

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНІ ТА ЧИСЛОВІ МЕТОДИ В МЕХАНІЦІ ТА ФІЗИЦІ РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

УДК 624.012

АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙНИМ МЕТОДОМ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ІЗ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ

Ю. Боднар, к. т. н.

*Львівський національний аграрний університет,
М. Волинець, старший наук. співробітник
Національний університет «Львівська політехніка»*

Постановка проблеми. Балки із змішаним армуванням розтягнутої зони (попередньо напружена стрічкова арматура та ненапружена стрижнева) дають змогу добитися оптимальних співвідношень між міцністю, деформативністю та кількістю арматури у конструкції [1; 2]. З 2011 року в Україні набули чинності нові нормативні документи ДБН [3] та ДСТУ [4], які базуються на деформаційному підході до проектування залізобетонних конструкцій. Із 2014 року в Україні чинні європейські норми проектування будівельних конструкцій – Єврокоди. В основу Єврокоду 2 (EN 1992-1-1:2004) [5], який регламентує проектування залізобетонних конструкцій, також покладено деформаційний підхід. Тому актуальним є дослідження особливостей застосування та точності результатів, отриманих у рамках рекомендацій цих нормативних документів до специфічних конструкцій, якими є бетонні балки, армовані в розтягнутій зоні пакетом з напруженої листової арматури та ненапруженої стрижневої.

Постановка завдання. Наше завдання – аналіз результатів проведених експериментальних досліджень та розрахунків за деформаційною методикою зони чистого згину сталобетонних попередньо напружених балок із змішаним армуванням.

Виклад основного матеріалу. Дослідимо зону чистого згину балкових елементів, армованих у розтягнутій зоні пакетом, що складається з попередньо напруженої листової і ненапруженої стрижневої арматури. Наявність ненапруженої арматури в попередньо напружених конструкціях впливає на протікання втрат від швидкоплинної повзучості за обтиску, а також на протікання процесів повзучості і зсідання бетону. Наявність попередньо напруженої арматури у верхній зоні балок передбачено для забезпечення тріщиностійкості цієї зони за передачі зусиль попереднього натягу листової арматури. Балки розмірами поперечного перерізу 270x135 мм та прольотом 2700 мм. Схема армування показана на рис. 1.

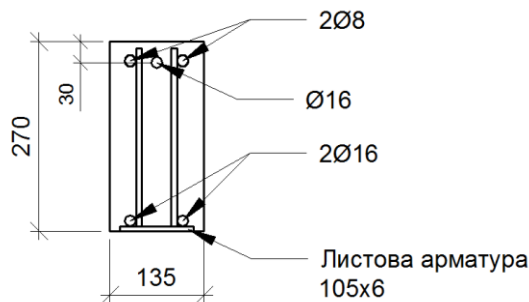


Рис. 1. Армування балки

Характеристики дослідних зразків: площа бетону $A_c = 364,5 \text{ см}^2$; поздовжня арматура розтягнутої зони – попередньо напружена листова $A_{s1} = 6,3 \text{ см}^2$, ненапружена стрижнева – 2 $\text{Ø}16$, $A_{s2} = 4,02 \text{ см}^2$; поздовжня арматура стиснутої зони – попередньо напружена стрижнева 1 $\text{Ø}16$, $A_{s3} = 2,011 \text{ см}^2$, ненапружена конструктивна стрижнева 2 $\text{Ø}8$, $A_{s4} = 1,06 \text{ см}^2$.

Балки із важкого бетону. Фізико-механічні характеристики бетону (міцність, модуль пружності) визначали випробуванням кубів із ребром 150 мм та призм довжиною 600 мм з поперечним перерізом 150 x 150 мм на гідравлічному пресі. Для визначення міцності бетону за стиску на контрольні призми наклеювали електричні тензодатчики базою 50 мм по 4 на кожній грані (три вертикальні та один горизонтальний), а також на кожній грані кріпили мікроіндикатор базою 380 мм. Модуль пружності бетону задля перевірки вираховували за показами тензодатчиків та мікроіндикаторів. Розбіжності між обчисленими значеннями в усіх випадках не перевищували 3%.

Листова арматура поперечним перерізом 105 x 6 мм зі сталі 16Г2АФ періодичного профілю з перехресними рифами рекомендована УкрНДІМетом з основними параметрами, розробленими у Львівському політехнічному інституті. Стрижнева арматура періодичного профілю $\text{Ø}16$ отримана з арматури А240 методом зміцнення витяжкою на силовому стенді. Арматуру витягували механічно за допомогою гідравлічних домкратів із контролем напружень за допомогою зразкового динамометра і манометра насосної станції. Стрижнева арматура розтягнутої зони зміцнювалася до межі міцності листової арматури $f_{yk}=450 \text{ МПа}$, а стрижнева арматура стиснутої зони – до $f_{yk} = 540 \text{ МПа}$.

Фізико-механічні характеристики стрічкової сталі (границя текучості, міцність та модуль пружності) визначали випробуванням спеціально виготовлених зразків-рибок, а стрижневої сталі – випробуванням стандартних зразків на розривній машині марки Р-20 із одночасним записом діаграми розтягу сила – деформація за допомогою тензодатчиків, наклеєних на випробовуваному зразку. Покази тензодатчиків фіксували за допомогою автоматичного електронного вимірювача деформацій.

Експериментально отримані фізико-механічні характеристики матеріалів: бетон $f_{ck} = 37,91 \text{ МПа}$, $E_c = 38,11 \times 10^3 \text{ МПа}$; листова арматура – $f_{pk} = 450 \text{ МПа}$, $E_{s1} = 2,1 \times 10^5 \text{ МПа}$, арматура розтягнутої зони – стрижнева поздовжня $f_{yk} = 450 \text{ МПа}$, E_{s2}

= $2,0 \times 10^5$ МПа, арматура стисненої зони – стрижнева поздовжня $f_{pk} = 540$ МПа, $E_{s3} = 2,1 \times 10^5$ МПа, арматура стрижнева поперечна і конструктивна стиснутої зони $f_{yk} = 355$ МПа, $E_{s4} = 2,0 \times 10^5$ МПа.

Обтиск балок зусиллям попереднього обтиску здійснювали на 30-й день після бетонування. Зусилля обтиску, викликане попереднім напруженням арматури, передавали на бетон плавно за допомогою гідравлічних домкратів. При цьому встановлювали напружено-деформований стан балок. Втрати напружень в арматурі за обтиску визначали за деформаціями арматури.

Зусилля попереднього натягу арматури становили: для листа $N_0 = 269$ кН, для стрижня $N_0 = 103$ кН. Попереднє напруження в листовій та стрижневій арматурах створювалося ступенями $0,1N_0$ з фіксацією деформацій на кожній ступені. Величина попереднього напруження з урахуванням втрат на 56 день після бетонування становила: для листа 300,5 МПа, для стрижня стиснутої зони 455,7 МПа.

Руйнування дослідних балок відбувалося у випадку, коли напруження в розтягнутій арматурі досягали границі текучості раніше, ніж була вичерпана міцність стиснутої зони. Подальше завантаження зразків спричинювало значні деформації текучості в арматурі, різкі розкриття тріщин і приріст прогинів, внаслідок чого зменшувалася висота стиснутої зони бетону та відбувалось її руйнування.

Виконано моделювання роботи в зоні чистого згину описаної балки на основі деформаційної методики [3; 4]. Залежність напруження-деформації для бетону прийнята у вигляді полінома 5-го ступеня [3]. Графік залежності подано на рис. 2. Для арматури згідно з [3] прийнята залежність напруження-деформація з горизонтальною верхньою гілкою.

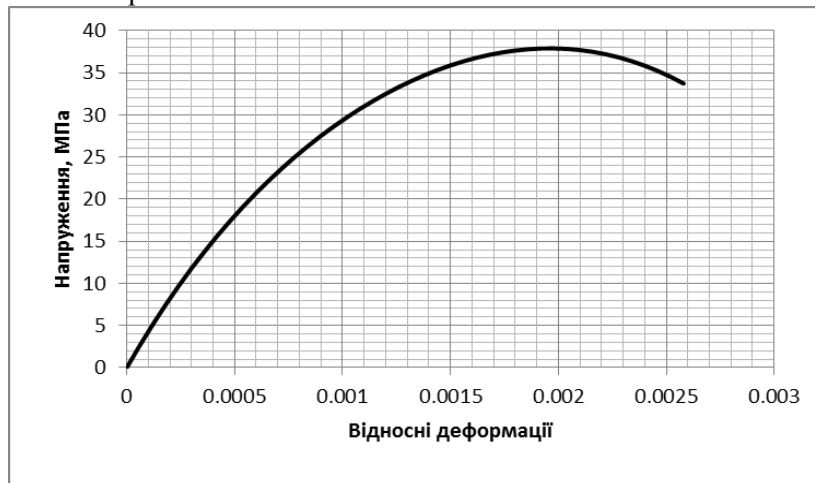


Рис. 2. Залежність напруження-деформація для бетону балки

За результатами моделювання під час навантаження балки спочатку проявляється текучість листової арматури, потім – текучість стрижневої арматури розтягнутої зони, і після цього – руйнування стиснутої зони бетону.

На рис. 3–5 подано графіки, побудовані за результатами теоретичних досліджень.

Максимальний момент на графіку залежності момент-кривизна (рис. 3) показує несучу здатність балки, яка дорівнює 101 кНм. На рис. 4 показано графіки залежності відносної деформації найбільше стиснутої грані балки від прикладеного згинального моменту, побудовані за результатами теоретичних та експериментальних досліджень. На рис. 5 показано отриманий у результаті розрахунку розподіл напружень у стиснутій зоні бетону за моменту 101 кНм.

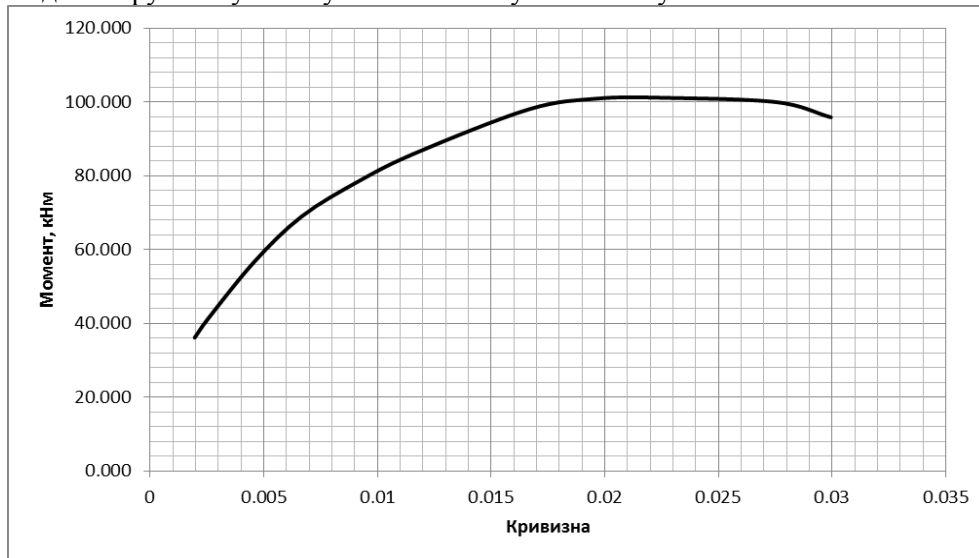


Рис. 3. Графік момент-кривизна

Висновки. Руйнування балки внаслідок руйнування бетону стиснутої зони відбувається за результатами розрахунків за моменту 101 кНм, а за результатами експерименту – 110 кНм. Різниця становить 8%.

Характер руйнування балки, деформації бетону та арматури в зоні чистого згину, отримані у результаті проведеного експерименту та моделювання з використанням деформаційної методики за прийнятих залежностей напруження-деформація матеріалів, узгоджуються задовільно.

Бібліографічний список

1. Клименко Ф. Є. Розробка, дослідження та застосування у будівництві сталебетонних конструкцій. – Львів, 2001.
2. Клименко Ф. Є. Міцність сталебетонних балок, армованих арматурою класу А-III, А-V в поєднанні з стрічковою, що працює без зчеплення з бетоном / Клименко Ф. Є., Ільницький Б. М., Бобало Т. В. // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2007. – № 602. – С. 100–104.

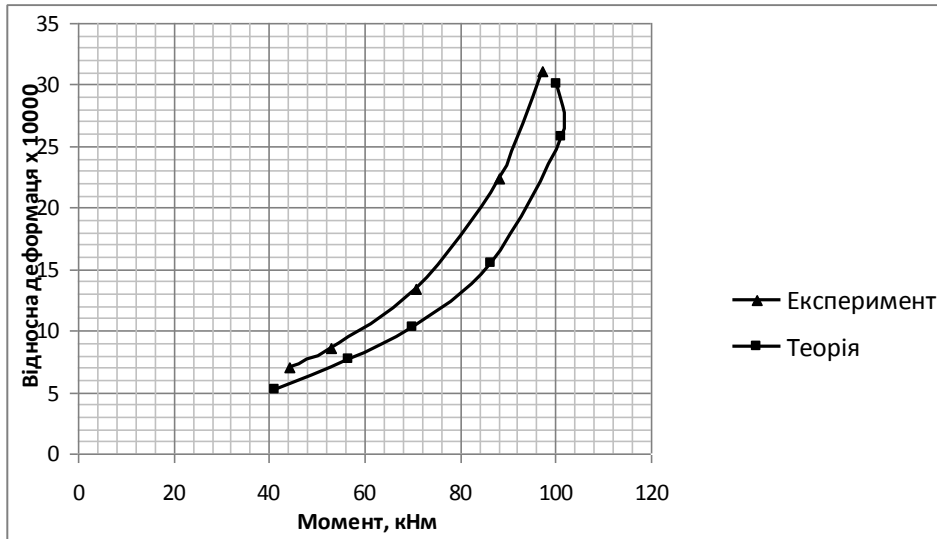


Рис. 4. Залежності момент – відносна деформація верхньої грані

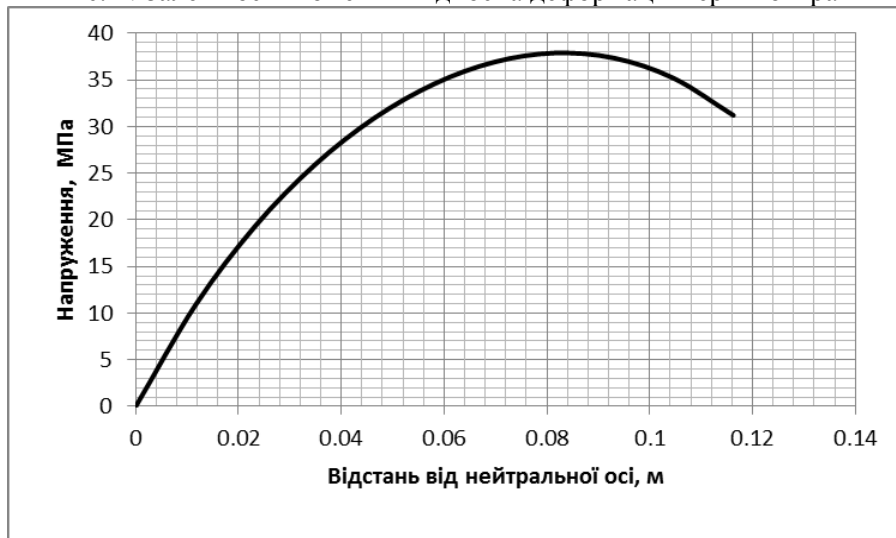


Рис. 5. Напруження у стиснутій зоні балки за граничного моменту

3. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011.
4. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011.
5. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. – Ч. 1-1. Загальні правила і правила для споруд. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012.

Боднар Ю., Волинець М. Аналіз деформаційним методом нормальних перерізів сталобетонних балок із змішаним армуванням

Проведено порівняльний аналіз експериментальних досліджень сталобетонних балок із змішаним армуванням та моделювання їх зони чистого згину, виконаного в рамках деформаційного методу.

Ключові слова: сталобетонна балка, змішане армування, несуча здатність, деформації, напруження, деформаційний метод.

Bodnar Yu., Volynets M. Analysis by the deformation method of normal sections of reinforced concrete beams with mixed reinforcement

The comparative analysis of experimental researches of beams of steel and concrete with mixed reinforcement and simulation of their zone of pure bending performed in the framework of the deformation method is carried out.

Key words: beams of steel and concrete, mixed reinforcement, bearing ability, deformation, stress, deformation method.

Боднар Ю., Вольнец М. Анализ деформационным методом нормальных сечений сталобетонных балок со смешанным армированием

Проведен сравнительный анализ экспериментальных исследований сталобетонных балок со смешанным армированием и моделирование их зоны чистого изгиба, выполненного в рамках деформационного метода.

Ключевые слова: сталобетонная балка, смешанное армирование, несущая способность, деформации, напряжения, деформационный метод.

Стаття надійшла 29.08.2017.

УДК 539.3

КОНЦЕНТРАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ ПІД ЧАС КРУЧЕННЯ

*Т. Бубняк, к. фіз.-мат. н., Ю. Фамуляк, к. т. н.
Львівський національний аграрний університет*

Постановка проблеми. Побудова елементів конструкцій продиктована їх граничними станами – йдеться про забезпечення оптимальної несучої здатності, жорсткості, надійності та довговічності споруди. Ефективність конструкцій визначається їхніми конструктивними формами, які ґрунтуються на низці принципів: застосування попередньо напружених конструкцій; створення конструкцій, що забезпечують найбільшу концентрацію матеріалу, тощо. Задаючи попереднє напруження, можна розв'язувати задачі, пов'язані з підвищенням несучої здатності конструкції, регулюванням внутрішніх зусиль для найвигіднішого перерозподілу напружень між елементами конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Просторові задачі теорії пружності і пластичності посідають важливе місце серед задач механіки деформованого твердого тіла.