

УДК 624.014.2.004:624.0/2

**ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ КОЛОН ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ІЗ ЗНАКОЗМІННИМИ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ**

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОЛОН ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗОК СО ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ**

**ESTIMATE OF RELIABILITY FOR REINFORCED-CONCRETE OFF-CENTRE COMPRESSIVE PILLARS DURING EFFECT OF LOW-CYCLE LOADS WITH ALTERNATING ECCENTRICITIES**

**Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Алексієвець І.І., к.т.н.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Алексиевец И.И. к.т.н.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**Masjuk G.Kh., candidate of technical sciences, professor, Aleksijevets I.I., candidate of technical sciences, senior lecturer** (National university of water management and nature resources use, Rivne)

**Використовуючи експериментально-теоретичні дані, виконаний числовий приклад розрахунку оцінки надійності залізобетонних позацентрово стиснутих колон, які випробовують дії малоциклових знакозмінних навантажень. При визначенні оцінки надійності колон була використана існуюча методика розрахунку надійності будівельних конструкцій за дії однократних статистичних навантажень з дотриманням чинних нормативних документів.**

**Используя экспериментально-теоретические данные, выполненный числовой пример расчета оценки надежности железобетонных внецентренно сжатых колон, которые испытывают действия малоцикловых знакопеременных нагрузок. При определении оценки надежности колон была использована существующая методика расчета надежности строительных конструкций при действии однократных статистических нагрузок с соблюдением действующих нормативных документов.**

**The applicable normative documents for defining of bearing capacity, cracking resistance, deformation, and reliability nohow take into account the behaviour of off-centre compressive elements, which are in conditions of low-**

cycle alternating loads, during exploitation. However, as the results of experiments showed, the behaviour of off-centre compressive elements during effect of low-cycle alternating loads is distinctly different from behaviour of elements, that experience the effect of univalent static loads. The low-cycle alternating loads influence on bearing capacity, cracking resistance, and deformability that ought to be taken into account during design of mentioned constructions. The accounting of this factor characterizes the real behaviour of such construction and allows to estimate straightly the off-centre compressive elements. Using the experimental and theoretical data, the numerical example of estimate determination for reliability of reinforced-concrete off-centre compressive pillars, which experience the effect of low-cycle alternating loads, was made. During estimating the reliability of pillars, it was used the existed methods of calculation for engineer construction during the effects of single-valued static loads with adherence to applicable normative documents.

**Ключові слова:** залізобетонні колони, позацентровий стиск, малоциклові знакозмінні навантаження, надійність, випадкові величини.  
железобетонные колонны, внецентровое сжатие, малоцикловые знакопеременные нагрузки, надежность, случайные величины.  
ferro-concrete columns, centrifugal compression, low-cycle sign-exchange loads, reliability, random variables.

**Вступ.** Будівництво є однією із матеріалоемних виробничих галузей. Питання надійності будівель, конструкцій і їх елементів, так як і ресурсозбереження, завжди були і залишаються проблемними.

Надійність і економічність – необхідні умови проектування, зведення і експлуатації будівель і споруд. Необхідність забезпечення високого рівня надійності будівель, споруд і їх конструктивних елементів абсолютно очевидна, оскільки їх вихід із ладу, включаючи можливі аварії і руйнування, призводить до великих економічних втрат, небезпечних екологічних наслідків, а іноді до катастроф з людськими жертвами.

Із досвіду будівництва і експлуатації будівельних об'єктів можна засвідчувати, що однотипні будівлі і споруди, які будуються і експлуатуються в аналогічних умовах, або їх окремі конструктивні елементи виходять із ладу в різні випадкові періоди. Тобто не можливо точно визначити термін служби будівельної конструкції чи будівлі в цілому, а можна лише оцінити ймовірність, з якою буде експлуатуватись ця будівля чи споруда протягом заданого періоду. А значить в методах оцінки надійності конструктивних елементів необхідна достовірна інформація про змінність параметрів міцності будівельних матеріалів, величини навантажень і їх характеру, як випадкових величин, відхилень від розрахункових моделей і т.п. Із всіх факторів, що впливають на надійність конструкцій і будівель в цілому, навантаження і його дії являють собою найбільш невизначені

величини, що мають великі статистичні розкиди. Тому вивчення мінливості режимів навантажень відіграє головну роль в питаннях надійності і конструктивної безпеки будівельних конструкцій, будівель та споруд.

**Аналіз останніх публікацій і досліджень.** Становлення і розвиток базових основ забезпечення надійності в будівництві було започатковано ще наприкінці двадцятих років минулого століття в роботах М. Майера [1] та М.Ф. Хоціалова [2]. Пізніше, в кінці сорокових років минулого століття, сучасне загальноприйняте трактування поняття надійності в сфері будівельної галузі пов'язується, в першу чергу, з роботами М.С.Стрелецького [3] і А.Р. Ржаніцина [4]. У цих роботах був закладений «фундамент» сучасної теорії надійності будівель і споруд, де в якості випадкових величин використовувались не тільки статистична природа мінливості міцнісних характеристик матеріалів, а й параметрів навантажень на них та доведено необхідність ймовірнісної оцінки роботоздатності будівлі чи споруди. Саме А.Р. Ржаніциним були сформульовані принципові положення концепції безпеки споруди чи будівлі, що представляють собою базові засади усієї теорії надійності.

Пізніше фундаментальні дослідження, присвячені проблемі надійності з використанням ймовірнісних моделей проводили такі вчені як В.В. Болотін [5], В.Д. Райзер [6,7]. Значний вклад у вдосконалення методів розрахунку надійності конструкцій внесли В.А. Перельмутер [8,9], А.П. Кудзис [10], А.С.Личов [11], М.М. Застава [12], С.Ф. Пічугін [13,14], А.І. Лантух-Ляшенко [15] і ін.

Із закордонних досліджень даної проблеми відомі роботи А.І. Yohnson [16], А.М. Frenzenhal [17], Г. Агусти, А. Братта, Ф. Кашиати [18], О. Ditlevsen and Н.О. Madsen [19], R. Melchers and M. Ahammed [20] і ін.

**Мета і задачі досліджень.** На основі експериментально-теоретичних досліджень визначити оцінку надійності залізобетонних позацентрово стиснутих колон за дії малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами.

**Основна частина тексту.** Позацентрово стиснуті залізобетонні стержневі елементи є найбільш поширеними в складі будівель та споруд. При цьому навантаження, які діють на такі елементи, мають різноманітний характер – від одноразових статичних до малоциклових повторних і знакозмінних. Останні навантаження спричиняють особливі умови роботи цих елементів, викликаючи зміни фізичних і деформативних характеристик бетону, впливаючи на процеси тріщиноутворення, розкриття тріщин та їх деформативність. До позацентрово стиснутих залізобетонних конструкцій, на які можуть діяти малоциклові знакозмінні навантаження, відносяться колони одноповерхових промислових будівель, колони багатопверхових будівель та різноманітних споруд, стійки кранових і транспортних естакад, елементи контрфорсних підпірних стін тощо.

Малоциклові знакозмінні навантаження в елементах, що працюють на позацентровий стиск, можуть виникати при реконструкції будівель і споруд, коли змінюється їх конструктивна схема, а також при аварійних ситуаціях.

В лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд при керівництвом автора, було проведено експериментальні дослідження роботи позацетрово стиснутих колон за дії малоциклових навантажень різної інтенсивності із знакозмінними ексцентриситетами. Колони розмірами  $b \cdot h \cdot l = 100 \cdot 160 \cdot 3000$  мм, виготовлені із бетону класів С 16/20 і С 20/25. Армування колон здійснювалось просторовими каркасами. В якості робочої поздовжньої арматури прийнята арматура із 4-х стержнів діаметром 12 мм із класу А 400С, а поперечна – із сталі класу В 500, діаметром 4 мм з кроком 150 мм. Випробування колон здійснювалось при різних режимах завантажень. Методика проведення експериментальних досліджень наведена в [21].

Колони випробовувались на позацентровий стиск у віці 30 діб і старше в спеціальних установках. Поздовжня сила прикладала з ексцентриситетом  $\Delta_0 = 10$  см через сталеві оголовки. Режими малоциклових знакозмінних навантажень для різних колон були різних рівнів і змінювались від  $\eta = 0,3$  до  $\eta = 0,85$ .

Аналіз експериментальних досліджень показав, що знакозмінні малоциклові навантаження при низьких рівнях завантаження підвищують несучу здатність позацетрово стиснутих елементів в порівнянні з елементами, які зазнавали дії одноразового статистичного навантаження. Діапазон підвищення несучої здатності, в залежності від рівня завантажень, знаходився в межах 8%...12%. Це можна пояснити певним ущільненням бетону. Хоча при високих рівнях  $\eta = 0,80$  цей ефект підвищення несучої здатності практично нівелювався, а за рівня  $\eta = 0,85$  навіть знижується до 7%, , так як в бетоні розтягнутих зон виникали тріщини і бетон ущільнювався тільки в середній частині колони. Також суттєво знакозмінні навантаження впливають і на тріщиностійкість і ширину розкриття тріщин, яка збільшується, в залежності від рівня завантажень, від 12% до 35%. Руйнування колон відбувалось в наслідок текучості арматури в розтягнутій зоні.

В результаті вище викладеного визначимо оцінку надійності позацетрово стиснутих колон, що зазнають малоциклових навантажень із знакозмінними ексцентриситетами на основі числового прикладу. Для розрахунку надійності візьмемо колони з найменшого несучою здатністю.

**Числовий приклад.** Вихідні дані – колона має переріз з розмірами  $b \cdot h = 100 \cdot 160$  мм,  $\alpha = \alpha' = 15$  мм, армування по 2 стержні з кожної колони  $\varnothing 12$  мм із класу А400 ( $A_s = A_s' = 2,26 \text{ см}^2$ ),  $f_{yd} = f_{yd}' = 365$  МПа, бетон класу С20/25 ( $f_{cd}' = 17$  МПа.)

$N_u = 130$  кН,  $e_0 = 10$  см.  $M_u = N_u \cdot e_0 = 13$  кНм. (прийняті параметри із даних випробуваних колон).

Оцінюємо надійність колони за методикою, викладеною в [14] з дотриманням вимог [21].

### Статистичні характеристики матеріалів.

Визначаємо їх за розрахунковими характеристиками:

Бетон С20/25

- математичне сподівання:

$$\bar{\sigma}_c = \frac{f_{cd}}{1 - 1,64 \cdot V} = \frac{17}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = 21,83 \text{ МПа} = 2,18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

- стандарт (коефіцієнт варіації  $V_c = 0,135$ )

$$\hat{\sigma}_c = \bar{\sigma}_c \cdot V_c = 21,83 \cdot 0,135 = 2,95 \text{ МПа} = 0,295 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Арматура А400 С

- математичне сподівання:

$$\bar{\sigma}_s = f_{yd} = 365 \text{ МПа} = 36,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

$$\bar{\sigma}_{sc} = f'_y = 300 \text{ МПа} = 30 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \text{ (дані з експериментальних досліджень)}$$

- стандарт (коефіцієнт варіації  $V_s = 0,0436$ , по табл. 2.31 [14])

$$\hat{\sigma}_s = \bar{\sigma}_s \cdot V_s = 365 \cdot 0,0436 = 15,91 \text{ МПа} = 1,59 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

$$\hat{\sigma}_{sc} = \bar{\sigma}_{sc} \cdot V_s = 300 \cdot 0,0436 = 13,08 \text{ МПа} = 1,31 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Числові характеристики зусиль (згинального моменту)

- математичне сподівання граничного моменту:

$$\begin{aligned} \bar{M}_u &= \bar{\sigma}_s A_s \cdot d - \bar{\sigma}_{sc} \cdot A'_s \cdot \alpha' - 0,5 \cdot \frac{(\bar{\sigma}_s A_s - \bar{\sigma}_{sc} \cdot A'_s)^2}{\bar{\sigma}_c - b} = \\ &= 36,5 \cdot 2,26 \cdot 14,5 - 30,00 \cdot 2,26 \cdot 1,5 - \frac{0,5}{21,83 \cdot 10} (36,5 \cdot 2,26 - 30,0 \cdot 2,26)^2 \\ &= 1093,1 \text{ кНсм} = 10,93 \text{ кНм} \end{aligned}$$

- поздовжньої сили

$$\bar{N} = \bar{\sigma}_s A_s - \bar{\sigma}_{sc} A'_s - 0,5 \frac{(\bar{\sigma}_s A_s - \bar{\sigma}_{sc} A'_s)}{\bar{\sigma}_c b} = 6,5 - 0,97 = 5,53 \text{ кН}$$

Геометричні характеристики перерізу колони:

$$A = 160 \text{ см}^2. W = 426,7 \text{ см}^2 \quad i_x = 2,67 \text{ см.}$$

Виконаємо обчислення використовуючи параметри колони:

$$\bar{m} = \frac{\bar{M}_u}{\bar{N}_u} \frac{A}{W} = \frac{10,93 \cdot 160}{5,53 \cdot 426,7} = 0,741 \quad \text{- відносний ексцентриситет.}$$

Приведений відносний ексцентриситет

$$\bar{m}_{ef} = \eta \cdot \bar{m} = 1,26 \cdot 0,741 = 0,934$$

$$l_g \bar{m}_{ef} = -0,03$$

Гнучкість колони

$$\lambda = \frac{H}{b} = \frac{300}{10} = 30$$

Відносна гнучкість елемента

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{f_{yd}}{E_s}} = 30 \sqrt{\frac{400}{2 \cdot 105}} = 1,342$$

Визначимо числові характеристики резерву стійкості колони.

- Математичне сподівання:

$$\bar{Y} = \bar{f}_{yd} - \frac{\bar{N} \cdot 10}{A \cdot b(1 + C \cdot t_g m_{ef})} = 36,5 - \frac{5,53 \cdot 10}{100 \cdot 0,544[1 - 0,805 \cdot 0,03]} = 363,96$$

$$b = K_1 - K_2 \cdot l_g \bar{\lambda} = 0,7 - 0,62 \cdot 0,251 = 0,544$$

$$c = K_3 - \frac{K_4}{b} = 0,943 - \frac{0,075}{0,544} = 0,805$$

де  $K_1, K_2, K_3, K_4$ - коефіцієнти прийняті по [14].

Визначаємо коефіцієнти для визначення стандарту стійкості.

$$A_1 = 1;$$

$$A_2 = \frac{Cl_g \bar{m}_{ef} + C_d - 1}{A \cdot b(1 - Cl_g \bar{m}_{ef})^2} = \frac{0,805 \cdot (-0,03) + 0,805 \cdot 0,4343 - 1}{160 \cdot 0,544(1 + 0,805 \cdot 0,03)^2} = \frac{-0,674}{91,294} = -0,7 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{см}^2}$$

$$A_3 = -\frac{C_d r}{b \bar{m}_{ef} W(1 - Cl_g \bar{m}_{ef})^2} = -\frac{0,805 \cdot 0,4343 \cdot 1,26}{0,544 \cdot 0,934 \cdot 426,7(1 + 0,805 \cdot 0,03)^2}$$

$$= -0,194 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{см}^2}$$

Стандарт резерву стійкості, визначаємо за умовою:

$$\hat{Y} = 10 \sqrt{A_1^2 \bar{\sigma}_s^2 + A_2^2 \bar{N}^2 + A_3^2 \bar{M}_u^2}$$

$$= \sqrt{1 \cdot 3665^2 + (-0,7 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 5,53^2 + (-0,194 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 1093,1^2} = 42,23 \text{ МПа}$$

Характеристика безпеки буде:

$$\beta = \frac{\bar{Y}}{\gamma} = \frac{363,96}{42,23} = 8,62$$

що при нормальному резерві стійкості дає ймовірність відмови колони  $Q = 3,91 \cdot 10^{-19}$  (табл.Д3) [14].

Як бачимо із отриманих результатів надійність або безвідмовна робота випробуваних за дії малоциклових знакозмінних навантажень позацентрово стиснутих колон досить висока.

**Висновки.** На основі аналізу експериментально-теоретичних досліджень роботи залізобетонних позацентрово стиснутих колон, що працюють за дії малоциклових знакозмінних навантажень визначено оцінку надійності колон при випробуванні за вказаних навантажень. Слід зазначити, що надійність роботи даних конструкцій в процесі експлуатації буде забезпечена.



1. Mayr M. Die Sicherheit der Bauwerte und ihre Berechnung nach Graften statt nach zulässigen Spannungen. Springer Verlag, Berlin, 1926.
2. Хоциалов Н.Ф. Запаси прочности. Строительная промышленность, №10.- М.:1926.
3. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. – М.: Строиздат, 1947, -94 с.
4. Ржаницын А.Р.. Теория расчета строительных конструкций на надежность. –М.: Стройиздат, 1978.-238с.
5. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1982.-352 с. 6. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995.-348 с.
7. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений /В.Д. Райзер. – М.: Изд-во АСВ, 2010.-384с.
8. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. 3-е изд. перераб. И доп. – М.: Изд-во АСВ. 2007.-256с.
9. Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. - Новые направления в анализе надежности строительных конструкций: Сб.статей - Саарбрюккен, Германия: Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, 2014.-112с.
10. Кудзис А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций – Вильнюс: Москлас, 1985-156с.
11. Личов А.С. Надежность строительных конструкций. – М: АСВ, 2008.- 184с.
12. Застава М.М. Агаев А.А., Работин Ю.А. Регулирование расчетной надежности железобетонных конструкций.- Одесса, 1996.- 194с.
13. Пичугін С.Ф. Надійність технічних систем. Навч.посібник - Полтава: ПолтДТУ, 2000. – 157 с.
14. Пичугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія / С.Ф. Пичугін.-Полтава: ТОВ»АСМГ», 2016.-520с.
15. Лантух-Лященко А.І. Концепція надійності в Єврокоде /Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, №6.- Київ, 2014.- С.79-88. 16. Jonson A.I. Strength. Safety und economical dimensions of structures. Bull.of Div.Struct.Engng, Roy.Inst.Techn.Stockholm,- 1953,-№12.- 373-78.
17. Freudenhal A.M.The Safety and the Probability of Structural Failure.-Proc.of ASCE, vol.80,paper №468, 1954.-P.451-469.
18. Аугусти Г., Баратта А., Кашиатти Ф. Вероятные методы в строительном проектировании. (Пер. с англ.) М.: Стройиздат, 1988.-580с.
19. Ditlewsen O., Madsen H.O. Structural Reliability Methods.-Texnia University of Denmark, 2007.-361p.
20. Melchers R.E., Ahammed M.A. Fast approximate method for parameter sensitivity estimation in Monte Carlo structural reliability /COMPUTERS & STRUCTURES.- Kidlington, 2004.- p.55-61.
21. Алексієвець І.І. Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових знакозмінних навантажень: дис.к.т.н., - Рівне. 2014.-141с.
22. ДБН В.1.2.-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. - К.: Мінрегіонбуд, 2009.-30с.
23. ДБН В.2.6.-2009. Конструкції будинків і споруд, бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.-97с.
24. ДСТУ Б.В.2.6- 156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування.- К. Мінрегіонбуд України, 2010.-188с.