

УДК 624.012.25

**ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗГІНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕ-
ТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ЧАСТКОВО ОБІРВАНОЮ В ПРОЛЬОТАХ
РОБОЧОЮ АРМАТУРОЮ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕ-
ЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ З ЧАСТИЧНО ОБОРВАНОЮ В
ПРОЛЕТАХ РАБОЧЕЙ АРМАТУРОЙ**

**THE RESEARCH OF BEARING CAPACITY OF BENDING REIN-
FORCED CONCRETE ELEMENTS WITH WORKING STEEL REIN-
FORCEMENT THAT IS PARTLY CUT IN SPANS.**

Поляновська О.Є., аспірант (Національний університет водного господар-
ства та природокористування, м. Рівне)

Поляновская Е.Е., аспирант, (Национальный университет водного хозяйст-
ва и природопользования, г. Ровно)

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

**Висвітлені нові результати дослідження несучої здатності залізобетонних
згинальних елементів залежно від довжини анкерування стержнів, які
обриваються в прольотах. Доведено, що мінімальна довжина заведення
стержнів в бетон за внутрішню грань опори та за місце теоретичного об-
ривання стержнів повинна бути не менше десяти діаметрів стержня.**

**Приведены новые результаты исследования несущей способности изги-
баемых железобетонных элементов в зависимости от длины анкеровки
стержней которые обрываются в пролетах. Показано, что минимальная
длина завода стержней в бетон за внутреннюю грань опоры та за место
теоретического обрыва стержней должно быть не меньше десяти димет-
ров.**

**New results of investigation of the bearing capacity of bending reinfor-
ced concrete elements dependent on the rods length which are cut in spans are pre-
sented. It is proved that the minimal length of anchoring of rods in concrete
over inner face of support and over the place of theoretical breakdown of rods
should be more than 10 rod diameter.**

Ключові слова:

Залізобетонні балки, несуча здатність, анкерування арматури.
Железобетонные балки, несущая способность, анкеровка арматуры.
Reinforced concrete beams, bearing capacity, reinforced anchoring.

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 міцності 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 похилім і нормальним перерізам однакова. За попередніми нормами проектування залізобетонних конструкцій значення l_{bd} повинно було бути не меншим 20 діаметрів стержня.

В нових нормативних документах [1] l_{bd} визначається розрахунком залежно від низки впливових факторів та базової величини заанкерування $l_{b,rqd}$ і встановлюється не меншою 10 діаметрів стержня. Треба відмітити, що формула (7.3) [1] для стержнів, які обриваються в прольоті відповідно епюри згинальних моментів, не має рації, оскільки теоретично в МТОС напруження в них дорівнюють нулю, отже довжину l_{bd} для цих стержнів теоретично визначити не представляється можливим.

В технічній і науковій літературі практично не висвітлені експериментальні дані дослідження впливу довжини анкерування стержнів, які обриваються в прольоті. Але автором цієї статті виконані обмежені досліді по вивченню цього питання [2], в яких було випробувано 6 балок довжиною 150 см. Балки армувалися двома стержнями в два ряди по висоті, в трьох балках верхній стержень обривався з заведенням за МТОС на 5, 10 діаметрів, а в одній - в МТОС. На підставі цих дослідів зроблено висновок, що для забезпечення повного використання стержнів, що обриваються в прольотах, можна заводити їх за переріз, де вони за розрахунком не потрібні, на довжину не менше 10 діаметрів. Тут же зазначено, що для підтвердження цього необхідно розширити накопичення експериментальних даних.

Виходячи з наведеного, виконані більш обширні експериментальні дослідження згинальних елементів, в яких пролітна поздовжня арматура частково обривалася, а її довжина анкерування змінювалася. Основною задачею дослідів є встановлення достатньої довжини заведення стержнів в бетон за МТОС та її вплив на несучу здатність дослідних зразків.

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 С25/30 та робоча поздовжня арматура класу А500С, а монтажна і поперечна арматура – класу А240.

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 А240 С. Поздовжні робочі стержні діаметром 12 мм класу А500С прикріплювалися до каркасів в'язальним дротом (рис. 1). У верхній зоні на

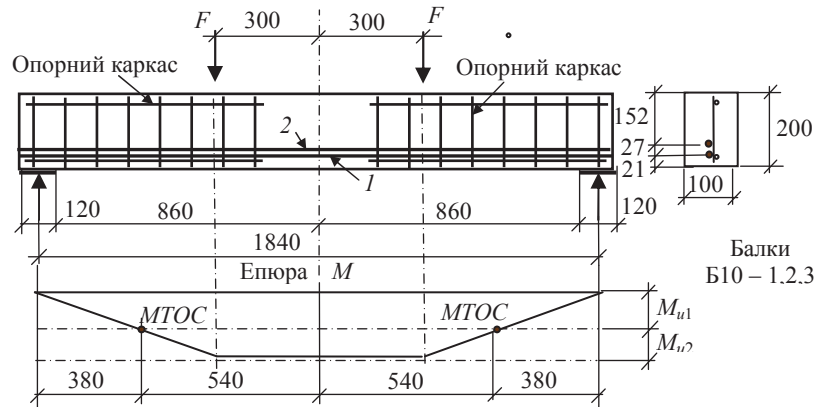


Рис. 1. Конструктивна схема армування дослідних балок Б10 – 1,2,3:

1, 2 – поздовжні робочі стержні діаметром 12 мм класу А500С;

МТОС – точка можливого теоретичного обривання стержня 2; M_{u1} – граничний момент, який може сприйняти переріз зі стержнем 1; M_{u2} – те саме, зі стержнем 2.

ділянки 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 рис. 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 манкіровці 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; п – балки піддавалися повторним навантаженням.

Попередньо для конструювання балок теоретично визначалися МТОС, приймаючи механічні характеристики бетону класу С25/30 і арматури класу А500С. За методикою [1] з урахуванням [3] визначалася несуча здатність

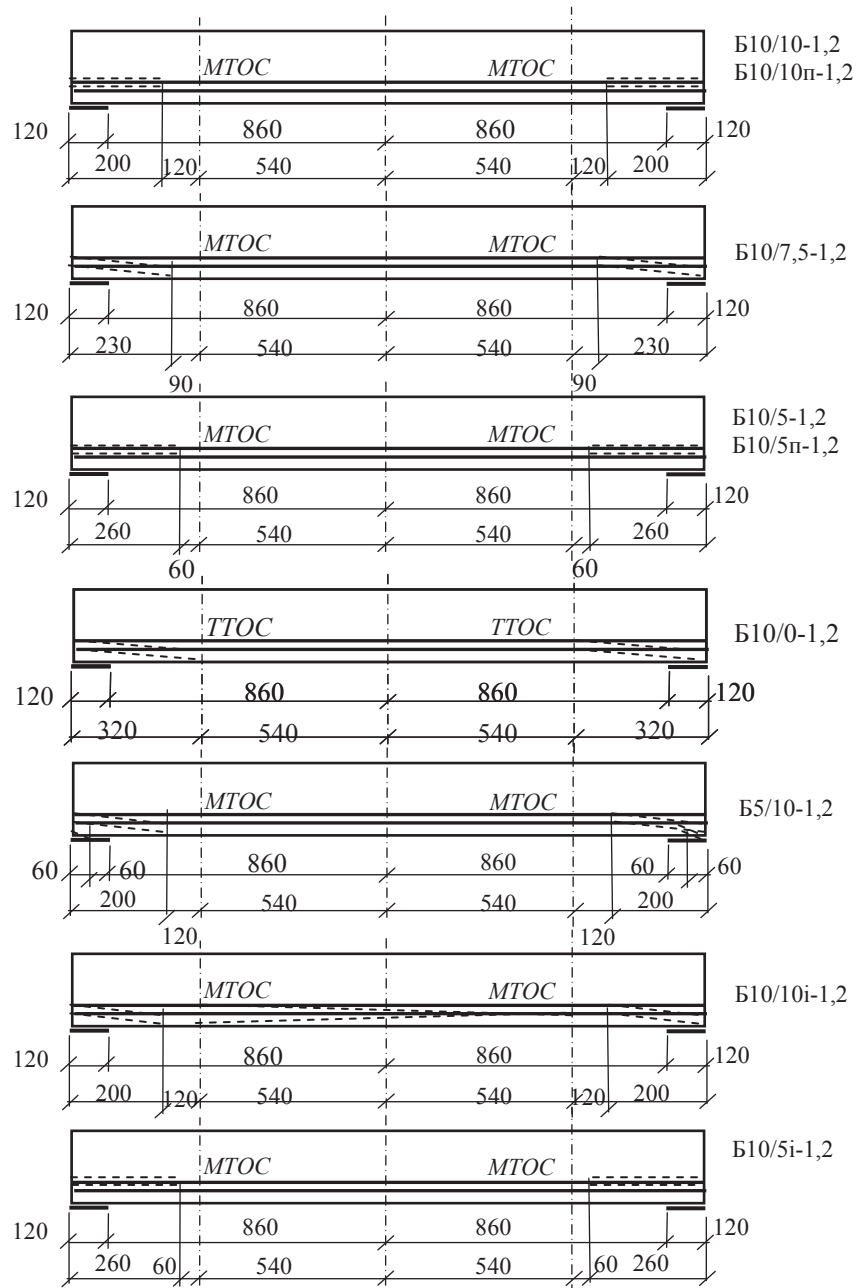


Рис. 2. Схема розташування ділянок з безпосереднім контактом арматури з бетоном (пунктиром показані ділянки відсутності зчеплення стержнів з бетоном, опорні каркаси умовно не показані)

(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).

Формування балок (всього 21 балка) здійснювалося в дерев'яній касетній опалубці одночасно з одного замісу при ущільненні глибинним вібратором. Бетонна суміш виготовлялася в заводських умовах. Поряд з балками виготовлялися куби з розміром ребер 150 мм, призми розміром 150×150×600 мм для визначення призової міцності та модуля пружно-пластичності бетону та призми розміром 100×100×400 мм для визначення міцності на розтяг.

На час початку випробування балок кубикова міцність бетону складала $f_{cm,cube} = 43,0$, 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. Треба зазначити, що відхилення фактичних механічних характеристик матеріалів не впливає на попереднє визначення місця теоретичного обривання стержнів.

Випробування 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 (рис 3а). Докладно методика випробувань наведена в роботі [2].

Аналіз результатів досліджень. Всі балки навантажувалися ступенями, величина яких складала (0,07 – 0,10) від руйнівного, до втрати несучої здатності (табл. 1). Характер руйнування залежав від величини довжини заведення стержнів в бетон як за внутрішню грань опор, так і за місце теоретичного обривання верхніх стержнів.

Контрольні балки Б10-1,2,3 зруйнувалися по нормальному перерізу внаслідок досягнення напруженнями в нижніх стержнях межі текучості з наступним роздробленням бетону стиснутої зони (рис. 3б). Середні деформації в нижніх стержнях цих балок досягли значення 351×10^{-5} , що перевищують деформації, які відповідають межі текучості арматури ($309,3 \times 10^{-5}$), тобто в нижніх стержнях відбулася їхня текучість. В при опорних ділянках суттєвого розкриття похилих тріщин не відбулося. В балках Б10 – 1 і Б10 – 3 зміщення торців стержнів відносно поверхні бетону балок не спостерігалось, а в балці Б10 – 2 при навантаженні $F = 15$ кН відбулося зміщення нижнього стержня на 0,005 мм, а верхнього на цю ж саму величину при $F = 6$ кН. Такий характер руйнування балок свідчить про те, що довжина анкерування стержнів на опорах, рівна $10d$, забезпечує повне використання в роботі арматури.

Такий же характер руйнування мали балки Б10/10, а їхня несуча здатність практично така ж, як балок Б10 (в середньому менше на 1 %). Це підкреслює, що довжина анкерування обірваних стержнів, рівна $10d$, не вплинула на несучу здатність балок.

Таблиця 1

Несуча здатність дослідних балок

Марка балок	Руйнуюче навантаження, F_{uz} , кН		Руйнуючий згинальний момент, M_u , кН×м	Характер руйнування
	балки	середнє		
Б10 - 1	31,90	31,20	17,47 (1,00)	по нормальним перерізам
Б10 - 2	31,50			
Б10 - 3	30,30			
Б10/10 - 1	30,25	30,88	17,29 (0,99)	по нормальним перерізам
Б10/10 - 2	31,50			
Б10/7,5 - 1	29,25	29,62	16,59 (0,95)	по похилим перерізам біля МТОС
Б10/7,5 - 2	30,00			
Б10/5 - 1	24,50	25,75	14,52 (0,83)	по похилим перерізам біля МТОС
Б10/5 - 2	27,00			
Б10/0 - 1	24,00	24,00	13,44 (0,77)	по похилим перерізам біля МТОС
Б10/0 - 2	24,00			
Б5/10 - 1	26,80	26,90	15,06 (0,86)	по похилим перерізам біля опор
Б5/10 - 2	27,00			
Б10/10і - 1	27,00	28,50	15,96 (0,91)	по похилим перерізам біля МТОС
Б10/10і - 2	30,00			
Б10/5і - 1	24,50	24,25	13,58 (0,78)	по похилим перерізам біля МТОС
Б10/5і - 2	24,00			
Б10/10п - 1	32,50	31,75	17,78 (1,02)	по нормальним перерізам
Б10/10п - 2	31,00			
Б10/5п - 1	26,40	26,20	14,67 (0,84)	по похилим перерізам біля МТОС
Б10/5п - 2	26,00			

Інший характер руйнування був у балках Б5/10, в яких порівняно з балками Б10/10 довжина анкерування нижнього стержня зменшена з $10d$ до $5d$. Руйнування цих балок відбулося по похилим перерізам біля опор (рис. 3в). Зміщення торця верхнього стержня не спостерігалось, а нижнього спостерігалось деяке зміщення. За рахунок зменшення довжини анкерування нижнього стержня несуча здатність балок зменшилася на 14 %.

В балках Б10/5 була зменшена довжина анкерування верхнього стержня з $10d$ до $5d$, внаслідок чого несуча здатність зменшилася на 17 %, а руйнування відбулося по похилим перерізам біля місця теоретичного обривання (рис. 3з). Такий же характер руйнування мали балки Б10/7,5, але їхня несуча здатність зменшилася тільки на 5 %.

В балках Б10/10і і Б10/5і було усунено зчеплення верхніх стержнів з бетоном на ділянках між МТОС, тобто зчеплення було тільки на ділянках заве-

дення стержнів за МТОС. Як наслідок, несуча здатність цих балок відповідно зменшилася на 9 і 12 %. При цьому балки Б10/10і зруйнувалися по похилім перерізам біля МТОС (рис. 3д), а балки Б10/5і після порушення зчеплення на ділянці анкерування зруйнувалися і по нормальнім перерізам (рис. 3е).

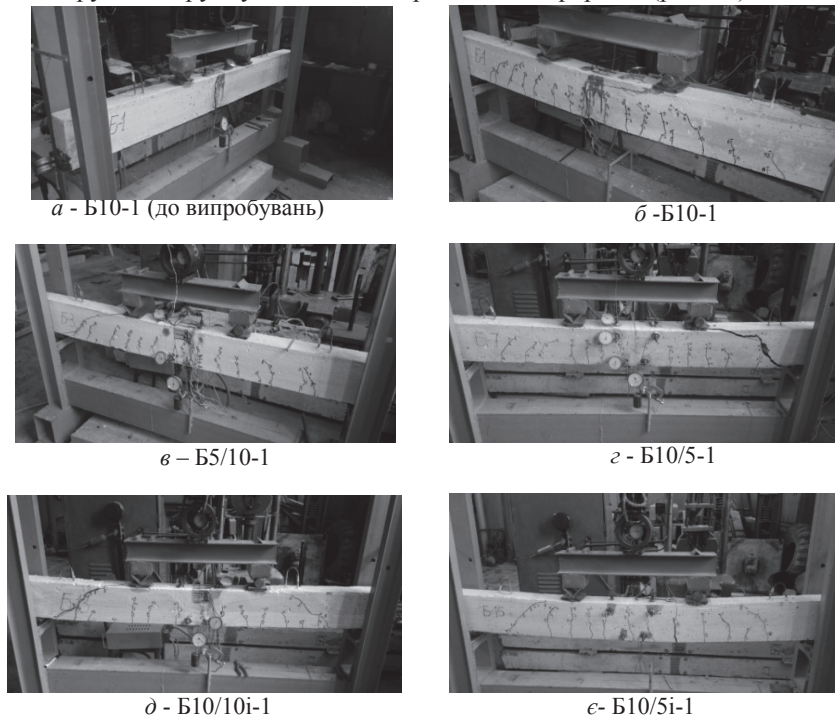


Рис. 3. Характер руйнування окремих балок

Як показали досліди з балками Б10/10п і Б10/5п, повторні навантаження практично не змінили характер руйнування та їхню несучу здатність. Вони впливали на прогини балок та ширину розкриття тріщин.

Висновок. Для раціонального і повного використання в роботі арматури її анкерування на опорах і в місцях теоретичного обриву стержнів згідно з епюрою моментів довжина їх анкерування повинна бути не меншою $10d$.

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. 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.