

**АНКЕРУВАННЯ АРМАТУРИ СЕРПУВАТОГО ПРОФІЛЮ НА ВІЛЬНИХ ОПОРАХ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК**

*Л. Потієнко, аспірант  
Луцький національний технічний університет*

**Ключові слова:** арматура, зчеплення, площа зминання, довжина анкерування.

Подано результати експериментальних досліджень анкерування арматури серпуватого профілю на вільних опорах залізобетонних балок

**Постановка проблеми.** Останнім часом у будівництві набуло широкого розповсюдження зварювання арматури так званого європейського профілю, яка має двобічне розташування серпуватих поперечних ребер [1]. Порівняно з “кільцевим” профілем арматури за ГОСТ 5781-82\* [2] геометрія серпуватого профілю має низку переваг, які стосуються технологічності в сучасному гарячекатаному виробництві.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями дослідження балок з арматурою серпуватого профілю в останні роки займалися такі науковці, як Б.А. Боярчук [7], О.Ю. Єрьоменко [8], М.О. Валовий і Д.В. Попруга [9]. Їхні дослідження показали, що внаслідок висмикування поздовжньої розтягнутої арматури на опорах дослідні зразки балок замість нормальних перерізів руйнуються за похилими перерізами за згинальним моментом, що не передбачено розрахунком. При цьому їх несуча здатність значно менша за розрахункову при руйнуванні нормальних перерізів.

**Постановка завдання.** Актуальним завданням є проведення експериментальних досліджень роботи даних елементів і розробка методики їх розрахунку.

**Виклад основного матеріалу.** Плавна зміна висоти серпуватих поперечних ребер і відсутність їх перетинів з поздовжніми ребрами дозволяє дещо підвищити витривалість стрижнів за повторних навантажень.

Суттєвими недоліком серпуватого профілю є зменшення порівняно з кільцевим профілем зчеплення арматурних стрижнів з бетоном внаслідок зменшення площі зминання поперечних ребер за їхнього збільшеного кроку.

Ця властивість відображена у Єврокодi-2 [3] та в нормах проектування багатьох країн.

Зчеплення бетону з арматурою періодичного профілю визначають висотою  $h$ , кроком  $t$ , геометричною формулою виступів і в існуючій практиці [4] оцінюють коефіцієнтом відносної площі зминання  $f_R$  (критерії Рема) (рис.1), яку можна визначити за наближеною формулою (1):

$$f_R = \gamma \frac{h}{t}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, який залежить від форми виступів: для арматури серпуватого профілю  $\gamma = 0,5$ , для арматури традиційного кільцевого (гвинтового) профілю за ГОСТ 5781-82\* -  $\gamma = 0,9$ ;  $h$  – висота виступів;  $t$  – крок виступів.

Значення  $f_R$  для арматури з кільцевим профілем становить  $f_R = 0,10$ , для арматури з серпуватим профілем  $f_R$  залежить від діаметра (див. табл.).

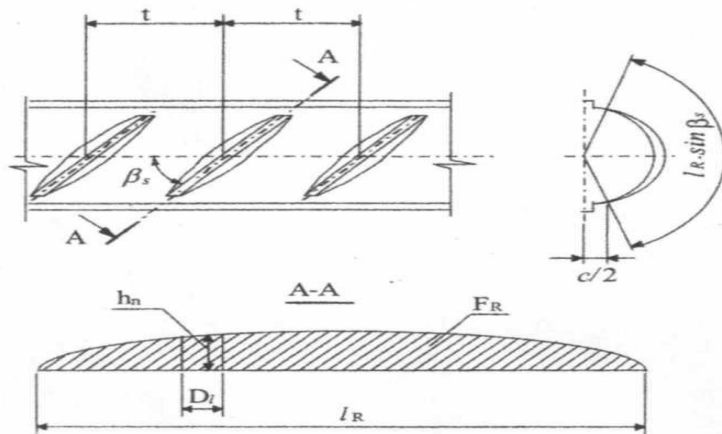


Рис. 1. До визначення відносної площі змінання  $f_R$ .

Таблиця

Значення коефіцієнта відносної площі змінання

Стандарт	Коефіцієнт $f_R$ за номінального діаметра, мм			
	5-6	6,5-8,5	9-10,5	11-40
ENV 10080 [4]	0,039	0,039	0,045	0,052
ДСТУ 3760:2006 [1]	0,045	0,045-0,056	0,056	0,056

Таким чином, існування суттєвих відмінностей у геометричних параметрах арматури серпуватого профілю визначили зниження її зчеплення з бетоном до 2,4...3,7 раза порівняно з відповідними значеннями для стрижневої арматури гвинтового (кільцевого) профілю.

Зазначені властивості нових видів арматури ставлять гострі питання про її анкерування, особливо на вільних опорах залізобетонних елементів. Випробування балок з арматурою серпуватого профілю, проведені останніми роками Б.А. Боярчуком [7], О.Ю. Єрьоменком [8], М.О. Валовим і Д.В. Попругою [9], показали, що внаслідок висмикування поздовжньої розтягнутої арматури на опорах дослідні зразки балок замість нормальних перерізів руйнуються за похилими перерізами за згинальним моментом, що не передбачено розрахунком. При цьому їх несуча здатність значно менша за розрахункову у разі руйнування нормальних перерізів.

Враховуючи досвід експериментів [7 – 9], автор цієї статті передбачила можливість руйнування дослідних балок унаслідок недостатнього анкерування використаної арматури серпуватого профілю класу А400С.

Згідно з рекомендаціями [10] та Єврокоду-2 [3] у конструюванні дослідних балок (рис. 2) було вжито низку заходів з попередження руйнування зразків за похилими перерізами. Передусім опори були зміщені до середини балки на 200 мм, а поперечні сили навантаження  $F$  – навпаки, трохи переміщені до опор (рис. 3). Крім того, за межами опор до нижньої арматури були приварені металеві оцупки  $\varnothing 20$  мм (рис. 2 і 4).

Порівняння довжини анкерування  $l_{an}$  за вітчизняними рекомендаціями [10] та за Єврокодом-2 [3] засвідчує деяку розбіжність результатів, причому за нормами EN [3]  $l_{an}$  приблизно на 15-20% більша.

Відповідно до рекомендацій [10] поздовжні стрижні розтягнутої та стиснутої арматури повинні бути заведеними за нормальний до поздовжньої арматури переріз, в якому їх використовують з повним розрахунковим опором, на довжину, не меншу за  $l_{an}$ , що визначають формулою

$$l_{an} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 l_b \frac{A_{s,red}}{A_{s,prov}} \geq l_{an,min} = 15d, \quad (2)$$

де  $\varphi_1$  – коефіцієнт, який враховує спосіб анкерування;

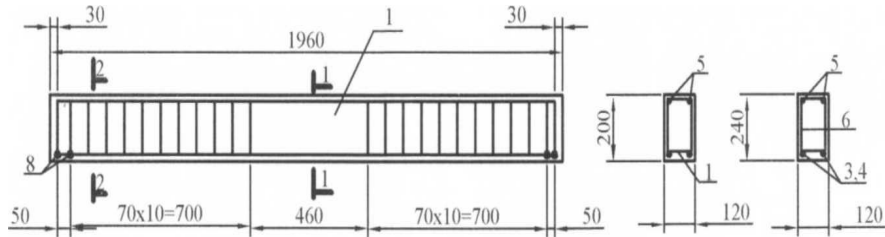
$\varphi_2$  – коефіцієнт, який враховує наявність розподільчої арматури за довжиною анкерування;

$\varphi_3$  – коефіцієнт, який враховує наявність стискальних напружень у бетоні, що діють перпендикулярно до стрижня, що анкерують;

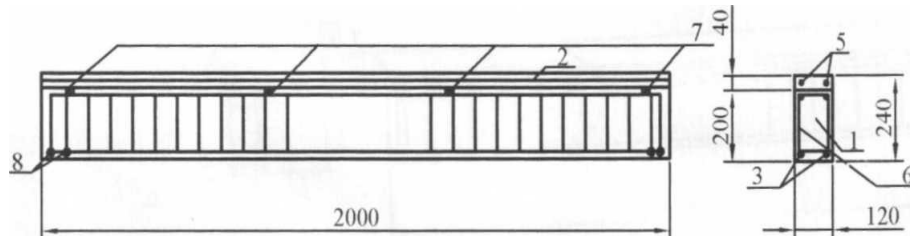
$l_b$  – базисна довжина анкерування

$$l_b = \frac{d}{4} \cdot \frac{R_s}{\varphi_4 \varphi_5 R_{bb}} ; \quad (3)$$

а)



б)



в)

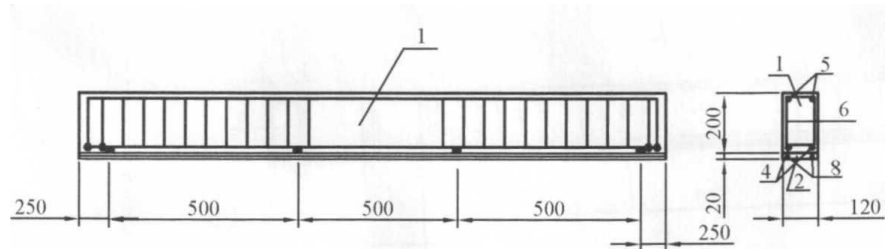


Рис. 2. Експериментальні балки:

а – конструкції серії БС (БЗ); б – підсилені у стиснутій зоні серії БПС; в – підсилені у розтягнутій зоні серії БПР; 1 – основний бетон; 2 – бетон підсилення; 3 – робоча поздовжня арматура  $2 \cdot \varnothing 20A400C$ ; 4 – робоча поздовжня арматура  $2 \cdot \varnothing 12A400C$ ; 5 – верхня поздовжня арматура  $2 \cdot \varnothing 6A240C$ ; 6 – поперечна арматура  $2 \cdot \varnothing 8A400C$ ; 7 – оцупки  $\varnothing 10A240C$ ; 8 – оцупки для анкерування  $2 \cdot \varnothing 20A240C$ ; 8 – арматура підсилення  $2 \cdot \varnothing 8A400C$ .

$A_{s,red}$  – площа арматури, яка необхідна для розрахунку міцності;

$A_{s,prov}$  – фактично встановлена площа арматури;

$d$  – діаметр стрижня, що анкерується;

$\varphi_4$  – коефіцієнт, який враховує розташування арматури під час бетонування, його приймають за відповідною таблицею, наведеною в [10]; у нас  $\varphi_4 = 1,0$ ;

$\varphi_5$  – коефіцієнт, який враховує діаметр стрижня; у нас за  $d \leq 32$  мм  $\varphi_5 = 1,0$ ;

$R_{bb}$  – розрахункові дотичні напруження з'єднання арматури з бетоном, які залежать від класу бетону; у нас для бетону класу В 30  $R_{bb} = 2,7$  МПа.

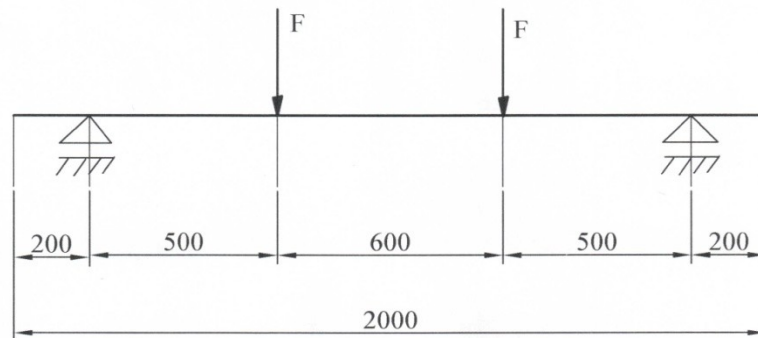


Рис. 3. Розрахункова схема дослідної балки.

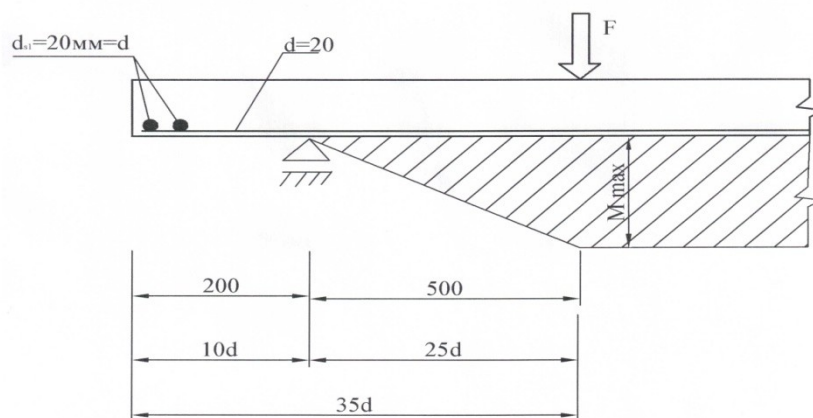


Рис. 4. До визначення довжини анкерування поздовжньої розтягнутої арматури дослідних балок.

В обчисленні  $l_{an}$  за формулою (2) добуток коефіцієнтів межується [10] значенням 0,7. Зважаючи на наявність анкеруючих оцупків, добуток  $\phi_1 \phi_2 \phi_3 = 0,7$ .

Підставляючи у формули (3) і (2) дослідну величину  $R_s = 578$  МПа та приймаючи  $A_{s,red} \approx A_{s,hrov}$ , для  $d = 20$  мм отримуємо довжину арматури  $l_{an} = 25d > l_{an,min} = 15d$ . Тобто навіть у найгіршому випадку, за досягнення  $R_s$  у перерізі під силою  $F$  (див. рис. 4) довжину анкерування слід вважати достатньою. Для непідсилених балок отримане значення  $l_{an}$  буде із запасом, оскільки для непереармованого елемента межа плинності арматури не досягається.

З вимогами європейських норм [3] порівняли значення  $l_{an}$ , отримане за формулою EN 1992-11

$$l_{an} = \frac{d \sigma_s}{4 f_{bd}}, \quad (4)$$

де  $\sigma_s = R_s$ ;

$f_{bd}$  - напруження зчеплення, яке приймають залежно від класу бетону у межах 1,6...4,3 МПа, тобто це – практично стала величина  $R_{bb}$  у (3) і його для описуваного випадку можна прийняти  $f_{bd} = 2,7$  МПа.

Виконані обчислення дають результат  $l_{an} = 53,5d$ , тобто значно більшу довжину анкерування, ніж отримані згідно з рекомендаціями [10] за формулою (2).

Однак тут слід зауважити, що формула (4) не враховує додаткової анкеруючої спроможності поперечних оцупків (див. рис. 4), а також наявність поперечних стрижнів за межами опори (див. рис.

2). За наявності зазначених чинностей Єврокод-2 рекомендує зменшувати довжину  $l_{an}$  до 30%, що призводить практично до показника, визначеного за формулою (2).

Результати випробувань зразків балок наведено на рис. 5, з якого видно, що балки обох серій зруйнувалися за нормальними перерізами.

а) БР-1



б) БС-1



Рис. 5. Характер руйнування балок серій БР (а) і БС (б).

#### Бібліографічний список

1. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Общие технические условия : ДСТУ 3760:2006.
2. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ-5781-82\*.
3. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and Rules for Buildings. Final Draft. December, 2004.
4. ENV 10080: Steel for the reinforcement of concrete. Final Draft. April, 1994.
5. Structural concrete. Textbook on Behavior, Design and Performance. Vol. 1. – Stuttgart, 1999.
6. Bond of Reinforcement in concrete. State-of-Art Report by Task Group Bond Models. FJB Bulletin 10, August, 2000.
7. Боярчук Б. А. Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення розтягнутої зони : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Б. А. Боярчук. – Львів, 2003. – 20 с.
8. Єрмоменко О. Ю. Ефективність варіантів підсилення у стиснутій зоні залізобетонних елементів, що працюють на згин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О. Ю. Єрмоменко. – К., 2006. – 19 с.
9. Попруга Д. В. Міцність стикових з'єднань при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Д. В. Попруга. – К., 2009. – 20 с.
10. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения. ТКС “Арматура для железобетонных конструкций.” – К., 2002. – 39 с.

#### **Потиенко Л. Анкерование арматуры серповатого профиля на свободных опорах железобетонных балок**

Поданы результаты экспериментальных исследований анкерования арматуры серповатого профиля на свободных опорах железобетонных балок.

**Ключевые слова:** арматура, сцепление, площадь сдавливания, длина анкерования.

#### **Potiyenko L. Reinforcement anchoring of crescent-shaped section on free bearings of reinforced beams**

The results of experimental investigations of reinforcement anchoring of crescent-shaped section on free bearings of reinforced beams are given in the paper.

**Key words:** reinforcement, anchoring length.