

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ

INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF THE BENDING ELEMENTS RECTANGULAR SECTION

Масюк Г.Х., к.т.н., проф. ORCID ID:0000-0001-5207-3111 (Національний університет водного господарства та природокористування), **Юшук О.В., к.т.н., викладач**, ORCID ID:0000-0001-6266-3445, **Сасовський Т.А., к.т.н., викладач**, ORCID ID:0000-0002-7344-7968 (Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський фаховий коледж» Національного університету біоресурсів та природокористування України).

Masjuk G.H., Ph.D., prof. ORCID ID: 0000-0001-5207-3111 (National University of Water and Environmental engineering, Rivne), **Yushchuk O.V. Ph.D., lecturer**, ORCID ID: 0000-0001-6266-3445, **Sasovskiy T.A., Ph.D., lecturer**, ORCID ID: 0000-0002-7344-7968 (Separated structural subdivision “Rivne Collage” National University of Lifeand Environmental Sciences of Ukraine).

В статті наведені результати теоретичних досліджень надійності згинальних елементів прямокутного перерізу з одиничним і подвійним армуванням. Проаналізувавши вплив коефіцієнта сполучень властивостей матеріалів з формулами розрахунку несучої здатності згинальних елементів з варіюванням параметрів класу бетону і відсотку армування.

The article presents the results of theoretical research on the reliability of bending elements with a rectangular cross-section with single and double reinforcement. The influence of the coefficient of material properties connection is analyzed, along with formulas for calculating the load-bearing capacity of bending elements, considering variations in the parameters of concrete class and the percentage of reinforcement.

By utilizing statistical modeling methods, the strength of concrete and reinforcement was represented as randomly normally distributed variables. The dependency of the coefficient of material properties k_c connection was determined for bending elements with a rectangular cross-section and single reinforcement, depending on the ratio $\frac{\xi}{\xi_R}$, and for elements with double reinforcement, depending on the ratios of the percentages of upper compressed and lower tensile reinforcement, $M'\%$ and $M\%$ respectively.

The changes in this coefficient were analyzed in response to variations in the specified parameter ratios k_c , $\frac{\xi}{\xi_R}$, and $M' \% / M \%$. This analysis allows for the design of equally reliable reinforced concrete bending elements with a rectangular cross-section.

Ключові слова: згинальні елементи, надійність, коефіцієнт сполучень, несуча здатність.
bending elements, reliability, coefficient of connection, load-bearing capacity.

Вступ. Підхід до проблеми надійності згинальних елементів будівельних конструкцій вимагає аналізу поведінки їх при зовнішніх діях. Поскільки зовнішні навантаження, параметри зовнішніх розмірів елементів і фізико-механічні характеристики матеріалів являються випадковими величинами, то надійність будівельних елементів, в тому числі і згинальних, залежить від зміни цих параметрів. Практично в усіх будівлях і спорудах присутні конструктивні елементи, що працюють на згин і в більшості випадків прямокутного перерізу. Виконаємо аналіз, яким чином впливає на надійність згинальних елементів зміна класу бетону і кількісна насиченість перерізу арматурою.

Аналіз публікацій по надійності. Розвиток і становлення базових основ забезпечення надійності в будівельній галузі започатковано ще в 20-х роках минулого століття такими вченими як М. Майер, М.Ф. Хоціалов. Але їхні пропозиції щодо вдосконалення розрахунку будівельних конструкцій рядом скептиків були надовго відкинуті. Дещо пізніше цей напрямок був суттєво розвинутий М.С. Стрілецьким. В 40-х роках минулого століття вийшло ряд публікацій закордонних вчених, які були присвячені проблемі безпечності конструкцій. Авторами цих публікацій були М. Плот (Франція), В. Вержбицький (Польща), А.М. Френдентал (США), О.Р. Ржаніцин.

Сучасне загальноприйняте трактування поняття надійності в сфері будівельної галузі пов'язується з роботами Стрілецьколого М.С. і Ржаніцина А.Р., в яких висвітлювались питання вдосконалення методу граничних станів і розвитку імовірнісних методів розрахунку будівельних конструкцій.

Проблема зближення розрахунку будівельних конструкцій з сучасними методами теорії надійності була успішно вирішена роботами В.В. Болотіна, В.П. Чиркова і інших. Важливий вклад дослідження питань проблеми надійності залізобетонних і металевих конструкцій будівель і споруд внесли вчені А.Я. Барашиков і М.Д. Сирота [1], М.М. Застава [2], М.В. Савицький [3], С.Б. Усаковський [4] та інші.

Що стосується досліджень проблеми надійності в останній період, то слід відмітити роботи А.В. Перельмутера, С.Ф. Пічугіна [5, 6, 7], В.А. Пашинського [8], О.В. Семка [9], Р.І. Кінаша [10] і інших.

Із закордонних досліджень проблеми надійності відомі роботи Г. Агусти, А. Братта, Ф. Кашнати [10], О. Ditlevesenand, Н.О. Madsen [12], R. Melchers and M. Ahammed [13] і інші.

Мета і задачі досліджень. На основі теоретичних досліджень, варіючи рядом параметрів, визначити надійність згинальних залізобетонних елементів прямокутного перерізу.

Що стосується надійності згинальних залізобетонних елементів прямокутного перерізу, що розраховуються за нормами [14, 15], то вона змінюється в залежності від відсотка армування. Найменшу надійність мають переармовані елементи при великих коефіцієнтах варіації міцності бетону. Для виключення цього явища запропоновано контроль міцності бетону таким чином, щоб забезпеченість розрахункового f_{cd} і характеристичного опору бетону була не менше 0,9986 і 0,95 при збереженні залежності

$$f_c = f_{cd} \cdot \gamma_c, \quad (1)$$

Де γ_c - коефіцієнт надійності для бетону при стиску.

По ГОСТ 5781-82 забезпеченість розрахункового опору арматури складає не менше 0,9986. Коли несуча здатність елемента залежить в основному від міцності одного матеріалу (бетону або арматури), його надійність близька до 0,9986. Якщо ж несуча здатність елемента залежить від міцності двох матеріалів, його надійність буде вищою 0,9986. В цьому випадку можна вводити коефіцієнт сполучення властивостей матеріалів $k_c \geq 1$, який підвищує несучу здатність елементів з надлишковою надійністю. Враховуючи це згинальні елементи з різними відсотками армування є приблизно рівними. Даний коефіцієнт враховує невелику ймовірність того, що відбудеться одночасне неблагополучне сполучення міцності декількох матеріалів і подібний до коефіцієнту сполучення навантажень, що враховує невелику вірогідність одночасного неблагополучного сполучення декількох навантажень.

В лабораторії кафедри ПЦБІС було проведено ряд випробувань згинальних елементів прямокутного профілю із різних класів бетону армованих арматурою класу А400 з різними відсотками армування. При визначенні несучої здатності елементів до розрахункових опорів бетону приймалися різні коефіцієнти умов роботи $\gamma_c = 0,9; 1; 1,1$.

Використовуючи методику статистичного моделювання М.Б. Краковського [16], випадковими нормально розподіленими величинами при цьому були міцність бетону і арматури. В розрахунках визначали відносний момент

$$\bar{M} = \frac{M}{bd^2}, \quad (2)$$

коефіцієнт k_c знаходили за формулою

$$k_c = \frac{\overline{M}_0}{M_c}, \quad (3)$$

де \overline{M}_0 - момент, який має забезпеченість 0,9986, \overline{M}_c - момент, який визначається при розрахункових значеннях міцності бетону і арматури, наведених в нормах [14, 15].

Параметри нормального закону розподілу призової міцності бетону визначали по відомій методиці. Середнє значення міцності бетону при випробуванні кубів і призм в партії $\overline{f}_{cd,p}$ визначені з умов:

$$\overline{f}_{cd,p} = \max(\overline{f}_{ck}, \overline{f}_{cd}), \quad (4)$$

$$\overline{f}_{ck} = \frac{f_{ck}}{1 - 16\nu_c}, \quad (5)$$

$$\overline{f}_{cd} = \frac{f_{cd}}{1 - 3\nu_c}, \quad (6)$$

де ν_c - коефіцієнт варіації міцності бетону.

Вираз (5) являється вирішальним при $\nu_c \leq 0,135$, а вираз (6) – при $\nu_c > 0,135$, тобто при $\nu_c \leq 0,135$ забезпеченість $P(f_{ck}) = 0,95$, а $P(f_{cd}) = 0,9986$, в той час коли необхідно прийняти ν_c таким, щоб отримати k_c найменшим. В розрахунках прийнято $\nu_c = 0,135$, оскільки при $\nu_c > 0,135$, як показали розрахунки, k_c збільшується внаслідок збільшення $\overline{f}_{cd,p} = \overline{f}_{cd}$, а при $\nu_c < 0,135$ - із-за збільшення забезпеченості $P(f_{cd})$. Таким чином, середнє значення $\overline{f}_{cd,p}$ і середнє квадратичне відхилення σ_c міцності бетону визначається за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \overline{f}_{cd,p} &= \frac{f_{cd}}{0,6} = \frac{f_{ck}}{0,78} \\ \sigma_c &= 0,135 \overline{f}_{cd,p} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Так само для міцності арматури, яку визначали на зразках, приймається достатньо низький коефіцієнт варіації $\nu_s = 0,04$. Середнє значення \overline{f}_{yd} і середнє квадратичне σ_s міцності арматури визначали по залежностях:

$$\left. \begin{aligned} \overline{f}_{yd} &= \frac{f_{yd}}{0,88} \\ \sigma_s &= 0,04 \overline{f}_{yd} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Результати розрахунків для згинальних елементів з одиничним і подвійним армуванням наведені на рис. 1 і 2.

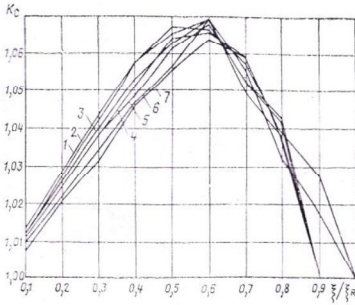


Рис.1 Коефіцієнти сполучень властивостей матеріалів k_c для згинального залізобетонного елемента прямокутного перерізу з одиничним армуванням арматурою класу А400. γ_c , 1...7 – бетони класів: С12/15; С16/20; С20/25; С25/30; С30/35; С32/40; С35/40.

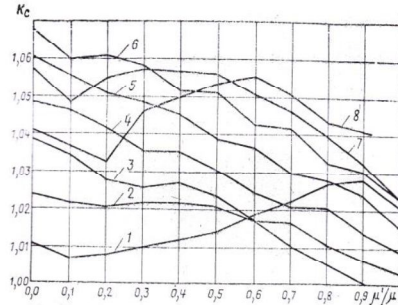


Рис. 2. Коефіцієнти сполучень властивостей матеріалів для згинального залізобетонного елемента прямокутного перерізу з подвійним армуванням. Розтягнута і стиснута арматура А400, бетон класу С30/35, 1...8 - $\frac{\xi}{\epsilon_R}$ - рівне 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8

На рис. 1 показана залежність коефіцієнта k_c від $\frac{\xi}{\epsilon_R}$. Як видно із рис. 1 при збільшенні $\frac{\xi}{\epsilon_R}$ з 0,1 до 0,5...0,6 коефіцієнти k_c збільшуються, а при подальшому збільшенні до 1 – зменшуються.

При невеликих відсотках армування (малих значеннях $\frac{\xi}{\epsilon_R}$) несуча здатність елемента залежить в основному від міцності тільки одного матеріалу – арматури. В наслідок цього момент \overline{M}_0 , який має забезпеченість 0,9986, тобто близький до моменту \overline{M}_c , визначеному по нормах, і коефіцієнт k_c близький до одиниці.

По мірі збільшення відсотка армування (при збільшенні $\frac{\xi}{\epsilon_R}$) на несучу здатність елемента все більше впливає міцність бетону. При $\frac{\xi}{\epsilon_R} = 0,5 \dots 0,6$ спільний вплив міцності бетону і арматури на несучу здатність елемента являється найбільшим і коефіцієнт k_c досягає максимального значення 1,07.

При $\frac{\xi}{\epsilon_R} > 0,6$ по мірі збільшення відсотка армування несуча здатність елемента все в більшій мірі залежить від міцності бетону, а вплив міцності арматури зменшується. При $\frac{\xi}{\epsilon_R}$ близьких до 1, елемент в більшості випадків розрахунку методом статистичного моделювання являється

переформатованим і його несуча здатність залежить тільки від міцності бетону. Як і при малих відсотках армування, момент \overline{M}_0 , який має забезпеченість 0,9986, також близький моменту \overline{M}_c , який визначається за нормами, а k_c близький до 1.

Як видно із рис. 1, що може бути дана наступна практична рекомендація. При виконанні умови:

$$0,45 < \frac{\xi}{\xi_R} < 0,7 \quad (9)$$

$k_c = 1,05$, а в інших випадках $k_c = 1$

Якщо використовувати дволінійні залежності $\sigma - \varepsilon$ бетону і арматури, то формула для розрахунку згинальних залізобетонних елементів буде мати вигляд:

$$M \leq k_c f_{cd} b x (d - 0.5x), \quad (10)$$

На рис. 2. Наведена залежність k_c від $M'/M = 0$ (тобто при відсутності стиснутої арматури) елемент з подвійним армуванням перетворюється в елемент з одиничним армуванням.

При $0,2 \leq \frac{\xi}{\xi_R} \leq 0,6$ зі збільшенням $M' \% / M \%$ k_c зменшується. Це викликано тим, що коефіцієнт варіації міцності бетону. Як було встановлено, зі зменшенням коефіцієнтів варіації міцностей матеріалів k_c знижується. При роботі двох матеріалів в стиснутій зоні (бетону і арматури) їх згинальний коефіцієнт варіації зменшується в порівнянні з коефіцієнтом варіації бетону, причому тим більше, чим вищий відсоток армування стиснутого арматурою $M' \%$. При цьому зменшиться висота стиснутої зони бетону, тобто зі збільшенням $M' \%$ бетон відіграє меншу роль.

При відношенні $\frac{\xi}{\xi_R} > 0,7$ зі збільшенням $M' \% / M \%$ коефіцієнт k_c спочатку збільшується, а потім починає зменшуватись. Це пояснюється тим, що в елементі з одиничним армуванням при $\frac{\xi}{\xi_R}$ зі збільшенням M k_c зменшується. Тому при невеликих співвідношеннях $M' \% / M \%$ k_c зі збільшенням співвідношення $\frac{\xi}{\xi_R}$ зменшується. Слід відмітити, що зміни k_c характерні для низьких і середніх класів бетону.

В запас надійності при виконанні умови (9) пропонується приймати $k_c = 1,05$, а в решті випадків $k_c = 1$: формула для розрахунку згинальних елементів з подвійним армуванням

$$M \leq k_c f_{cd} b x (d - 0.5x) + f_{yd} A'_s (d - d'), \quad (11)$$

Тобто коефіцієнт k_c враховується в передній частині формули (11), який визначає частину несучої здатності, яка залежить тільки від бетону і розтягнутої арматури. Ця ж залежність іде в запас надійності в тому випадку, коли розтягнуто і стиснуто арматуру прийнято однакового класу А400.

Висновки. Введення коефіцієнта сполучень властивостей матеріалів в формули розрахунку несучої здатності згинальних елементів прямокутного перерізу з одиничним або подвійним армуванням дозволяє при різній степені армування зробити їх рівно надійними і здобути економію.

1.А.Я. Барашиков, М.Д. Сирота. Надійність будівель і споруд: Навчальний посібник – К.: ІСДО. 1993.-204с.

A.Ya. Barashikov, M.D. Syrota. Nadiynist budivel i sporud: Navchalnyy posibnyk – К.: ISDO. 1993. - 204s.

2.М.М. Застава, А.А. Агаєв, Ю.А. Работин. Регулирование расчетной надежности железобетонных конструкций. Одесса, 1996. – 94с.

M.M. Zastava, A.A. Agayev, Yu.A. Rabotin. Regulation of the calculated reliability of reinforced concrete structures. Odessa, 1996. – 94p.Начало формы

3.М.В. Савицький. Основи расчета надежности железобетонных конструкций в агрессивной среде: Автореф. диссертации доктора техн. Наук. ДИСИ. –Дн-ск, 1994. - 34с.

M.V. Savitsky. Osnovy rascheta nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksiy v agresivnoy srede: Avtoref. dissertatsii doktora tekhn. Nauk. DISI. – Dn-sk, 1994. -34s

4.С.Б. Усаковский. С какой точностью вести расчёты прочности сооружений. –К: КНУСА, 2005. -160с.

S.B. Usakovskiy. S kakoy tochnost'yu vesti raschety prochnosti sooruzheniy. – К: КНУСА, 2005. - 160s.

5.А.В. Перльмутер, С.Ф. Пичугин. – Новые направления в анализе надежности строительных конструкций: Сб. статей – Саарбрюккен, Германия: Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, 2014. -112р.

A.V. Perlmutter, S.F. Pichugin. – Novye napravleniya v analize nadezhnosti stroitelnykh konstruksiy: Sb. statey – Saarbrücken, Germaniya: Izd-vo LAP Lambert Academic Publishing, 2014. - 112p.

6.С.Ф. Пичугін. Надійність технічних систем. Навч. Посібник. –Полтава: Полт. ДТУ, 2000. -157с.

S.F. Pichuhin. Nadiynist tekhnichnykh system. Navch. Posibnyk. – Poltava: Polt. DTU, 2000. - 157s.

7.С.Ф. Пичугін. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія: Полтава, ТОВ «АСМГ», 2016. -520с.

S.F. Pichuhin. Rozrakhunok nadiynosti budivelnykh konstruksiy: monografiya: Poltava, TOV «ASMG», 2016. - 520s.

8.В.А. Пашинський. Методологія нормування навантажень на будівельні конструкції: Автореф. Дисертації доктора техн. Наук, ПДТУ. – Полтава, 1999. -33с.

V.A. Pashynskyy. Metodolohiya normuvannya navantazhen' na budivel'ni konstruksiyi: Avtoref. Dysertatsiyi doktora tekhn. Nauk, PDTU. – Poltava, 1999. - 33s.

9.О.В. Семко. Надійність сталі залізобетонних конструкцій. Автореф. Дисертації доктора техн. Наук. – ПолНТУ, Полтава. -34с.

O.V. Semko. Nadiynist stale zhelezobetonnykh konstruksiy. Avtoref. Dysertatsiyi doktora tekhn. Nauk. – PolNTU, Poltava. - 34s.

10. P.I. Кінаш. Методи нормування тимчасових навантажень та оцінювання надійності будівельних конструкцій за умов неповної інформації. КНУБА. –К., 2000. -32с.

R.I. Kinash. Metody normuvannya tymchasovykh navantazhen' ta otsinyuvannya nadiynosti budivel'nykh konstruksiy za umov nepovnoyi informatsiyi. KNUBA. – К., 2000. - 32s.

11. Г. Агусти, А. Баратта, Ф. Кашиатти. Вероятные методы в строительном проектировании (Пер. С англ.) М; Стройиздат, 1988. – 580с.

G. Agusti, A. Baratta, F. Kashyatti. Veroyatnye metody v stroitel'nom proektirovanii (Per. s angl.) M; Stroyizdat, 1988. – 580s.

12. Ditlevsen O. Madsen H.O. Structural Reliability Methods. – Teknical University of Denmark, 2007. -361p.

13. Melchers R.E., Ahanmend M.A. Fast approximate method for parameter sensitivity estimation in Monte Carlo structural reability./ COMPUTERS & STRUCTURES. – Kidington, 2004. – p.55-61.

14. ДБН В.2.6-2009. Конструкції будинків і споруд, бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. –К: Мінрегіонбуд України, 2009. – 97с.

DBN V.2.6-2009. Konstruksiyi budynkiv i sporud, betonni i zhelezobetonni konstruksii. Osnovni polozhennya proektuvannya. – К: Minrehionbud Ukrainy, 2009. – 97s.

15. 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.

DSTU B.V.2.6-156:2010 Konstruksiyi budynkiv i sporud. Betonni i zhelezobetonni konstruksii z vazhkoho betonu. Pravila proektuvannya. – К.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. - 188s.

16. М.Б. Красовський. Определение надежности конструкций методами математического моделирования. Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. №2. – с.10-13.

M.B. Krasovs'kyu. Vyznachennya nadiynosti konstruksiy metodamy matemastyatychnoho modelyuvannya. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 1982. №2. – s. 10-13.