

## АНАЛІЗ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНОЇ ДОВЖИНИ АНКЕРУВАННЯ СТРИЖНЕВОЇ АРМАТУРИ В БЕТОНІ ТА СТАЛЕФІБРОБЕТОНІ

Р. Мазурак, аспірант, О. Цап, аспірант  
Львівський національний аграрний університет

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.049>

**Постановка проблеми.** На необхідну довжину анкерування арматури в бетоні впливає напружено-деформований стан бетону, з якого висмикують арматуру, профіль та діаметр анкеруваного арматурного стрижня, розрахункове значення міцності арматури, наявність поперечної арматури та площа її перерізу, клас бетону, вид заповнювача для бетону, умови бетонування, захисний шар бетону, внутрішні напруження у бетоні тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблему оцінки зчеплення арматури з бетоном досліджувало багато авторів. До 1980 року питання зчеплення арматури періодичного профілю з бетоном вивчали Н. М. Мулін, С. О. Дмитрієв, Т. І. Астрова, Т. Г. Гараї, Т. Ж. Жунусов, О. О. Гвоздев, які запропонували формулу для розрахунку необхідної довжини анкерування арматури [1], що залежить від діаметра арматури, розрахункових опорів арматури на розтяг та бетону на стиск, напружено-деформованого стану бетону, форми поверхні арматури. Але в цій формулі не враховані безпосередньо граничні напруження зчеплення, значення товщини захисного шару та інші чинники.

В Україні вплив товщини захисного шару бетону, діаметра арматури та класу бетону на зчеплення арматури з бетоном вивчали В. Є. Бабич, О. Є. Поляновська і П. М. Онопрійчук [2]. У Білорусі С. Н. Леонович і Н. Л. Полейко досліджували вплив добавки до бетону С-3 та її модифікацій на міцність зчеплення арматури з бетоном [3].

**Постановка завдання.** Завдання нашого дослідження – оцінювання розрахунком впливу різних чинників на значення необхідної довжини анкерування стрижневої арматури в бетоні і фібробетоні з метою подальшого розроблення методики експериментальних досліджень, спрямованих на розробку сталеві фібробетонних конструкцій масового виробництва.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз літературних джерел свідчить про відмінності у

підходах щодо оцінювання розрахунком необхідної довжини анкерування арматурних стрижнів у бетоні. Наприклад, згідно з радянськими нормами [1], довжину анкерування арматури (табл. 1) визначали за формулою

$$l_{an} = \left( w_{an} \frac{R_s}{R_b} + \Delta l_{an} \right) d \geq I_{an} d, \quad (1)$$

де  $d$  – діаметр арматурного стрижня;  $w_{an}$ ,  $\Delta l_{an}$ ,  $I_{an}$  – коефіцієнти, що приймають залежно від умов роботи та профілю ненапруженої арматури;  $R_s$  – розрахунковий опір поздовжньої арматури розтягу для граничних станів;  $R_b$  – розрахунковий опір бетону для граничних станів I групи за міцністю на стиск.

Необхідну довжину анкерування стрижневої арматури в бетоні згідно з Єврокодом 2 [4] (табл. 2) розраховують за формулою

$$l_{bd} = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}, \quad (2)$$

де  $a_1$  – враховує вплив форми стрижнів за умови необхідного захисного шару;  $a_2$  – вплив мінімального захисного шару бетону;  $a_3$  – стримувальний вплив поперечної арматури;  $a_4$  – вплив одного або більше приварених поперечних стрижнів вздовж розрахункової довжини анкерування  $l_{bd}$ ;  $a_5$  – вплив поперечного тиску на площину розколювання вздовж розрахункової довжини анкерування;  $l_{b,rqd}$  – базова довжина анкерування, яка враховує діаметр стрижня, розрахункові напруження у стрижні та граничні напруження зчеплення;  $l_{b,min}$  – мінімальна довжина анкерування.

Порівнюючи дані табл. 1 і 2, можна зауважити, що розрахункові значення необхідної довжини анкерування стрижнів за Єврокодом 2 [4] суттєво більші, ніж обчислені за СНиП [1].

Результати досліджень, подані у праці [2], свідчать про те, що захисний шар бетону впливає на характер руйнування та значення граничних напружень зчеплення арматури з бетоном. За захисного шару бетону, що дорівнює діаметру стрижня ( $c = d$ ), значення граничних напружень зчеплення знижують майже на 20 % порівняно з такими значеннями за  $c > 3d$ , що необхідно враховувати за розрахунку анкерування арматури.

**Необхідна розрахункова довжина анкерування  
стрижневої арматури класу А 400, розрахована за СНиП [1]**

Діаметр стрижня, мм	Довжина анкерування, мм			
	Клас бетону			
	C12/15 B15	C16/20 B20	C20/25 B25	C25/30 B30
8	328	266	229	208
10	411	332	286	260
12	492	339	343	312
14	575	465	400	364
16	657	531	458	416

Таблиця 2

**Необхідна розрахункова довжина анкерування  
стрижневої арматури класу А 400, розрахована за Єврокодом 2 [4]**

Діаметр стрижня, мм	Довжина анкерування, мм			
	Клас бетону			
	C12/15 B15	C16/20 B20	C20/25 B25	C25/30 B30
8	460	400	340	290
10	550	490	430	360
12	650	590	510	430
14	750	690	600	500
16	850	790	680	570

Згідно з результатами досліджень О. Є. Поляновської [5], довжина анкерування стрижнів  $l_b$  змінювалася в межах  $l_b = 5d \dots 15d$ . За  $l_b = 10d$  і  $15d$  граничні напруження зчеплення відрізнялися між собою не більше ніж на 7%. За  $l_b = 5d$  ця різниця сягала 40...50%. Нормами ж встановлена мінімальна довжина анкерування  $l_b = 10d$ .

Дослідження М. В. Лобзіна, Д. Г. Гладишева, В. К. Шиндера [6] засвідчили, що за досягнення максимального значення дотичних напружень зчеплення, які розподіляються вздовж стрижня нерівномірно, зв'язок арматури і бетону зникає. Автори показали, що локальне послаблення зчеплення зумовлює перерозподіл напружень зчеплення вздовж осі стрижня.

У праці Є. А. Дмитренка [7] запропоновано аналітичну модель зчеплення арматури з бетоном, яка складається із замкнутої системи нелінійних рівнянь, два з яких є диференціальними рівняннями першого порядку. Проведено експериментальні дослідження зчеплення арматури з бетоном за деформаційних впливів і з урахуванням низхідної гілки деформування за різних видів навантажень. Численні дослідження з вивчення зчеплення арматури з бетоном, зміни довжини анкерування

дали змогу отримати збіжність теоретичних і досліджуваних параметрів для визначення взаємних зсувів арматури щодо бетону за дії сил зчеплення і зовнішнього розтягувального зусилля.

У дослідженнях Е. Garcia-Taengua [8] виявлено вплив сталеві фібри на анкерування арматури у фібробетоні. Отримані результати серії випробувань на висмикування показали, що є низка чинників (напруження в бетоні, діаметр арматури, вміст волокна та його довжина), які необхідно взяти до уваги. Напівемпіричні формули, одержані з урахуванням поданих параметрів, визначають вплив на міцність зв'язку стрижнів з фібробетоном. Отже, міцність бетону на стиск найбільше впливає на міцність зв'язку; більші діаметри арматури забезпечують вищу міцність зв'язку, оскільки стрижні мають більші ребра, які поліпшують защемлення арматури в бетоні; вплив вмісту волокна на міцність зв'язків має обмежене значення (виявлено незначну тенденцію до підвищення міцності зв'язків, оскільки мікротріщиноутворення за пікових навантажень ще не достатньо досліджене); кращі результати були отримані за використання коротших волокон фібри, ніж довгих.

**Висновки.** Аналіз досліджень анкерування стрижневої арматури в бетоні та сталевібробетоні свідчить про те, що досі не вивчали в Україні питання зчеплення стрижневої арматури в бетоні, армованому фіброю українського виробництва. Тому потрібно екстриментально визначити вплив та необхідну довжину анкерування стрижневої арматури геометричних параметрів анкерної та хвилястої фібри, а також фібри зі сплющеними кінцями, кількісними вмістом і діаметром цієї фібри. Відтак багатофакторний експеримент дасть змогу отримати рівняння регресії для визначення необхідної довжини анкерування стрижнів у сталевібробетоні, що в підсумку підвищуватиме надійність сталевібробетонних комбіновано армованих конструкцій.

#### Бібліографічний список

1. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 80 с.
2. Бабич В. Є., Поляновська О. Є., Онопрійчук П. М. Вплив товщини захисного шару на зчеплення арматури з бетоном. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. пр. Рівне: НУВГП, 2012. Вип. 23. С. 88- 93.
3. Леонович С. Н., Полейко Н. Л. Прочность сцепления арматуры с бетоном, содержащим добавку С-3 и ее модификации. *Современные бетоны: наука и практика*. Белорусский национальный технический университет, Беларусь, г. Минск, 2014. С. 22-25.
4. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Ч. 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1: 2004, IDT): ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1: 2010. Введ. в дію 01.07.2013. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.
5. Поляновська О. Є. Використання математичної моделі для аналізу зчеплення арматури з бетоном. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2013. Вип. 25. С. 399-404.
6. Лобзін М. В., Гладишев Д. Г., Шиндер В. К. Дослідження впливу порушення зчеплення арматури з бетоном у приопорних ділянках залізобетонних ребристих плит покриття на їх несучу здатність / *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія і практика будівництва*. 2013.
7. Дмитренко Є. А. Розрахункова модель зчеплення у залізобетоні за наявності дискретних тріщин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2017. 20 с.
8. Garcia-Taengua E. et al. Bond of reinforcing bars to steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials / Institute for Resilient Infrastructure, School of Civil Engineering, University of Leeds, England, United Kingdom*. 2016. № 105. P. 275–284.

Мазурак Р., Цап О.

### АНАЛІЗ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНОЇ ДОВЖИНИ АНКЕРУВАННЯ СТРИЖНЕВОЇ АРМАТУРИ В БЕТОНІ ТА СТАЛЕВІБРОБЕТОНІ

Подано методики розрахунку довжини анкерування стрижневої арматури в бетоні та сталевібробетоні. Оцінено вплив різних чинників на необхідну довжину анкерування.

Літературні джерела обумовлюють відмінності у підходах щодо оцінювання розрахунком необхідної довжини анкерування арматурних стрижнів у бетоні.

Порівняно довжину анкерування в бетоні за різними нормами. Аналіз результатів анкерування стрижнів у бетоні, оцінених за Єврокодом 2 і старими нормами (СНиП), показує значення значно більші, розраховані за чинними нормами.

Описано вплив товщини захисного шару бетону, діаметра арматури, класу бетону на зчеплення арматури з бетоном та на характер руйнування.

Результати досліджень обумовлюють, що локальне послаблення зчеплення з бетоном викликає перерозподіл напружень уздовж осі стрижня.

На основі теоретико-експериментальних досліджень різних авторів виявлено вплив сталевібробетону на анкерування арматури у фібробетоні. Отримані результати серії випробувань на висмикування показали, що є низка чинників (напруження в бетоні, діаметр арматури, вміст волокна та його довжина), які впливають на роботу елемента. Запропоновано напівемпіричні формули, які визначають міцність анкерування стрижнів у фібробетоні [8].

Аналіз досліджень анкерування стрижневої арматури в бетоні та сталевібробетоні свідчить про те, що досі не вивчали в Україні питання зчеплення стрижневої арматури в бетоні, армованому фіброю українського виробництва. Тому потрібно екстриментально визначити вплив та необхідну довжину анкерування стрижневої арматури геометричних параметрів анкерної та хвилястої фібри, а також фібри зі сплющеними кінцями, кількісними вмістом і діаметром цієї фібри. Відтак багатофакторний експеримент дасть змогу отримати рівняння регресії для визначення необхідної довжини анкерування стрижнів у сталевібробетоні, що в підсумку підвищуватиме надійність сталевібробетонних комбіновано армованих конструкцій.

**Ключові слова:** бетон, арматура, зчеплення, анкерування арматури.

**Mazurak R., Tsap O.**

**ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING THE REQUIRED LENGTH OF ANCHORING OF REINFORCEMENT CEMENT IN CONCRETE AND STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE**

The article describes the methods for calculating the length of the anchoring of the rod fittings in concrete and steel-reinforced concrete. The influence of various factors on the required length of anchoring is estimated. Literary sources determine the differences in approaches to estimating the calculation of the required length of anchoring of reinforcing rods in concrete.

Comparison of length of anchoring in concrete according to different norms. An analysis of the anchoring results of rods in concrete evaluated for Eurocode 2 and old norms (SNiP) shows a significantly larger value calculated according to current norms.

The article describes the influence of the thickness of the protective layer of concrete, the diameter of the reinforcement, the concrete class on the adhesion of the reinforcement with concrete and the nature of the destruction.

The results of the research indicate that the local relaxation of the adhesion to concrete causes the stresses to be redistributed along the axis of the rod.

On the basis of theoretical and experimental studies of various authors, the influence of steel fibers on the anchoring of reinforcement in a fiber concrete was revealed. The results of the series of tests for pulling out have shown that there are a number of factors (tension in concrete, reinforcement diameter, fiber content and its length) that affect the operation of the element. Semi-empirical formulas are proposed which determine the strength of the anchoring of the rods in the fibrobone [8].

An analysis of the anchoring of the bar reinforcement in concrete and steel fiber reinforced concrete shows that in Ukraine the issue of linking the rod reinforcement in concrete reinforced with fiber of Ukrainian production has not yet been studied in Ukraine. Therefore, it is necessary to determine the effect and the required length of anchoring of the rod armature of the geometric parameters of the anchor and wavy fibers, as well as the fibers with flattened ends, the quantitative content and diameter of this fiber. A multifactor experiment, thus, will allow obtaining a regression equation to determine the required length of the anchoring of the rods in steel fibrobeton, which ultimately will increase the reliability of steel-reinforced concrete combined reinforced structures.

**Key words:** concrete, fittings, clutches, anchoring of reinforcement.

*Стаття надійшла 05.03.2018.*