

## РОЗРАХУНОК ГРАНИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З ПІНОБЕТОНОМ

© Верба В.Б., 2013

Наведено пропозиції до методики розрахунку напружень зчеплення арматури з пінобетоном, що ґрунтується на новому підході, викладеному в ДСТУ Б В.2.6-156:2010, та пропозиціях автора, найважливіша з яких полягає у заміні міцності пінобетону на розтяг величиною міцності на стиск з перевідним коефіцієнтом. Проведено визначення значень коефіцієнта надійності за матеріалом для двох граничних станів, що забезпечило достовірність пропонованого алгоритму.

**Ключові слова:** алгоритм, арматура, напруження зчеплення, пінобетон.

The article is devoted to the method of reinforcement bonding stress calculation in foam concrete, which is based on the new approach described in DSTU B V.2.6-156: 2010, and the author's proposals, the most important of which is the replacement of the concrete tensile strength value by the compressive strength with conversion factor. The determination of values of safety factor of the material for two boundary conditions also confirmed the accuracy of proposed algorithm.

**Key words:** algorithm, bonding stress, foam concrete, reinforcing steel bar.

### Постановка проблеми

Питання теорії розрахунку анкерування арматури у важкому бетоні є доволі добре вивченими і викладені в літературі. Однак аналогічні питання для випадку пінобетонних конструкцій вирішені фрагментарно, а з прийняттям нових норм проектування [1] стала узагалі відсутньою стандартизована методика розрахунку пінобетонних конструкцій загалом і з погляду анкерування арматури зокрема.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання анкерування арматури у важкому бетоні висвітлене в українських нормах проектування – ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування» [1]. Подібний алгоритм зафіксовано у будівельних нормах Білорусі СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» [2], які також розроблені на основі Єврокод 2 [3].

У основі алгоритму розрахунку покладено використання прямокутної епюри розподілу напружень зчеплення: вони вважаються постійними по довжині зони зчеплення. Базовою величиною у розрахунку є величина граничних напружень зчеплення  $f_{bd}$ . Граничні напруження зчеплення  $f_{bd}$  за чинними нормами для важкого бетону визначаються за формулою:

$$f_{bd} = h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot f_{ctd} \quad (1)$$

де  $f_{ctd}$  – розрахунковий опір бетону на розтяг, коефіцієнт  $h_1$  враховує умови зчеплення та положення стержнів під час бетонування, коефіцієнт  $h_2$  – діаметр стержнів,  $h_3$ , який охоплює вид профілю арматури ( $\eta_3 = 2,25$  для арматури періодичного профілю).

## Мета та задачі дослідження

Метою досліджень автора є вивчення зчеплення стержневої арматури періодичного профілю та арматурного дроту з пінобетоном безавтоклавного тверднення та підготовка рекомендацій до розрахунку міцності такого зчеплення. Для досягнення цієї мети приймемо за основу методику розрахунку граничних напружень зчеплення сучасних норм проектування [1, 2, 3] та узгодимо цей алгоритм з особливостями явища зчеплення арматури з пінобетоном.

## Пропозиції до розрахунку граничних напружень зчеплення

У запропонованому розрахунку передбачимо обмеження напружень зчеплення за формулою, подібною до (1). Вважаємо правомірним модифікувати формулу (1), де використано величину міцності бетону на розтяг, замінюючи її на міцність пінобетону, визначену під час випробування кубиків на стиск, оскільки взаємозв'язок механіко-міцнісних характеристик пінобетону існує і був емпірично встановлений раніше [4].

Проведемо заміну розрахункового опору пінобетону на розтяг  $f_{ctd}$  на добуток  $A_{cb} \cdot f_{ck,cube} / g_c$ , де  $A_{cb}$  – коефіцієнт приведення кубикової міцності до міцності на розтяг,  $g_c$  – коефіцієнт надійності за матеріалом.

Значення коефіцієнта приведення  $A_{cb}$  знайдемо як середнє значення відношення  $f_{ctk,prism}$  до класу за міцністю на стиск у діапазоні класів від В 0,5 до В 5 [4].

$$A_{cb} = 0,14. \quad (2)$$

Відношення міцностей на стиск та розтяг ніздрюватих бетонів передбачено за оцінками науковців [5] на рівні 0,1..0,15, що додатково підтверджує обґрунтованість проведеної нами заміни.

За прикладом СНБ 5.03.01-02 [2] об'єднаємо два досліджувані види профілізації арматури в один випадок, прийнявши коефіцієнт  $\eta_3 = 2,25$  для стержневої арматури періодичного профілю,  $h_3 = 1,5$  для арматурного дроту. Додамо у множники також коефіцієнт  $h_4$ , що враховуватиме вплив на зчеплення додаткового покриття арматури, та коефіцієнт  $h_g$ , який враховує зменшення напружень зчеплення під час застосування додаткових анкерних пристроїв, що дає змогу допустити певне проковзування арматури.

Формула для знаходження граничних напружень зчеплення по контакту арматури з пінобетоном набуде вигляду:

$$f_{bd} = h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot h_4 \cdot h_g \cdot A_{cb} \cdot f_{ck,cube} / g_c, \quad (3)$$

де коефіцієнт приведення  $A_{cb} = 0,14$ , коефіцієнт  $h_1$  враховує умови зчеплення та положення стержнів під час бетонування, значення цього коефіцієнта для різних положень стержнів та значення коефіцієнта  $h_4$ , який враховує вплив додаткового покриття арматури, будуть об'єктом дослідження в наступному підпункті; коефіцієнт  $h_2$  враховує вплив діаметра, а коефіцієнт  $h_3$  – профіль арматурного стержня. Коефіцієнт  $h_g$  враховує допустимі зменшення напружень, якщо застосовується додатковий анкерний пристрій, інакше  $\eta_g = 1$ ;  $f_{ck,cube} / g_c$  – характеристична кубикова міцність пінобетону з урахуванням коефіцієнта надійності за матеріалом.

## Визначення коефіцієнта надійності за матеріалом для зчеплення арматури з пінобетоном

У виразі 3, який для випадку зчеплення сталевих арматур з безавтоклавним пінобетоном ми отримали за допомогою пристосування відомих підходів до опису явища зчеплення, є невідомим коефіцієнт надійності за матеріалом  $g_c$ . У визначенні коефіцієнта  $g_c$  використали результати

випробувань зчеплення у 145 призматичних та балкових зразках [6, 7]. Для цього проведено порівняння фактичних значень рівня напружень для двох граничних станів ( $t_{0,01, fact}$ ;  $t_{r, fact}$ ) зі значеннями, отриманими за формулою (4) для знаходження характеристичних значень граничних напружень зчеплення:

$$f_{bk} = f_{bd} \cdot g_c = h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot h_4 \cdot h_g \cdot A_{cb} \cdot f_{ck, cube} \quad (4)$$

Порівняння значень фактичних напружень ( $t_{0,01, fact}$ ;  $t_{r, fact}$ ) з характеристичним значенням  $f_{bk}$  проводились за допомогою величини, оберненої до коефіцієнта запасу за формулами (5):

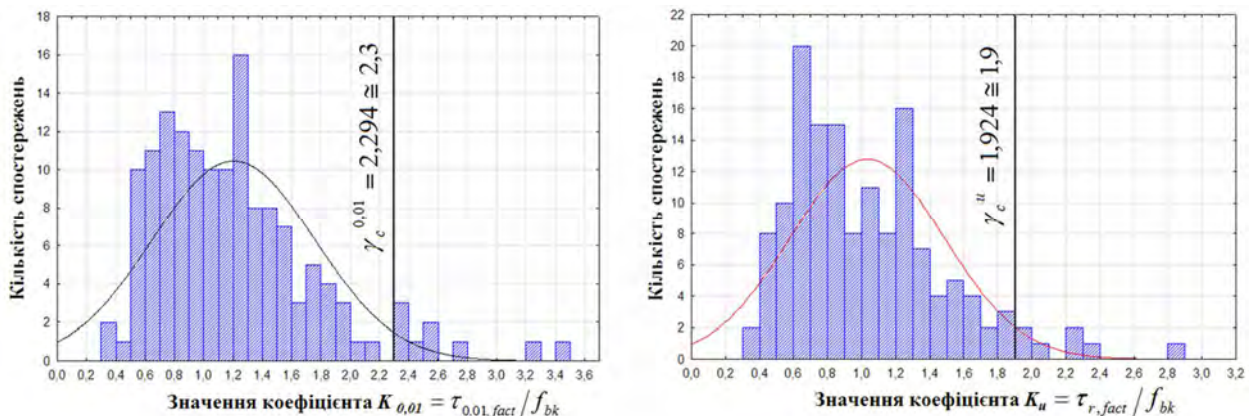
$$K_{0,01} = t_{0,01, fact} / f_{bk}; \quad K_u = t_{r, fact} / f_{bk} \quad (5)$$

Коефіцієнт  $g_c$  знайдемо для двох запропонованих граничних станів як верхню довірчу межу для сукупності знайдених коефіцієнтів з умови 95-відсоткової забезпеченості:

$$g_c = \tilde{K} + e = \tilde{K} + tS(\tilde{K}), \quad (6)$$

де  $\tilde{K}$  – середнє значення відповідного коефіцієнта,  $t$  – коефіцієнт Стюдента ( $t \approx 1,97$  для 145 спостережень та  $\alpha = 0,05$ ),  $S(\tilde{K})$  – стандартне відхилення.

Аналіз розкиду коефіцієнтів  $K$  для двох граничних станів проілюстровано графічно на рисунку.



Визначення коефіцієнта надійності за матеріалом  $g_c$ :

$a$  – для граничного стану на початку ковзання;

$b$  – для граничного стану під час фізичного руйнування

Наслідком статистичного аналізу стали наступні значення коефіцієнта надійності:

$$g_c^{0,01} = 2,294 \approx 2,3; \quad g_c^u = 1,924 \approx 1,9. \quad (7)$$

Застосовуючи подані коефіцієнти надійності, розрахункові рівні напружень  $f_{bd}$  за формулою (3) гарантовано у 95 % випадках є меншими за їхні фактичні значення. Також отримані значення коефіцієнта не перевищують значення коефіцієнта надійності за матеріалом для пінобетону в розтягнутому стані  $g_{ct} = 2,3$ , що використовується [8, табл. 5].

### Додаткові обмеження

Проведені дослідження [6] експериментально підтвердили зниження величини напружень зчеплення, зведених до усередненої прямокутної епюри, при зростанні відносної довжини зони зчеплення. Тому логічно обмежити діапазон застосування розрахункової формули (3) довжиною анкерування, що досліджувалася, а саме: відношенням довжини анкерування до номінального діаметра арматури  $l_b / d \leq 75$  для стержневої арматури періодичного профілю та  $l_b / d \leq 135$  для арматурного дроту.

### Висновки

За результати випробувань анкерування арматури у пінобетоні, виконаних з використанням 145 зразків та на основі аналізу сучасних норм проектування запропоновано спосіб знаходження граничних напружень зчеплення. Запропонована розрахункова формула відрізняється від поданої в нормах проектування низкою нових коефіцієнтів та заміною міцності пінобетону на розтяг на величину його міцності на стиск з перевідним коефіцієнтом. Додатково визначено значення коефіцієнта надійності для двох граничних станів та введено обмеження щодо застосовного діапазону відносної довжини анкерування, що забезпечило надійність розрахунку.

1. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування – [Чинний з 01.06.2011]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 2. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02 [Текст] – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2003. – 139 с. 3. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings : EN 1992-1-1:2004 [Text] – Publication Date: 2004-12-23/ BSi, 2004. – 230 p. 4. Верба В.Б. Взаємний зв'язок міцнісних та деформаційних характеристик безавтоклавного пінобетону [Текст] / В. Б. Верба, І. Б. Горніковська, Х. Б. Демчина, В. В. Волоцюга, П. О. Голик // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Макіївка, ДонНАБА, 2012. – Т. 8, № 1. – С. 27–35. 5. Legatski L. A. Cellular concrete, significance of tests and properties of concrete and concrete making materials [Text] / L. A. Legatski // Klieger P. K., Lamond J. F., editors. ASTM Special Technical Publication. Philadelphia, No. 169. – P. 533–539. 6. Верба В.Б. Анкерування стержневої арматури в пінобетоні зчепленням та пластинковим анкером [Текст] / В.Б. Верба // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Вип. 21. – С. 163–169. 7. Демчина Б. Г. Анкерування сталевих арматур за рахунок зчеплення у зразках-балках з пінобетону [Текст] / Б. Г. Демчина, В. Б. Верба, Р. В. Сухоцький, Т. П. Пиріг // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” № 742. Теорія і практика будівництва. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – С. 51–56. 8. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов (к СНиП 2.03.01-84) [Текст] – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. – 70 с.