стиснутої зони, деформації арматури, прогини балок та зміщення торців стержнів відносно торцевої поверхні балок. Для вимірювань використовували тензорезистори, індикатори годинникового типу, тензометри Гугенбергера, прогиноміри, мікроскоп для визначення ширини розкриття тріщин (рисунок 3). Докладно методика випробувань балок наведена в роботі [3]

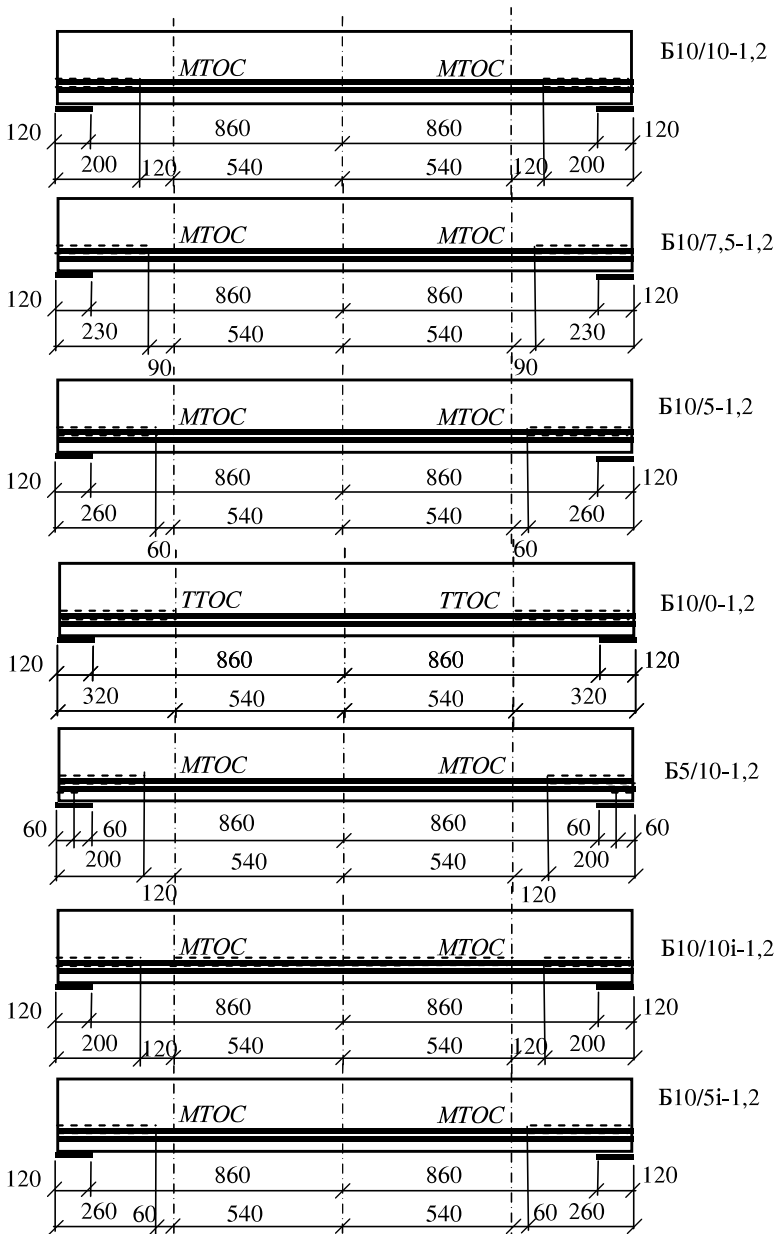


Рис. 2 - Схема розташування ділянок з безпосереднім контактом арматури з бетоном (пунктиром показані ділянки відсутності зчеплення стержнів з бетоном, опорні каркаси умовно не показані)



Рис.3 – Загальний вигляд випробування балок

Аналіз результатів досліджень. Всі балки навантажувалися ступенями, величина яких складала (0,07 – 0,10) від руйнівного, до втрати несучої здатності. Характер руйнування балок залежав від величини довжини заведення стержнів в бетон як за внутрішню грань опор, так і за місце теоретичного обривання верхніх стержнів і докладно описаний в роботі [3].

Середнє руйнуюче зусилля для балок Б10-1,2,3 склало $F_u = 31,2$ кН (окремо по балкам 31,9; 31,5; 30,3). Критерієм руйнування було роздроблення бетону стиснутої зони, коли деформації в крайній стиснутій фібрі бетону досягли значень $\varepsilon_{cu} = 224,1 \times 10^{-5}$, а в нижньому розтягнутому стержні - відповідно - $\varepsilon_{su} = 189,5 \times 10^{-5}$. Зміщення торців нижнього і верхнього поздовжніх стержнів відносно торців балок до самого руйнування не відбувалося, тільки в балці Б10-2 при навантаженні $F = 30$ кН торець нижнього стержня змістився на $\delta = 0,001$ мм. Це свідчить про те, що заведення стержнів за внутрішню грань вільної опори повністю забезпечує їх спільну роботу з бетоном.

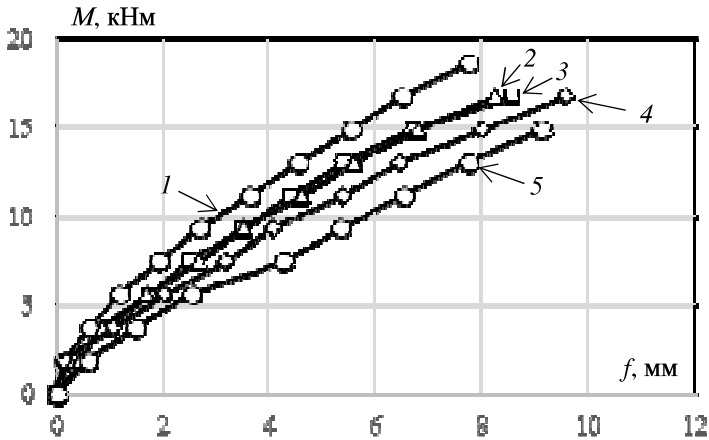
За отриманими результатами можна утверджувати, що прогини балок в певній мірі залежать від довжини анкерування стержнів як на крайніх опорах, так і стержнів, обірваних в прольотах (таблиця 1). За одних і тих же навантажень найменші прогини спостерігалися в балках Б10 (рисунок 4). В цих балках на початкових ступенях навантаження (до $M = 5,58$ кНм) в процесі пластичного деформування бетону розтягнутої зони та утворення тріщин спостерігається нелінійна залежність прогинів від навантаження, а після утворення тріщин майже до руйнування – близька до лінійної (лінія 1 на рисунку 4). При дії згинального моменту, рівного $M_{Sl,S} = 11,16$ кНм,

(приблизно 60 % від руйнівного $M_u = 19,34$ кНм), який прийнятий за граничний експлуатаційний, середній прогин балок Б10 склав $f = 3,63$ мм.

Таблиця 1

Експериментальні значення прогинів балок (середні за зразками - близнюками)

Момент M , кНм	Прогини балок, f , мм							
	Б10	Б10/10	Б10/7,5	Б10/5	Б10/0	Б5/10	Б10/10i	Б10/5i
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00
1,86	0,17	0,46	0,25	0,17	0,60	0,60	0,35	0,53
3,72	0,64	0,88	0,95	1,07	1,50	1,48	1,15	1,63
5,58	1,18	1,72	1,75	2,05	2,56	3,17	1,92	2,57
7,44	1,94	2,67	2,50	3,18	4,26	3,97	2,53	3,77
9,3	2,69	3,53	3,50	4,07	5,35	4,86	3,71	4,90
11,16	3,63	4,61	4,40	5,36	6,53	5,75	4,72	6,21
13,02	4,55	5,60	5,40	6,46	7,74	6,76	5,66	7,85
14,88	5,54	6,80	6,70	8,00	9,12	7,85	6,92	10,14
16,74	6,51	8,27	8,57	9,57	-	-	8,8	-
18,6	7,75	-	-	-	-	-	-	-



1 – балки Б10; 2 – Б10/10; 3 – Б10/7,5; 4 - Б10/5; 5 – Б10/0

Рис. 4 – Вплив довжини анкеровання стержнів, які обриваються в прольоті, на величину прогинів балок, f

В балках Б10/10 верхній стержень був обірваний в прольоті і заведений за місце теоретичного обривання на довжину $10d$, що дещо зменшило жорсткість балок, при практично тій же несучій здатності, що і в балках Б10. Середній прогин в цих балках при навантаженні M_{SLS} склав $f = 4,61$ мм, що на 27 % більше, ніж в балках Б10 (лінія 2 на рисунку 4). В балках Б10/10 зміщення торців нижніх стержнів не спостерігалось, але верхні стержні, що обірвані в прольоті, мали деяке зміщення. Наприклад в балці Б10/10-1 при навантаженні $M = 13,02$ кНм зміщення верхнього стержня склало $\delta = 0,086$ мм, а при $M = 14,88$ і $16,74$ кНм таке зміщення збільшилося відповідно до $\delta = 0,174$ і $0,242$ мм. Отже, обривання стержня в прольоті і анкерування його на довжині $10d$ не вплинуло на несучу здатність [3], але збільшило прогин балок і відбувається зміщення в бетоні їх торців.

Балки Б10/7,5 мали практично такий же характер зміни прогинів під навантаженням, як і в балках Б10/10, але їхня несуча здатність виявилася на 5 % меншою ніж балок Б10/10 (лінія 3 на рисунку 4). Прогин балок Б10/7,5 при значенні M_{SLS} склав $f = 4,40$ мм, що на 4,6 % більше, ніж в балках Б10/10. Тобто, зменшення довжини анкерування призвело до збільшення прогину.

Суттєво зменшення довжини анкерування обірваних стержнів в прольоті в балках Б10/5 і Б10/0 вплинуло на їхні прогини (лінії 4 і 5 на рисунку 4). Так, в цих балках при значенні навантаження, що відповідає M_{SLS} , прогин відповідно склав $f = 5,36$ і $6,53$ мм, що на 16,3 і 41,6 % більше, ніж в балках Б10/10. В цих балках спостерігалися суттєві зміщення стержнів, обірваних в прольотах. В балці Б10/5-1 вже при дії моменту $M = 11,16$ кНм зміщення верхнього стержня дещо перевищило граничне значення і склало $\delta = 0,121$ мм. Зміщення торців нижніх стержнів в цих балках не зафіксовано. Несуча здатність балок Б10/5 і Б10/0 знизилася відповідно на 17 і 23 %. Отримані дані підтверджують, що довжина анкерування стержнів, що обриваються в прольотах, повинна бути не меншою $10d$.

Балки Б5/10, в яких порівняно з балками Б10/10 довжина анкерування нижнього стержня зменшена з $10d$ до $5d$, зруйнувалися по похилим перерізам біля опор. Зміщення торця верхнього стержня не спостерігалось, але деяке зміщення нижнього стержня спостерігалось. Внаслідок зменшення довжини анкерування нижнього стержня несуча здатність балок зменшилася на 14 %. При дії моменту $M = 11,16$ кНм прогин балок Б5/10 склав $f = 5,75$ мм, що на 24,7 % більший, ніж в балках Б10/10 (лінія 2 на рисунку 5). Цей результат свідчить, що не можна на вільній опорі довжину анкерування стержнів приймати меншою, ніж $10d$.

В балках Б10/10і і Б10/5і було унеможливлено зчеплення верхніх стержнів з бетоном на ділянках між МТОС, тобто зчеплення було тільки на ділянках заведення стержнів за МТОС. Як наслідок, несуча здатність цих балок відповідно зменшилася на 9 і 12 %. При цьому балки Б10/10і зруйнувалися по

похилим перерізам біля МТОС, а балки Б10/5і після порушення зчеплення на ділянці анкерування зруйнувалися і по нормальним перерізам [3].

При навантаженні, яке відповідає $M = 11,16$ кНм, прогини в балках Б10/10і і Б10/5і збільшилися порівняно з відповідними балками Б10/10 і Б10/5 на 2,4 і 15,8 % і склали $f = 4,72$ і 6,21 мм. Це підкреслює про важливість анкерування стержнів за межами епори матеріалів.

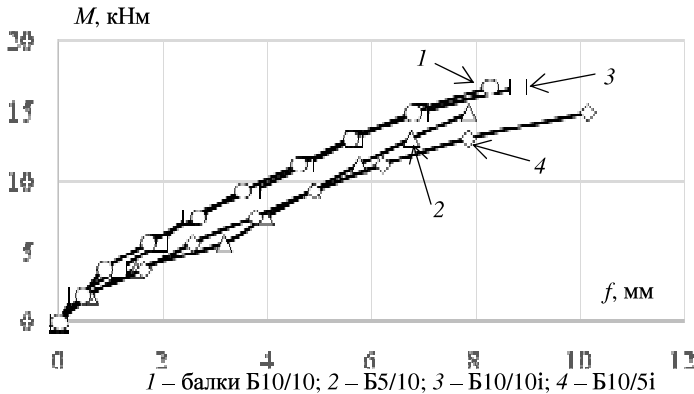


Рис. 5 – Вплив довжини анкерування стержнів на вільній опорі і довжини чистого зчеплення стержнів, що обриваються в прольоті, на прогини балок, f

Висновки. 1. Довжина анкерування стержнів на вільних опорах та стержнів, що обриваються в прольотах, суттєво впливає на прогини балок. Збільшення прогинів може досягати 25 %.

2. Довжина анкерування стержнів на опорах і в прольотах, величина якої не менша за $10d$, не впливає на зміну прогинів балок.

1. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с. 2. Бабіч О.Є. Особливості роботи залізобетонних балок з робочою арматурою, частина якої обривається в прольоті з різною довжиною її анкерування / О.Є. Бабіч (О.Є. Полянська) // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Випуск 21. – С. 121 – 128. 3. Полянська О.Є. Дослідження несучої здатності згинальних залізобетонних елементів з частково обриваною в прольотах робочою арматурою /О.Є. Полянська/ Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2014. – Випуск 29. С. 315 – 321. 4. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 166 с. 5. Бабіч Є.М. Розрахунок несучої здатності поперечних перерізів згинальних залізобетонних елементів / Є.М. Бабіч, В.Є. Бабіч, В.В. Савицький // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2012. – Випуск 23. – С. 94 – 103.