

УДК 624.012:624.078.004.15

ІМОВІРНІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПАСИВНИХ АНКЕРІВ

Доктори техн. наук О. П. Воскобійник, А. О. Мозговий

PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF PASSIVE ANCHORS

D. Sc. (Tech.) O.P. Voskobiinyk, D. Sc. (Tech.) A.O. Mozgovuy

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.189.2020.213642>

Анотація. Запровадження імовірнісних методів оцінювання надійності будівельних конструкцій регламентовано сучасними нормами проектування. Під час зведення об'єктів будівництва постає завдання конструювання вузлів будівельних конструкцій із застосуванням пасивних анкерів. Дана робота націлена на побудову й апробацію алгоритму імовірнісного оцінювання пасивних анкерів, що обумовлює її актуальність. Завданням роботи є розроблення алгоритму імовірнісного оцінювання надійності пасивних анкерів за критеріями втрати надійності, які є можливими під час експлуатації системи анкер-бетон, з урахуванням випадкового характеру властивостей матеріалів і навантаження.

Ключові слова: анкер, бетон, випадкова величина, імовірнісне оцінювання надійності, імовірність настання граничного стану.

Abstract. The introduction of probabilistic methods for assessing the reliability of building structures is governed by modern design standards. When constructing engineering facilities, the task is to construct the structural elements using passive anchors. This work is aimed at creating and testing an algorithm of probabilistic assessment of passive anchors, which determines its relevance. The work's objective is to develop an algorithm of probabilistic assessment of the reliability of passive anchors by the criteria of loss of reliability, which are possible during the operation of the anchor-concrete system, taking into account the random nature of the material properties and load.

In creating the algorithm of probabilistic assessment of the anchor reliability, the probabilities of reaching the following boundary conditions were considered: strength of the contact between concrete and anchor reinforcement; concrete bearing strength of the contact between concrete and anchor reinforcement; tensile and shear strength of the steel anchor.

The input deterministic parameters of the algorithm were: basic anchorage length; a cross-sectional area of the anchor; Poisson's ratio of concrete; concrete modulus of elasticity. Random inputs were: axial tensile strength and compression strength; tensile resistance of rebar; axial and shear forces.

The calculation is performed by the method of statistical tests N times. The number of tests, in which the rod is considered unreliable, refers to the total number of tests and determines the risk for the steel anchor of reaching its boundary conditions for its entire service life, followed by calculation of the annual risk for the anchor of reaching its boundary conditions.

According to the results of probabilistic calculations, the risk for the anchor of reaching its boundary conditions for the assigned service life is $P = 1.87 \times 10^{-2} \text{ year}^{-1}$, the annual risk for the anchor of reaching its boundary conditions is $P_r = 3.77 \times 10^{-4} \text{ year}^{-1}$, which does not exceed its permissible value of $P_i^{\text{ex}} = 5 \times 10^{-4} \text{ year}^{-1}$, provided for by the design standards for structures of CC2 consequences (responsibility) class for the estimated lifetime of $T_{ef} = 50$ years.

Key words: anchor, concrete, random variable, probability assessment of reliability, probability of reaching boundary conditions.

Вступ. Запровадження імовірнісних методів оцінювання надійності будівельних конструкцій регламентовано сучасними нормами проектування [1]. Під час будівництва або реконструкції об'єктів будівництва постає завдання конструювання вузлів будівельних конструкцій із застосуванням пасивних анкерів. Дана робота націлена на побудову й апробацію алгоритму імовірнісного оцінювання пасивних анкерів, що обумовлює її актуальність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обґрунтування нормативних і розрахункових величин опору на зріз і виривання розпірних анкерів для кріплення елементів зовнішнього утеплення будівель розглянуто в роботі [2]. Експериментальні дослідження сталобетонних плит з різними умовами опору та кроком анкерних упорів виконано в роботі [3]. Питання щодо особливостей розрахунку нерозрізних сталезалізобетонних балок із болтовими анкерами, забезпечення сумісної роботи бетону і сталі в сталезалізобетонних конструкціях при забезпеченні їх анкерування у прогоні, роботи болтових опорних анкерів і їхньої ефективності у монолітних плитах розглянуто в роботах [4–10], а також відображено в закордонних роботах [11, 12]. У роботі [13] розглянуто багатомасштабну модель і здійснено чисельне моделювання витягування анкерного болта з легкого бетону. Моделі щодо прогнозування опорних опорів анкерних болтів розглянуто в роботі [14].

Не вирішеною раніше частиною проблеми є відсутність алгоритму імовірнісного оцінювання системи анкер–бетон, що враховує випадкові характеристики матеріалів і зовнішніх навантажень.

Визначення мети та завдання дослідження. Завданням роботи є розроблення алгоритму імовірнісного

оцінювання надійності пасивних анкерів за критеріями втрати надійності, що є можливими під час експлуатації системи анкер–бетон. Метою роботи є розроблення і апробація алгоритму на чисельному прикладі оцінювання імовірнісної надійності системи анкер–бетон.

Основна частина дослідження. Оцінювання надійності анкера за детерміністичною методикою. Згідно з механічними властивостями замурування анкера, за термінологією роботи [15], розглядаються розподілені анкери або анкери періодичного профілю, несуча здатність яких забезпечена зчепленням з бетоном по бічній поверхні. За напрямком розташування в тілі бетону розглядаються нормальні анкери.

Основні стадії роботи анкера висвітлено в роботі [15]. Пружна стадія має місце, коли стискальні напруження в бетоні менші за міцність бетону на стиск. Наступна стадія супроводжується розвитком непружних деформацій до появи головних тріщин у бетоні. Подальша стадія характеризується появою головних тріщин у бетоні. Остання стадія характеризується розвитком непружних деформацій після появи головних тріщин і руйнуванням бетону навколо зони контакту з анкером.

У даній роботі процеси розвитку непружних деформацій, появи головних тріщин і руйнування бетону навколо зони контакту з анкером не розглядаються, а критеріями руйнування системи анкер–бетон є досягнення будь-якого з граничних станів, розглянутих нижче (рис. 1).

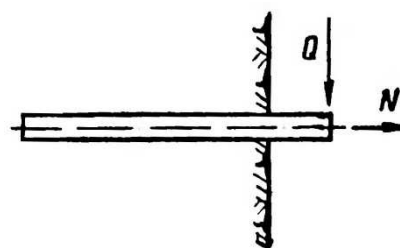


Рис. 1. Розрахункова схема анкера

Міцність по контакту бетон–арматура анкера і визначення необхідної довжини анкерування. При дії осьової сили відриву N по контакту розчин – арматура анкера виникають сили зчеплення або дотичні напруження [16], розподіл яких за довжиною анкерування стрижня є нерівномірним. Граничні напруження зчеплення мають бути достатніми для запобігання руйнуванню зчеплення. Розрахункове значення граничних напружень зчеплення f_{bd} для стрижнів періодичного профілю визначається за формулою [17]

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}, \quad (1)$$

де η_1 – коефіцієнт, пов'язаний з якістю зчеплення і розміщення стрижня під час бетонування;

η_2 – коефіцієнт, пов'язаний із діаметром стрижня;

f_{ctd} – розрахункове значення міцності бетону на розтяг,

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}, \quad (2)$$

де α_{ct} – коефіцієнт, що враховує вплив на міцність при розтягу тривалості впливів і несприятливих впливів, викликаних способом прикладання навантаження;

$f_{ctk,0.05}$ – характеристична міцність бетону на осьовий розтяг;

γ_c – коефіцієнт надійності для бетону, $\gamma_c = 1.0$ [16, 17].

Для бетону класу міцності С30/35 характеристична міцність бетону на осьовий розтяг $f_{ctk,0.05} = 2.0$ МПа [16]. Розрахункове значення міцності бетону на розтяг f_{ctd} , обчислене за формулою (2) при $\alpha_{ct} = 1$ [17] і $\gamma_c = 1.0$ [16, 17], дорівнюватиме $f_{ctd} = 2.0$ МПа.

Розрахункове значення граничних напружень зчеплення f_{bd} для стрижня періодичного профілю при $\eta_1 = 1$ [17] і $\eta_2 = 1$ [17], обчислене за формулою (1), дорівнюватиме $f_{bd} = 4.5$ МПа [16].

Необхідна основна довжина анкерування $l_{b,rqd}$ для заанкерування зусилля $A_s \sigma_{sd}$ у прямих стрижнях передбачає постійне зчеплення, значення якого дорівнює f_{bd}

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{d}{4} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right), \quad (3)$$

де d – діаметр арматурного стрижня;

σ_{sd} – розрахункові напруження у стрижні в місці, від якого визначається анкерування.

Для арматурного прокату класу А400С із номінальним діаметром $d_n = 20$ мм, розрахунковим діаметром $d = 18.5$ мм, із розрахунковою площею поперечного перерізу $A_s = 268.67$ мм² [18] при дії осьової сили $N = 72.5$ кН розрахункові напруження у стрижні дорівнюватимуть $\sigma_{sd} = 270$ МПа. Необхідна основна довжина анкерування $l_{b,rqd}$ для заанкерування зусилля $A_s \sigma_{sd}$ у прямому стрижні, обчисленому за формулою (3), становитиме $l_{b,rqd} = 277.5$ мм.

Перевірка міцності бетону по контакту бетон–арматура анкера на зминання. При розрахунку міцності бетону, що оточує анкер за умови вичерпання міцності на зминання при дії перерізуючої сили Q , можна вважати розподіл напружень у зоні контакту анкер–бетон при закріпленні анкера таким, що підпорядковується умові деформування стрижня перерізуючою силою у пружному напівпросторі [19]. Нормальні напруження в зоні контакту анкер–бетон залежать від відношення довжини стрижня в межах пружного середовища h [19] (у даному випадку основна довжина анкерування $l_{b,rqd}$) до ширини стрижня (напівпериметра

арматурного стрижня), а також коефіцієнта β , який визначається за формулою

$$\beta = \frac{1-\nu}{(1+\nu) \cdot (3-4 \cdot \nu)} \left(\frac{E_{cd} \cdot h^4}{E \cdot I} \right), \quad (4)$$

де ν – коефіцієнт Пуассона бетону, $\nu = 0.2$ [16];

E_{cd} – розрахункове значення модуля пружності бетону, $E_{cd} = 27$ ГПа;

EI – жорсткість арматурного стрижня.

При використанні результатів розрахунків за графіками, наведеними в роботі [19] у розд. VII (рис. 47–50), стає очевидним, що вони побудовані для значень параметра β від 0 до 1000. Зауважим, що при великих значеннях β віддалена від вільного кінця частина стрижня не працює, а напруження в контактній зоні близькі до нуля. Якщо стрижень є суттєво гнучким, а коефіцієнт β буде мати значення більше 1000, рекомендовано ввести до розрахунку лише частину довжини стрижня, скоротивши його довжину h настільки, щоб β не перевищувало 1000.

З метою встановлення довжини частини стрижня в зоні контакту анкер–бетон, яка включається в роботу при навантаженні в умовах деформування стрижня перерізуючою силою у пружному напівпросторі були виконані систематичні чисельні розрахунки щодо оцінювання їхнього напружено-деформованого стану. Аналіз результатів розрахунків засвідчив, що при довжині анкерування стрижня $l_{b,rqd} = 277.5$ мм нормальні напруження в зоні контакту анкер–бетон розповсюджуються на глибину 70 мм, окрім того, ця глибина не залежить від величини перерізуючої сили. Скоротивши

довжину стрижня h до 70 мм, отримаємо параметр $\beta = 160$. При відношенні довжини стрижня $h = 70$ мм до його ширини $b = 18.5$ мм $h / b = 3.8$ для побудови епюри нормальних напружень у зоні контакту анкер–бетон (див. рис. 47 [19]).

Епюру нормальних напружень будуюмо за формулою

$$\sigma_x = \frac{X \cdot Q}{b \cdot h}, \quad (5)$$

де X – ордината епюри напружень (рис. 47 [4]).

При цьому h відраховується від вільного кінця стрижня. Значення X залежно від h наведені в таблиці.

При дії перерізуючої сили $Q = 6.0$ кН максимальні нормальні стискальні напруження, визначені за формулою (5), при $h = 0$ м дорівнюють $\sigma_x = 26.19$ МПа.

Головні напруження в бетоні, що оточує анкер, в умовах складного одновісного напруженого стану визначаються за формулами

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau_{xy}^2}, \quad (6)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau_{xy}^2}, \quad (7)$$

де σ_1, σ_2 – головні напруження в бетоні;

σ_x – нормальні напруження в бетоні, які виникають унаслідок дії перерізуючої сили Q ;

τ_{xy} – дотичні напруження в бетоні, які виникають унаслідок дії осьової сили відриву N (рис. 1.42 [20]).

Таблиця

Відстань від вільного кінця стрижня	Параметр β	Ордината епюри напружень X
-------------------------------------	------------------	------------------------------

0	160	+9.1
0.1 · h		+4.8
0.2 · h		+2.1
0.3 · h		+0.9
0.4 · h		+0.1
0.5 · h		-0.3
0.6 · h		-0.2
0.7 · h		-0.1
0.8 · h		-0.05
0.9 · h		-0.1
h		-0.15

При розрахунку міцності бетону, що оточує анкер за умовою вичерпання міцності на зминання, має виконуватись умова $\sigma_{max} \leq f_{cd,loc}$ (аналог $R_{b,loc}$), де $f_{cd,loc}$ – розрахунковий опір бетону зминанню, який визначається за формулою [21]

$$f_{cd,loc} = \alpha \cdot \varphi_b \cdot f_{cd}, \quad \alpha \cdot \varphi_b \geq 1, \quad (8)$$

де f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск;

$\alpha = 13.5 \cdot f_{ctd} / f_{cd}$ – для бетону класу С20/25 і вище;

$\varphi_b = 1.0$ (кресл. 63, б [21]).

Для бетону класу міцності С30/35 f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на

стиск $f_{cd} = 19.5$ МПа [16]. Розрахункове значення міцності бетону на розтяг $f_{ctd} = 2.0$ МПа. Розрахунковий опір бетону зминанню, визначений за формулою (8), дорівнюватиме $f_{cd,loc} = 27.0$ МПа. Умова вичерпання міцності бетону, що оточує анкер, на зминання виконується: $\sigma_{max} = \sigma_I = 26.19$ МПа $\leq f_{cd,loc} = 27.0$ МПа.

Міцність сталевго анкера на розтяг і зріз. При одночасній дії на анкер осьової сили відриву N і перерізуючої сили Q у загальному випадку має виконуватись умова міцності сталевго анкера в умовах складного напруженого стану [22]

$$R_y \geq \frac{0.87 \cdot \gamma_n}{\gamma_c} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}, \quad (9)$$

де R_y – розрахунковий опір сталі розтягу;

γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю;

γ_c – коефіцієнт умов роботи;

σ_x, σ_y – нормальні напруження в небезпечному перерізі анкера;

τ_{xy} – дотичні напруження в небезпечному перерізі анкера.

При дії перерізуючої сили $Q = 54$ кН у небезпечному перерізі анкера виникають дотичні напруження $\tau_{xy} = 201.0$ МПа.

За роботою [18], для арматурного прокату класу А400С розрахунковий опір

сталі розтягу $R_y = 400$ МПа, при $\gamma_n = 1.0$, $\gamma_c = 1.0$ нерівність (9) виконується: $R_y = 400$ МПа $>$ 383.2 МПа.

Імовірнісне оцінювання надійності анкера. Вхідні детерміністичні параметри прийнято такі: основна довжина анкерування $l_{b,rqd} = 277.5$ мм; площа поперечного перерізу анкера $A_s = 268.67$ мм²; площа напівпериметра анкера $A = 8060$ мм²; осьовий момент опору анкера $W = 372838.6$ мм³; ν – коефіцієнт Пуассона бетону, $\nu = 0.2$ [2]; E_{cd} – розрахункове значення модуля пружності бетону, $E_{cd} = 27$ ГПа.

Випадковими вхідними величинами прийнято:

– міцність бетону класу міцності С30/35 на осьовий розтяг f_{ct} – за нормальним розподілом із математичним очікуванням $m_{f_{ct}} = 2.8$ МПа і коефіцієнтом варіації $C_{f_{ct}} = 0.172$ [16];

– міцність бетону класу міцності С30/35 на стиск f_{cd} – за нормальним розподілом із математичним очікуванням $m_{f_{cd}} = 25.0$ МПа і коефіцієнтом варіації $C_{f_{cd}} = 0.135$ [16];

– опір арматурного прокату класу А400С розтягу R_y за нормальним розподілом із математичним очікуванням $m_{R_y} = 480.0$ МПа і коефіцієнтом варіації $C_{R_y} = 0.1$ [16];

– випадкова величина осьової сили N – за нормальним розподілом із математичним очікуванням $m_N = 54.55$ кН (розрахункове значення 95 % забезпеченості складає $N_p = 72.5$ кН) і коефіцієнтом варіації $C_N = 0.2$;

– випадкова величина перерізуєчої сили Q – за нормальним розподілом із математичним очікуванням $m_Q = 4.52$ кН (розрахункове значення 95 % забезпеченості складає $Q_p = 6.0$ кН) і коефіцієнтом варіації $C_Q = 0.2$.

При проведенні кожного статистичного випробування використовується такий алгоритм.

Задається випадкова, розподілена від 0 до 1, імовірність pf_{ct} випадкової величини

міцності бетону на осьовий розтяг. За значенням pf_{ct} визначається квантиль – випадкова величина міцності бетону на осьовий розтяг f_{ct} .

Імовірність pf_{cd} випадкової величини міцності бетону на стиск задається випадковою, розподіленою від 0 до 1. За значенням pf_{cd} визначається квантиль – випадкова величина міцності бетону на стиск f_{cd} .

Задається випадкова, розподілена від 0 до 1, імовірність pR_y випадкової величини опору арматурного прокату розтягу. За значенням pR_y визначається квантиль – випадкова величина опору арматурного прокату розтягу R_y .

Імовірність pN випадкової величини осьової сили задається випадковою, розподіленою від 0 до 1. За значенням pN визначається квантиль – випадкова величина осьової сили N .

Задається випадкова, розподілена від 0 до 1, імовірність pQ випадкової величини перерізуєчої сили. За значенням pQ визначається квантиль – випадкова величина перерізуєчої сили Q .

За відомим значенням випадкової величини міцності бетону на осьовий розтяг f_{ct} за формулою (1) визначається випадкова величина граничних напружень зчеплення f_{bd} .

З використанням відомого значення випадкової величини осьової сили N визначаються напруження у стрижні σ_{sd} від дії осьової сили і за формулою (3) обчислюється випадкова величина необхідної довжини анкерування $l_{b,rqd,n}$.

Перевіряється виконання умови

$$l_{b,rqd,n} \leq l_{b,rqd} \quad (10)$$

При невиконанні умови (10) стрижень вважається ненадійним.

За відомим значенням випадкової величини перерізуєчої сили Q за формулою (5) знаходимо випадкову величину максимальних нормальних стискальних напружень σ_x у бетоні у зоні

контакту анкер–бетон, а за формулами (6), (7) визначаємо випадкові величини головних напружень у бетоні σ_1, σ_2 . За формулою (8) визначається випадкова величина опору бетону змінанню $f_{cd,loc}$. Перевіряється виконання умови

$$\sigma_{\max} \leq f_{cd,loc} \cdot \quad (11)$$

При невиконанні умови (11) стрижень вважається ненадійним.

Перевіряється надійність сталевого анкера на розтяг і зріз. Визначаються випадкові величини нормальних σ_x, σ_y і дотичних τ_{xy} напружень у небезпечному перерізі анкера. Перевіряється виконання умови (9) без урахування константи 0.87, коефіцієнтів γ_n і γ_c . При невиконанні умови (9) стрижень вважається ненадійним. Ілюстрація розрахунків за наведеним алгоритмом наведена на рис. 2–4.

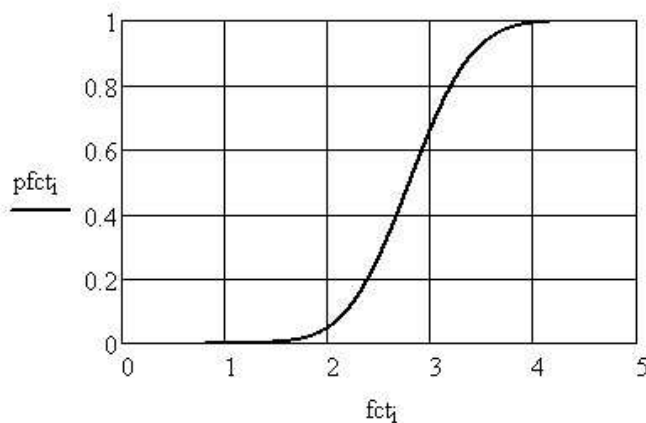


Рис. 2. Імовірнісна крива розподілу характеристичної міцності бетону $f_{ctk,0.05}$, МПа, на осьовий розтяг

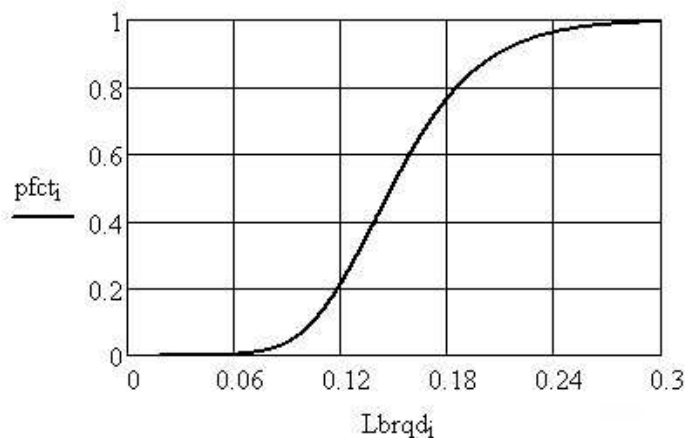


Рис. 3. Імовірнісна крива розподілу необхідної довжини анкерування $l_{b,rqd}$ залежно від імовірності характеристичної міцності бетону $f_{ctk,0.05}$, МПа, на осьовий розтяг

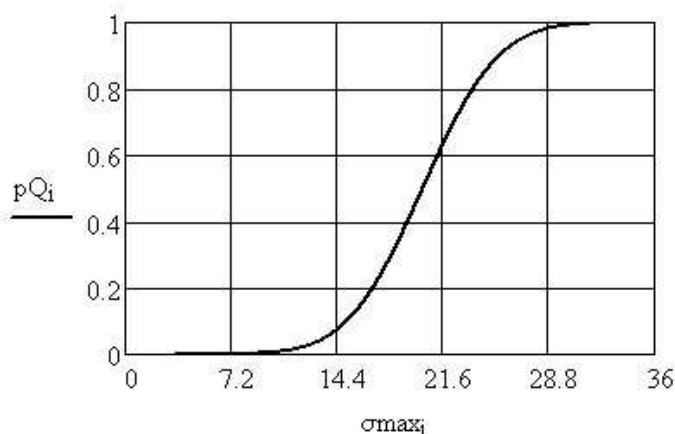


Рис. 4. Імовірнісна крива розподілу максимальних нормальних стискальних напружень σ_{max} , МПа, визначених за формулою (5), залежно від імовірності перерізуючої сили Q

Розрахунок виконується методом статистичних випробувань N разів. Кількість випробувань, при яких стрижень вважається ненадійним при невиконанні навіть однієї з умов (9–11), віднесена до загальної кількості випробувань N , визначає величину ризику настання граничного стану сталевго анкера за весь строк експлуатації. Значення щорічної імовірності ризику досягнення граничного стану анкера обчислюється за формулою

$$p = 1 - (1 - pr)^{\frac{1}{T_{ef}}}, \quad (12)$$

де p – щорічна імовірність настання граничного стану;

pr – імовірність настання граничного стану за призначений строк служби;

T_{ef} – розрахунковий строк експлуатації, роки,

і виконується порівняння із допустимою величиною.

За результатами розрахунків, імовірність настання граничного стану за призначений строк служби $P = 1.87 \times 10^{-2}$ рік⁻¹, щорічна імовірність настання граничного стану сталевго анкера $P_r = 3.77 \times 10^{-4}$ рік⁻¹, що не перевищує допустимого значення імовірності

настання граничного стану $P_i^{ex} = 5 \times 10^{-4}$ рік⁻¹, регламентованого нормами проектування [1] для споруд класу наслідків (відповідальності) СС2 категорії відповідальності конструкції В у перехідних розрахункових ситуаціях за першою групою граничних станів для розрахункового строку експлуатації $T_{ef} = 50$ років.

Необхідна кількість статистичних випробувань знаходиться в межах довірчого інтервалу. Межі довірчого інтервалу обчислені за формулами роботи [23].

Аналіз результатів. Під час виконання розрахунків встановлено, що найбільший вплив на інтегральну надійність сталевго анкера має імовірність руйнування за критерієм забезпечення необхідної довжини анкерування, а також за критерієм міцності бетону на зминання.

Висновки. Представлений алгоритм у подальшому може бути удосконалений шляхом уведення до розгляду стадій появи непружних деформацій до появи головних тріщин у бетоні, появи головних тріщин у бетоні і руйнування бетону навколо зони контакту з анкером. Запропонована методика базується на інженерному підході в розрахунках надійності пасивних анкерів і дає змогу оцінити його проектну надійність. Результати можуть

застосовуватись при проектуванні і цивільного будівництва.
реконструкції об'єктів промислового і

Список використаних джерел

1. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2–14:2018. Чин. від 2019–01–01. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. 30 с. (Державні будівельні норми України).
2. Губій М. М., Коваленко О. С. Обґрунтування нормативних і розрахункових величин опору на зріз і виривання розпірних анкерів для кріплення елементів зовнішнього утеплення будівель. *Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов*. 2007. № 76. С. 123–128.
3. Петрушевська А. А., Ігнатенко Є. В. Експериментальні дослідження квадратних сталобетонних плит з різними умовами опору та кроком анкерних упорів. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2014. Вип. 148. Ч. 2. С. 192–196.
4. Семко О. В., Гудзь С. А., Дарієнко В. В. Особливості розрахунку нерозрізних сталезалізобетонних балок із болтовими анкерами. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 664: Теорія і практика будівництва. С. 208–215.
5. Кобзева Е. Н., Ігнатенко А. В. Расчет сталобетонных балок по несущей способности, исключаяющей работу растянутой зоны бетона. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2012. № 58. С. 119–123.
6. Лапенко О. І. Проблема забезпечення сумісної роботи бетону і сталі в сталезалізобетонних конструкціях. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. № 48. С. 255–260.
7. Колякова В. М., Шармаков Є. Л. Особливості роботи сталезалізобетонних прольотних конструкцій при забезпеченні їх анкерування у прольоті. *Наукові нотатки*. 2014. № 46. С. 280–285.
8. Коваль М. П., Кондрюкова І. О. Дослідження роботи монолітних залізобетонних плит зі сталевим профільованим настилом Н80А та болтовими опорними анкерами при дії статичного й високорівневого малоциклового навантаження. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка*. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. 2015. № 1. С. 169–177.
9. Коваль М. Р. Ефективність опорного анкерування болтовими з'єднаннями сталевого профільованого настилу у монолітних плитах. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2016. № 10. С. 43–50.
10. Semko O. V., Gasenko A. V., Darienko V. V. Determination of the bearing capacity of reinforced concrete uneven beams with flexible anchors. *Construction, materials science, mechanical engineering*. 2018. № 50. P. 510–515.
11. Täljsten B. Defining anchor lengths of steel and CFRP plates bonded to concrete. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 1997. T. 17. № 4. P. 319–327.
12. Cui Y. Shear behavior of exposed column base connections. *Steel and Composite Structures*. 2016. T. 21. № 2. P. 357–371.
13. Greco F., Leonetti L., Luciano R. A multiscale model for the numerical simulation of the anchor bolt pull-out test in lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. T. 95. P. 860–874.
14. Tong G., Chen R., Zhang L. Models to predict shear resistances of anchor bolts. *Advances in Structural Engineering*. 2017. T. 20. № 12. P. 1933–1947.
15. Холмянский М. М. Закладные детали сборных железобетонных элементов. Москва: Стройиздат, 1988. 208 с.
16. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6–98:2009. Чин. від 2011–06–01. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. 71 с. (Державні будівельні норми України).

17. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд: (EN 1992-1-1:2004, IDT). ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Чин. від 2013-07-01. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012. 311 с. (Національний стандарт України).
18. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови: ДСТУ 3760:2006. Чин. від 2007-10-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 28 с. (Національний стандарт України).
19. Жемочкин Б. Н. Расчет упругой заделки стержня. Изгиб стержня в упругом полупространстве. Москва: Стройиздат, 1948. 68 с.
20. Гольшев А. Б., Бачинский В. Я., Полищук В. П. и др. Проектирование железобетонных конструкций: справочное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. Киев: Будивельник, 1990. 544 с.
21. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84) / ЦНИИпромзданий Госстроя СССР. Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 192 с.
22. Сталеві конструкції. Норми проектування: ДБН В.2.6-198:2014. Чин. від 2015-01-01. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2014. 199 с. (Державні будівельні норми України).
23. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. Изд.5-е, стер. Москва: Высшая школа, 1998. 576 с.

Воскобійник Олена Павлівна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, керівник експертної групи проектування в будівництві Директорату технічного регулювання у будівництві Міністерства розвитку громад та територій України. Тел. (050) 304-40-23. E-mail: elenvosko@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-8547-762X.

Мозговий Андрій Олексійович, доктор технічних наук, доцент кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (050) 749-03-04. E-mail: mozgovoyandrey@ukr.net. ORCID ID: 0000-0002-9142-3169.

Voskobiiynk Olena, Dr. Sc. (Tech), Senior scientific researcher, Expert team of design in construction of the Technical Regulation Directorate in Construction, Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine. Tel. (050) 304-40-23. E-mail: elenvosko@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-8547-762X.

Mozgovuy Andriy, Dr. Sc. (Tech), Associate Professor, Department of Geotechnics, Underground and Hydraulic Structures, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (050) 749-03-04. E-mail: mozgovoyandrey@ukr.net. ORCID ID: 0000-0002-9142-3169.

Статтю прийнято 10.01.2020 р.