

**ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН, ЩО ЗАЗНАЛИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ**

**Павліков А.М.**, д.т.н, професор,  
am.pavlikov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5654-5849

**Гарькава О.В.**, к.т.н,  
olga-boiko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2214-3128

**Баріляк Б.А.**, аспірант,  
barylyak\_bogdan@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5906-6763,

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

**Анотація.** Отримано аналітичні формули для визначення усіх необхідних параметрів для розрахунку міцності залізобетонних колон, які працюють в умовах косоного стиску через експлуатаційні пошкодження. Розглянуто випадок косодеформованих колон з трикутною формою стиснутої зони бетону. В основу теоретичних досліджень покладені передумови відповідно до діючих норм з проектування залізобетонних конструкцій. При цьому в стиснутому бетоні прийнято рівномірний характер розподілу напружень, а зв'язок між напруженнями і деформаціями в арматурі описано дволінійною діаграмою з горизонтальною верхньою гілкою. При виведенні формул використані рівняння рівноваги сил в перерізі, деформаційний критерій міцності та теорема про розташування внутрішніх і зовнішніх сил в одній площині.

**Ключові слова:** залізобетон, колона, косий стиск, міцність, розрахунок.

**Вступ.** Сучасні тенденції необхідності технічного переоснащення та модернізації виробничих процесів призводять до випередження об'ємів реконструкції об'єктів промисловості, житлового та комунального господарства порівняно з новим будівництвом. Збільшенню об'ємів таких робіт також сприяє необхідність відновлення і підсилення залізобетонних конструкцій, які вже довготривалий час експлуатуються в умовах агресивного середовища, зазнали негативних впливів температури та інших факторів. Перепрофілювання та відновлення будівельних об'єктів, як правило, супроводжується змінами величини і характеру впливу навантаження на будівельні конструкції. Основною проблемою при оцінюванні технічного стану окремих конструкцій, будівель і споруд, котре слід здійснювати згідно з вимогами [1], є визначення важливого показника експлуатаційної придатності – міцності.

Підсилення залізобетонних конструкцій та застосування того чи іншого його способу стосовно окремих залізобетонних елементів (наприклад, викладені у роботах [2-3] та інших) виконують на основі аналізу можливості надійної експлуатації розглядуваних конструкції з наявністю дефектів і пошкоджень чи без них. При цьому досить часто виникає потреба у розв'язанні задач відновлення або збільшення несучої здатності залізобетонних конструкцій з метою забезпечення їх експлуатаційних якостей в умовах складного деформування. Але на теперішній час особливості складного деформування реконструйованого залізобетону при проектуванні підсилення залізобетонних конструкцій враховуються умовно. Зокрема, чинні норми [4] не містять рекомендацій з розрахунку міцності залізобетонних конструкцій для значної кількості випадків їх експлуатації в умовах складного деформування, яке є наслідком пошкодження чи виникає в результаті зміни конструктивних рішень при реконструкції.

Дефекти, а також пошкодження залізобетонних конструкцій, що виникають у процесі експлуатації, є чинниками, що спричиняють виникнення складних видів деформування, зокрема косоного згинання та косоного стиску [5]. До яких, крім названих факторів також можуть приводити зміни величини і характеру впливу навантаження при підсиленні елементів. У результаті зазначених причин в позацентрово стиснутих елементах, як правило, відбувається

зміщення точок прикладання рівнодійних зусиль в стиснутій або розтягнутій зонах перерізу від головних центральних осей його інерції, тобто елемент зазнає косоного стискання.

Таким чином, можна стверджувати, що залізобетонні колони, котрі зазнали експлуатаційних пошкоджень, працюють в умовах косоного стиску. При цьому дуже часто косостиснуті конструкції розраховують на позacentровий стиск в двох площинах інерції, оскільки методи розрахунку залізобетонних конструкцій на складні види деформацій потребують удосконалення.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** Методи розрахунку міцності залізобетонних елементів, що зазнають косоного стискання, розроблені в публікаціях [6 – 10]. Зокрема, розв'язуються задачі розрахунку косостиснутих елементів на основі нелінійної деформаційної моделі [9] та з використанням дволінійних діаграм деформування бетону й арматури [10]. В публікації [11] відмічається проблема оцінювання технічного стану конструкцій, елементи яких зазнали пошкодження в процесі експлуатації, і через це додатково зазнають явища їх складного деформування. У роботах закордонних вчених [12 – 14] проблеми розрахунку несучої здатності косостиснутих елементів вирішуються у загальному вигляді для перерізів довільної конфігурації з отворами та без них, але такий підхід є складним для практичної реалізації, а запропоновані спрощення у вигляді графіків та діаграм є дуже наближеними.

*Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.* Постає об'єктивна необхідність в розробці спрощеної методики розрахунку міцності колон на косий стиск, яка поєднає необхідну точність обчислень з простотою їх реалізації.

**Постановка завдання.** Розроблення методики розрахунку міцності на косий стиск залізобетонних колон, які зазнали експлуатаційних пошкоджень.

**Методика дослідження.** Розв'язується задача отримання аналітичних формул для визначення всіх невідомих параметрів при розрахунку міцності у нормальному перерізі косостиснутих колон з трикутною формою стиснутої зони бетону. В основу теоретичних досліджень покладені передумови розрахунку за нормами [4]. При цьому у стиснутому бетоні прийнято рівномірний характер розподілу напружень за [4, рис. 3.5]. Зв'язок між напруженнями і деформаціями в арматурі описується дволінійною діаграмою з горизонтальною верхньою гілкою без необхідності перевірки граничної деформації за [4, рис. 3.10].

**Основний матеріал і результати.** Для розв'язання поставленої задачі використано розрахункову схему для нормального перерізу косостиснутої залізобетонної колони квадратного профілю (рис. 1). Виведення розрахункових формул базується на загальних рівняннях рівноваги. Ураховуючи прийняті передумови, розрахункові рівняння рівноваги в площині координатної осі  $Y$  перпендикулярної до нейтральної лінії записані у такому вигляді:

$$\sum Z = 0: N_{Ed} + \sum_{i=1}^n N_{si} - N_c = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_A = 0: N_c (y_{Ed} - y_c) + \sum_{i=1}^n N_{si} (y_{Ed} - y_{si}) = 0, \quad (2)$$

де  $N_c$  – рівнодійна напружень в бетоні стиснутої зони;

$N_{si}$  – зусилля в  $i$ -тому арматурному стрижні;

$n$  – кількість арматурних стрижнів у перерізі;

$N_{Ed}$  – поздовжня сила від зовнішнього навантаження;

$y_{Ed}$  – координата точки прикладання сили  $N_{Ed}$ ;

$y_c$  – координата точки прикладання зусилля  $N_c$ ;

$y_{si}$  – координата точки прикладання зусилля  $N_{si}$ .

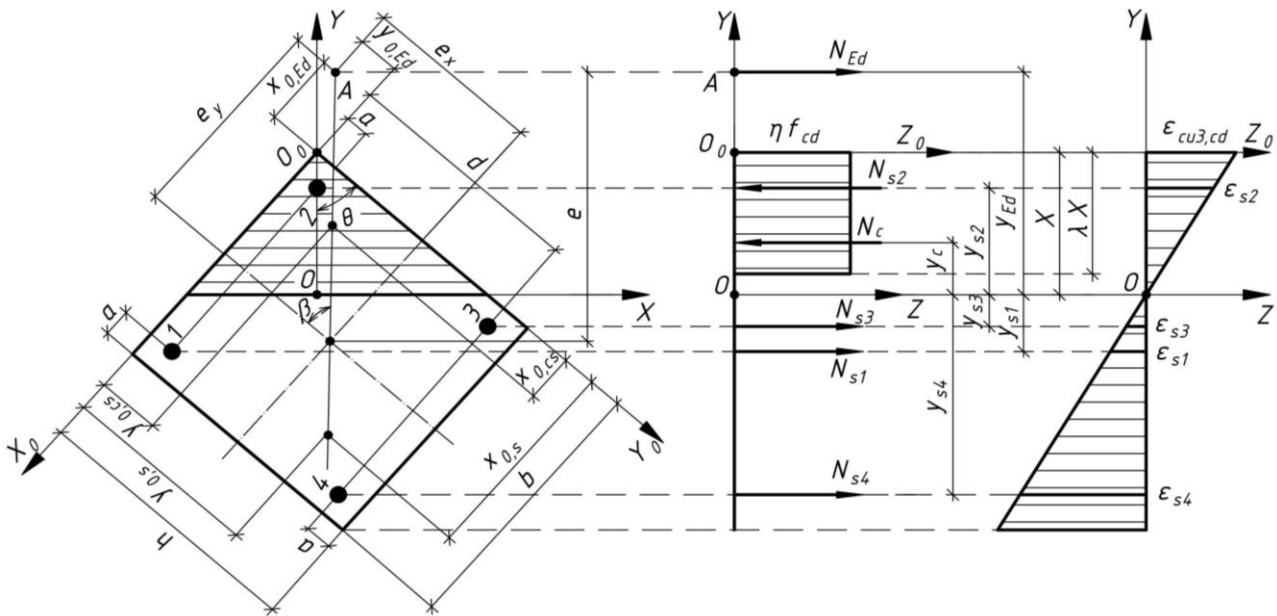


Рис. 1. Розрахункова схема нормального перерізу косостиснутої залізобетонної колони з трикутною формою стиснутої зони

Для спрощення рівнянь рівноваги спочатку отримані вирази для рівнодійної  $N_c$  та координати  $y_{Nc}$  її прикладання в координатній площині  $XOY$ . Одержані вирази при трикутній формі стиснутої зони бетону (рис. 1.) мають такий вигляд:

$$N_c = \frac{\eta f_{cd} \lambda^2 X^2}{\sin 2\theta}; \quad (3)$$

$$y_{Nc} = \frac{X(3-2\lambda)}{3}, \quad (4)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт зниження міцності бетону за [4, 3.1.7 (3)];

$\lambda$  – коефіцієнт пружно-пластичних властивостей бетону за [4, 3.1.7 (3)];

$X$  – висота стиснутої зони;

$\theta$  – кут нахилу нейтральної лінії до горизонтальної осі інерції перерізу.

Визначення рівнодійних  $N_{si}$  пропонується виконувати залежно від значення напружень  $\sigma_{si}$ , що відповідають деформаціям  $\varepsilon_{si}$  на розрахунковій дволінійній діаграмі стану арматури, на основі виразу:

$$N_{si} = \sigma_{si} A_{si}, \quad (5)$$

де  $A_{si}$  – площа поперечного перерізу  $i$ -го стрижня арматури.

Значення напружень  $\sigma_{si}$  визначаються за законом Гука залежно від відносних деформацій арматури:

$$\sigma_{si} = E_s \varepsilon_{si}, \quad (6)$$

де  $\varepsilon_{si}$  – деформація арматури, яка визначається з використанням гіпотези плоских перерізів (рис. 1):

$$\varepsilon_{si} = \frac{y_{si} \varepsilon_{c(1)}}{X}, \quad (7)$$

де  $\varepsilon_{c(1)}$  – відносні деформації бетону найбільш стиснутого ребра колони (фіброві деформації бетону).

Для визначення фібрових відносних деформацій бетону  $\varepsilon_{c(1)}$  у момент руйнування застосовується деформаційний критерій міцності. Згідно з цим критерієм руйнування залізобетонного елемента настає тоді, коли деформації в бетоні у найвіддаленішій від нейтральної лінії точці досягають граничного значення. Отже, міцність косостиснутої залізобетонної колони перевіряється за такої умови деформування бетону:

$$\varepsilon_{c(1)} = \varepsilon_{cu3,cd} \cdot \quad (8)$$

Координати точок прикладання сили  $N_{Ed}$  та зусиль  $N_{si}$  в арматурних стрижнях у квадратному перерізі симетрично армованої чотирма стрижнями колони при трикутній формі стиснутої зони бетону (рис. 2) визначатимуться так:

$$y_{Ed} = X + e - (0,5h \cos \theta + 0,5b \sin \theta); \quad (9)$$

$$y_{s1} = X - (a \cos \theta + (b-a) \sin \theta); \quad (10)$$

$$y_{s2} = X - (a \cos \theta + a \sin \theta); \quad (11)$$

$$y_{s3} = X - (h-a) \cos \theta - a \sin \theta; \quad (12)$$

$$y_{s4} = X - (h-a) \cos \theta - (b-a) \sin \theta, \quad (13)$$

де  $e$  – ексцентриситет прикладання сили  $N_{Ed}$  відносно центра ваги перерізу колони,  $e = e_y \cos \theta + e_x \sin \theta$ ;

$e_x, e_y$  – ексцентриситети прикладання сили  $N_{Ed}$  відносно горизонтальної та вертикальної осей інерції перерізу колони відповідно;

$b$  – ширина поперечного перерізу залізобетонної колони;

$h$  – висота поперечного перерізу залізобетонної колони;

$a$  – відстань від центру ваги арматурного стрижня до найближчих граней поперечного перерізу колони.

Після підстановки залежностей (3) – (13) у рівності (1) – (2) отримаємо два рівняння з трьома невідомими, а саме:  $X, \theta, N_{Ed}$ . Для аналітичного розв'язання задачі необхідно ввести додаткову умову для визначення кута  $\theta$  нахилу нейтральної лінії.

Використовуючи теорему про розташування внутрішніх та зовнішніх сил в одній площині, можна записати дві залежності для кута  $\beta$  нахилу силової площини до вертикальної осі інерції перерізу в системі координат  $X_0O_0Y_0$ :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_{0,s} - x_{0,cs}}{y_{0,s} - y_{0,cs}}; \quad (14)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_{0,s} - x_{0,Ed}}{y_{0,s} - y_{0,Ed}}, \quad (15)$$

де  $x_{0,Ed}, y_{0,Ed}$  – координати точки прикладання сили  $N_{Ed}$  в системі координат  $X_0O_0Y_0$ ;

$x_{0,s}, y_{0,s}$  – координати точки прикладання рівнодійної  $N_s$  зусиль в розтягнутих арматурних стержнях в системі координат  $X_0O_0Y_0$ , які визначаються за наступними формулами:

$$x_{0,s} = \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_{si} A_{si} x_{0i}}{\sum_{i=1}^k \sigma_{si} A_{si}}; \quad (16)$$

$$y_{0,s} = \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_{si} A_{si} y_{0i}}{\sum_{i=1}^k \sigma_{si} A_{si}}, \quad (17)$$

де  $\sigma_{si}$  – напруження в  $i$ -тому розтягнутому арматурному стержні;

$A_{si}$  – площа перерізу  $i$ -того розтягнутого арматурного стержня;

$x_{0,si}, y_{0,si}$  – координати розташування  $i$ -того розтягнутого арматурного стержня у системі координат  $X_0O_0Y_0$ ;

$k$  – кількість розтягнутих арматурних стержнів;

$x_{0,cs}, y_{0,cs}$  – координати точки прикладання рівнодійної в бетоні трикутної стиснутої зони та в стиснутих арматурних стержнях у системі координат  $X_0O_0Y_0$ :

$$x_{0,cs} = \frac{N_c x_{0,c} + N_{sc} x_{0,sc}}{N_c + N_{sc}}; \quad (18)$$

$$y_{0,cs} = \frac{N_c y_{0,c} + N_{sc} y_{0,sc}}{N_c + N_{sc}}, \quad (19)$$

де  $N_c, N_{sc}$  – рівнодійні зусиль відповідно в стиснутій зоні бетону та в стиснутих арматурних стержнях;

$x_{0,c}, y_{0,c}$  – координати точки прикладання рівнодійної в бетоні трикутної стиснутої зони у системі координат  $X_0O_0Y_0$  можна обчислити за наступними формулами:

$$x_{0,c} = \frac{\lambda X}{3 \sin \theta}; \quad (20)$$

$$y_{0,c} = \frac{\lambda X}{3 \cos \theta}; \quad (21)$$

$x_{0,sc}, y_{0,sc}$  – координати точки прикладання рівнодійної в стиснутих арматурних стержнях у системі координат  $X_0O_0Y_0$ , що можуть визначатися за формулами (16) – (17), в яких  $k$  – кількість стиснутих арматурних стержнів.

Таким чином, співставивши рівняння (14) та (15), отримаємо:

$$\frac{x_{0,s} - x_{0,Ed}}{y_{0,s} - y_{0,Ed}} = \frac{x_{0,s} - x_{0,cs}}{y_{0,s} - y_{0,cs}}. \quad (22)$$

Оскільки координати  $(x_{0,c}, y_{0,c})$  точки прикладання рівнодійної зусиль  $N_c$  в стиснутій зоні бетону залежать від кута  $\theta$  згідно з (20) та (21), то рівність (22) за своєю суттю є залежністю, що відображає в неявному вигляді функцію  $\theta = f(\beta)$  та дозволяє визначати кут  $\theta$  нахилу нейтральної лінії в перерізі косостиснутої колони.

Сумісне розв'язання рівнянь (1) і (2) з урахуванням залежностей (8) та (22) дає можливість обчислити всі невідомі параметри напружено-деформованого стану руйнуванні косостиснутої залізобетонної колони в нормальному перерізі для випадку трикутної форми стиснутої зони, тобто розв'язати задачу визначення її міцності.

**Висновки.** У результаті проведених теоретичних досліджень на основі застосування деформаційної моделі з прямокутним розподілом напружень в стиснутій зоні бетону отримані аналітичні залежності для визначення всіх параметрів, необхідних для перевірки несучої здатності при косому стиску залізобетонних колон, що зазнали пошкоджень у процесі експлуатації.

## Література

1. Нормативні документи з питань обстеження, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Держ. Комітет буд-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України. – К., 1997. – 145 с.
2. Мальганов А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук. – Томск: изд-во Томского университета, 1992. – 456 с.
3. Гольшев А.Б. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / А.Б. Гольшев, И.Н. Ткаченко. – Киев: ЛОГОС, 2001. – 172 с.
4. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд: ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 312 с.
5. Гарькава О.В. Аналіз причин косоного деформування залізобетонних колон / О.В. Гарькава, А.О. Пискун // Тези та програма III Міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві» (28-29 березня 2018 р.). – К: КНУБА, 2018. – С. 187 – 188.
6. Торяник М.С. Косое внецентренное сжатие и кривой изгиб в железобетоне / М.С. Торяник. – К.: Госстройиздат Украины, 1961. – 156 с.
7. Торяник М.С. Расчет железобетонных элементов двутаврового сечения на косое внецентренное сжатие с малыми эксцентриситетами / М.С. Торяник, П.Ф. Вахненко // Бетон и железобетон. – 1968. – №6. – С.44 – 48.

8. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях. / М.С. Торьяник, П.Ф. Вахненко, Л.В.Фалеев, Л.И. Сердюк и др.; Под ред. М.С. Торьяника. – М.: Стройиздат, 1974. – 297 с.
9. Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії : монографія / А.М. Павліков. – Полтава, 2007. – 320 с.
10. Павліков А.М. Розрахунок несучої здатності колон при їх косому деформуванні у складі безкапітельно-безконсольно-безбалкової конструктивної системи будівель / А.М. Павліков, О.В. Гарькава // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2016. – Вип. 33. – С. 191 – 199.
11. Клименко Е.В. Экспериментально-статистическое моделирование работы железобетонных колонн, поврежденных в процессе эксплуатации / Е.В. Клименко, А.Д. Довгань, Желько Кос // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2017. – Вип. 67. – С. 37 – 42.
12. Bouzid T. Practical method for analysis and design of slender reinforced concrete columns subjected to biaxial bending and axial loads / T. Bouzid, K. Demagh // Slovak journal of civil engineering . – Bratislava: Slovak university of technology, 2011. – Vol.1. – P. 24 – 32.
13. Chen S.F. Design of biaxially loaded short composite columns of arbitrary section / Chen S.F., Teng J.G., Chan S.L. // Journal of Structural Engineering, 2001. – Vol. 127(6). – P. 678 – 685.
14. Rodriguez J.A. Biaxial Interaction Diagrams for Short RC Columns of Any Cross Section / J.A. Rodriguez, D.J. Aristizabal-Ochoa // Journal of Structural Engineering, 1999. – Vol. 125. – Issue 6. – P. 672 – 683.

### References

- [1] Normatyvni dokumenty z pytan obstezhennia, pasportyzatsii, bezpechnoi ta nadiinoi ekspluatatsii vyrobnychych budivel i sporud. Derzh. Komitet bud-va, arkh. ta zhytlovoi polityky Ukrainy, Derzhnahliadokhoronpratsi Ukrainy, K., 1997.
- [2] A.I. Mal'ganov, V.S. Plevkov, A.I. Polishhuk, Vosstanovlenie i usilenie stroitel'nykh konstrukcij avarijnykh i rekonstruirovannykh zdaniy, Tomsk: izd-vo Tomskogo universiteta, 1992.
- [3] A.B. Golyshev, I.N. Tkachenko, Proektirovanie usilenij nesushhih zhelezobetonnykh konstrukcij proizvodstvennykh zdaniy i sooruzhenij. Kiev: LOGOS, 2001.
- [4] Yevrokod 2. Proektuvannia zalizobetonnykh konstruksii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud: DSTU-N B EN 1992-1-1:2010. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2012.
- [5] O.V. Harkava, A.O. Pyskun, "Analiz prychny kosoho deformuvannia zalizobetonnykh kolon", *Tezy ta prohrama III Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Efektyvni tekhnologii v budivnytstvi»*, K: KNUBA, pp. 187 – 188, 2018.
- [6] M.S. Torjanik, Kosoe vncentrennoe szhatie i kosoj izgib v zhelezobetone. K.: Gosstrojizdat Ukrainy, 1961.
- [7] M.S. Torjanik, P.F. Vahnenko, "Расчет зhelezobetonnyh jelementov dvutavrovogo sechenija na kosoe vncentrennoe szhatie s malymi jekscentrisitetami", *Beton i zhelezobeton*, no. 6, pp.44 – 48, 1968.
- [8] M.S. Torjanik, P.F. Vahnenko, L.V.Faleev, L.I. Serdjuk i dr.; Pod red. M.S. Torjanika. Raschet zhelezobetonnykh konstrukcij pri slozhnykh deformatsijah. M.: Strojizdat, 1974.
- [9] A.M. Pavlikov, Nelineina model napruzhenno-deformovanoho stanu kosozavantazhenykh zalizobetonnykh elementiv u zakrytychnii stadii : monohrafiia. Poltava, 2007.
- [10] A.M. Pavlikov, O.V. Harkava, "Rozrakhunok nesuchoi zdatnosti kolon pry yikh kosomu deformuvanni u skladi bezkapitelno-bezkonsolno-bezbalkovoi konstruktyvnoi systemy budivel", *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy : zb. nauk. prats*, Rivne: NUVHP, Vol. 33, pp. 191 – 199, 2016.
- [11] E.V. Klimenko, A.D. Dovgan', Zhel'ko Kos, "Jeksperimental'no-statisticheskoe modelirovanie raboty zhelezobetonnykh kolonn, povrezhdennykh v processe jekspluatatsii",

- Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, Vol. 67, pp. 37 – 42, 2017.
- [12] T. Bouzid, K. Demagh, "Practical method for analysis and design of slender reinforced concrete columns subjected to biaxial bending and axial loads", *Slovak journal of civil engineering*, Bratislava: Slovak university of technology, Vol. 1, pp. 24 – 32, 2011.
- [13] S.F. Chen, J.G. Teng, S.L. Chan, "Design of biaxially loaded short composite columns of arbitrary section", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 127(6), pp. 678 – 685, 2001.
- [14] J.A. Rodriguez, D.J. Aristizabal-Ochoa, "Biaxial Interaction Diagrams for Short RC Columns of Any Cross Section", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 125, Issue 6, pp. 672 – 683, 1999.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН, ПОДВЕРГШИХСЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ

**Павликов А.Н.**, д.т.н, профессор,  
am.pavlikov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5654-5849

**Гарькавая О.В.**, к.т.н,  
olga-boiko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2214-3128

**Барыляк Б.А.**, аспирант,  
barylyak\_bogdan@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5906-6763,

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

**Аннотация.** Дефекты, а также повреждения железобетонных конструкций, возникающие в процессе эксплуатации, являются факторами, которые вызывают возникновение сложных видов деформирования, в частности косоугольного изгиба или косоугольного сжатия. К которым, кроме названных факторов также могут приводить изменения величины и характера влияния нагрузки при усилении элементов. Железобетонные колонны, которые подверглись эксплуатационным повреждениям, что привело к смещению точек приложения равнодействующих усилий в сжатой или растянутой зонах сечения от главных центральных осей его инерции, работают в условиях косоугольного сжатия. При этом очень часто косоугольные конструкции рассчитывают на внецентренное сжатие в двух плоскостях инерции, поскольку методы расчета железобетонных конструкций на сложные виды деформаций требуют совершенствования. Таким образом, возникла объективная необходимость в разработке упрощенной методики расчета прочности колонн на косоугольное сжатие, которая соединит необходимую точность вычислений с простотой их реализации.

Решается задача получения аналитических формул для определения всех неизвестных параметров при расчете несущей способности косоугольных колонн с треугольной формой сжатой зоны бетона. В основу теоретических исследований положены предпосылки расчета согласно действующих норм по проектированию железобетонных конструкций. При этом в сжатом бетоне принят равномерный характер распределения напряжений, а связь между напряжениями и деформациями в арматуре описывается двулинейной диаграммой с горизонтальной верхней ветвью без необходимости проверки предельной деформации.

Для решения поставленной задачи использованы уравнения равновесия сил в сечении в момент разрушения, деформационный критерий прочности и теорема о расположении внутренних и внешних сил в одной плоскости.

В результате проведенных теоретических исследований на основе применения деформационной модели с прямоугольным распределением напряжений в сжатой зоне бетона получены аналитические зависимости для определения всех параметров, необходимых для проверки несущей способности при косоугольном сжатии железобетонных колонн, которые были повреждены в процессе эксплуатации.

**Ключевые слова:** железобетон, колонна, косоугольное сжатие, прочность, расчет.

**DETERMINATION OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS STRENGTH  
AFTER OPERATIONAL DAMAGE**

**Pavlikov A.M.**, ScD, Professor,  
am.pavlikov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5654-5849

**Harkava O.V.**, PhD,  
olga-boiko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2214-3128

**Barylyak B.A.**, graduate student,  
barylyak\_bogdan@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5906-6763,  
*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

**Abstract.** Defects, as well as damages of reinforced concrete structures that occur during operation, are factors that cause the appearance of complex types of deformation, in particular biaxial bending or biaxial compression. Changes in the magnitude and nature of the influence of the load during the strengthening of elements can also lead to the mentioned types of deformation. Reinforced concrete columns that underwent operational damage, which led to a displacement of the application points of the resultant forces in the compressed or tensile areas of the section from the main central axes of its inertia, operate under biaxial compression. Very often, biaxial compressed structures are designed at axial compression in two inertia planes, since the methods for reinforced concrete structures analysis for complex types of deformations require improvement. Thus, there was an objective need to develop a simplified methodology for strength analysis of columns under biaxial compression, which will combine the necessary accuracy of calculations with the simplicity of their implementation.

The problem of obtaining analytical formulas for determining all unknown parameters in calculating the bearing capacity of biaxial compressed columns with a triangular shape of the compressed area of concrete is being solved. The theoretical studies are based on the prerequisites of calculation in accordance with current standards for the design of reinforced concrete structures. In this case, the uniform distribution of stresses is adopted in compressed concrete, and a two-line diagram with a horizontal upper branch without the need to check the ultimate strain describes the stress-strain relationship in the reinforcement.

To solve this problem, the equation of equilibrium of forces in the cross section at the time of destruction, the deformation criterion of strength, and the theorem on the location of internal and external forces in one plane are used.

As a result of theoretical studies based on the use of a deformation model with a rectangular stress distribution in the compressed area of concrete, analytical dependencies were obtained for determination all the parameters necessary to check the bearing capacity under biaxial compression of reinforced concrete columns that were damaged during operation.

**Key words:** reinforced concrete, column, biaxial compression, strength, analysis.

Стаття надійшла 12.09.2019