

УДК 539.375

Ю. Я.Матвійв, Т.А. Крадінова

Луцький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ АРМАТУРИ У ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Розроблена методика для визначення залишкового ресурсу попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Як приклад розглянута задача про довготривалий згин попередньо напруженої залізобетонної плити, арматура якої містить систему тріщин низькотемпературної повзучості. Побудована залежність залишкового ресурсу плити від початкового розміру тріщин.

Ключові слова: *попередньо напружені залізобетонні конструкції, тріщини низькотемпературної повзучості, залишковий ресурс, період докритичного росту тріщин низькотемпературної повзучості, коефіцієнт інтенсивності напружень.*

Вступ. Розвиток і вдосконалення залізобетонних інженерних споруд, де використовують елементи за довготривалих статичних навантажень, їх надійна експлуатація вимагає від дослідників надійніших методів прогнозування довготривалої міцності і довговічності таких елементів, особливо за наявності тріщин. Це необхідно для технічної діагностики таких елементів, встановлення термінів між профілактичними оглядами і під час неруйнівного контролю, визначення необхідності їх ремонту або заміни. Дослідити цю проблему суто емпірично шляхом лише експериментальних досліджень технічно досить складно і не завжди, в принципі, можливо. Тому виникла необхідність створення надійної теорії для опису перебігу зародження і поширення тріщин низькотемпературної повзучості, а також методик для розрахунку довготривалої міцності і залишкового ресурсу згаданих елементів конструкцій. У даній праці розроблена така методика і застосовано її до розрахунку залишкової довговічності арматури попередньо напружених залізобетонних елементів конструкцій.

Як відомо [1, 2], за навантаження залізобетонних елементів конструкцій спостерігають утворення тріщин у розтягнутій зоні бетону. З ростом навантаження розтягу напруження сприймаються арматурою, а тріщини в бетоні розкриваються. Для великої кількості конструкцій, арматура яких має звичайну міцність (не високоміцна), ширина розкриття тріщин під час дії передбачених розрахунком навантажень незначна і не порушує їх експлуатаційних характеристик. У тих випадках, коли до конструкції ставлять вимоги герметичності (резервуари, труби), коли вона забезпечена високоміцною арматурою або знаходиться в умовах дії агресивного середовища, поява тріщин чи значне їх розкриття може призвести до втрати несівної здатності. Щоб запобігти утворенню тріщин або обмежити їх розкриття у розтягнутій зоні бетону під час виготовлення конструкції заздалегідь створюють значні стискаючі напруження шляхом попереднього натягу арматури. За експлуатації такої конструкції під навантаженням розтягальні напруження, що виникають, тільки погашають попереднє стиснення в бетоні. Тому утворення тут тріщин, або їх значне розкриття значно зменшується. Такі залізобетонні конструкції називають попередньо напруженими.

Розрізняють два основних види залізобетонних конструкцій з попереднім напруженням: з натягом арматури до і після бетонування. У першому випадку арматуру попередньо розтягують і кінці її закріплюють на упорах ферми, потім укладають бетонну суміш. Після того, як бетонна суміш затверділа, кінці арматурних стрижнів звільняють від упорів. Другий спосіб передбачає виготовлення залізобетонних конструкцій з поздовжніми каналами, через які пропускають арматурні стрижні, потім їх розтягують і закріплюють на торцях конструкції. Канали заповнюють цементним розчином з метою захисту сталевих арматур від корозії.

Завдяки ефективному використанню високоміцної арматури в попередньо напружених конструкціях, підвищеною їх жорсткістю і низкою інших переваг вони знайшли широке застосування в практиці будівництва.

Однак ці переваги попередньо напружених залізобетонних конструкцій мають разом з тим і значні недоліки. В першу чергу це стосується перевантаження арматури, що за довготривалого статичного навантаження може призвести, особливо за наявності дефектів типу тріщин, до сповільненого руйнування і непередбачуваних наслідків аварійного виходу з ладу елемента конструкції.

Нижче на основі сформульованого раніше авторами [3, 4] енергетичного підходу побудована розрахункова методика для визначення залишкового ресурсу арматури в попередньо напружених залізобетонних конструкціях. Розглянемо нижче суть цієї методики.

Постановка задачі. Нехай залізобетонна балка з попередньо напруженою арматурою розташована на двох опорах (рис. 1) і навантажена довготривалими рівнорозподіленими нормальними зусиллями інтенсивності p . Вважатимемо, що в результаті неякісного виготовлення арматури, впливу

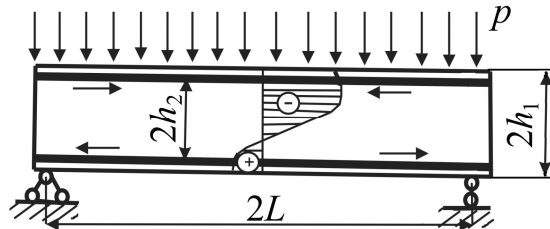


Рис. 1. Схема навантаження залізобетонної балки з попередньо напруженою арматурою.

зовнішнього середовища або довготривалого навантаження у поперечному перерізі нижнього навантаженого розтягом арматурного стрижня (рис. 1) діаметром D утворилася система поверхневих сегментних тріщин початкової глибини C_0 (рис. 2), які за заданого довготривалого навантаження можуть поширюватися як тріщини низькотемпературної повзучості.



Рис. 2. Схема розтягу (а) циліндричного стрижня з двома сегментними тріщинами (б).

Задача полягає у визначенні такого часу $t = t_*$, за який тріщини підростуть з розміру C_0 до критичного розміру $C = C_*$ і арматура зруйнується. Її розв'язок здійснимо на основі розрахункової моделі, яка запропонована авторами праць [3, 4] раніше. Для простоти розв'язку розглянемо систему двох сегментних тріщин і їх найгірше розміщення, тобто в одній площині, як показано на рис. 2. В результаті цього, а також вважаючи, що тріщини будуть поширюватися симетрично, задача зведеться до розв'язування такого рівняння

$$\frac{dC}{dt} = \frac{A_{2t}(K_I^{2m} - K_{thc}^{2m})}{K_{CC}^{2m}(1 - K_I^2 K_{CC}^{-2})} \quad (1)$$

за початкових і кінцевих умов:

$$t = 0, C(0) = C_0; t = t_*, C(t_*) = C_*; K_I(P, C_*) = K_{CC}.$$

Тут $K_I(P, C)$ – найбільше значення коефіцієнта інтенсивності напружень біля контурів сегментних тріщин, яке буде посередині хорд сегментів і для визначення якого необхідно знайти навантаження нижньої арматури в залізобетонній балці.

Для визначення навантаження нижньої арматури у залізобетонній балці (рис. 1) проаналізуємо технологію виготовлення попередньо напружених залізобетонних балок. Згідно [1, 2], під час виготовлення залізобетонної балки арматуру натягують до початкового контрольованого напруження σ_{con} на опори, виконують бетонування, теплову обробку і витримують бетон в в опалу-

бці до набуття ним необхідної передавальної міцності R_{bp} . У такому стані проходять перші втрати $\sigma_{los,1}$ попереднього натягу арматури (рис. 3).

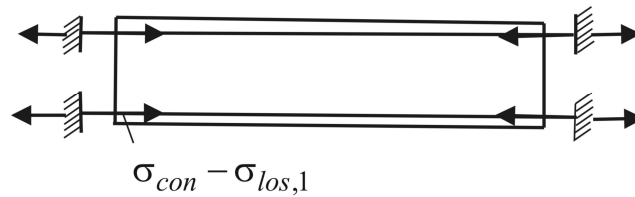


Рис. 3. Схема натягу арматури у залізобетонній балці [1, 2].

Далі під час звільнення з опор і відпуску натягу арматури, яка щеплена з бетоном, проходить обтиснення бетону, в якому розвиваються деформації швидкої повзучості і проходять втрати обтиску бетону (рис. 4), а також попереднього натягу арматури $\alpha\sigma_{bp}$, тобто в ній залишаються напруження розтягу

$$\sigma_a = \sigma_{con} - \sigma_{los,1} - \alpha\sigma_{bp} \quad (2)$$

Тут σ_{bp} – напруження обтиску бетону; α – коефіцієнт зменшення напруження обтиску бетону за його повзучості.

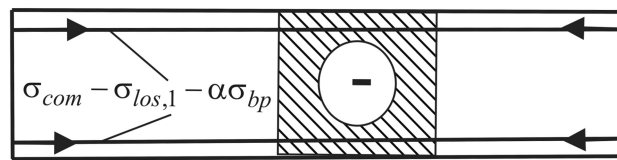


Рис. 4. Схема напружень у попередньо напруженій залізобетонній балці після відпуску натягу арматури.

Після того, як до балки прикладене рівномірно розподілене експлуатаційне навантаження інтенсивності p , розподіл напружень в балці буде визначатися епюрою, зображеною на рис. 1. Додаткові напруження розтягу σ_p , які виникають за цього напруження в арматурі за рахунок експлуатаційного навантаження p будуть визначатися на основі результатів [5] так

$$\sigma_p = \frac{3ph_2L^2}{4h_1^3} \quad (3)$$

Тоді на основі співвідношень (2) та (3) сумарне напруження σ_{ap} в арматурі буде таким

$$\sigma_{ap} = \sigma_{con} - \sigma_{los,1} - \alpha\sigma_{bp} + 0,75ph_2h_1^{-3}L^2 \quad (4)$$

Визначення залишкового ресурсу залізобетонної балки за згину. Для реалізації математичної задачі (1) і визначення залишкового ресурсу $t = t_*$ (часу до руйнування) нижньої арматури в залізобетонній балці необхідно знайти коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) K_I біля контуру тріщини (рис. 2) у поперечному перерізі арматури. Таким чином, в даному випадку задача полягає у визначенні КІН біля контурів системи сегментних тріщин у поперечному перерізі циліндричного стрижня (рис. 2) діаметром D , який розтягується зусиллями $P = 0,25\pi\sigma_{ap}D^2$.

Така задача розв'язана наближено у праці [6] методом граничної інтерполяції і КІН біля контурів тріщин визначається так

$$K_I = \frac{2\sqrt{2}P}{D\sqrt{D}} f(\varepsilon), f(\varepsilon) = \frac{2,244\sqrt{\pi\varepsilon(1-\varepsilon)}}{S_1\sqrt{12,4247\varepsilon + 4(1-\varepsilon)}}; \quad \varepsilon = 2CD^{-1}; \quad (5)$$

$$S_1 = \pi - 2(\arcsin \sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2} - (1 - \varepsilon)\sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2}).$$

Підставляючи (5) у рівняння (1), отримаємо

$$\frac{dC}{dt} = \frac{A_{2t} \{ [2\sqrt{2}PD^{-1.5} f(\varepsilon)]^{2m} - K_{thc}^{2m} \}}{K_{CC}^{2m} [1 - 8P^2 D^{-3} f^2(\varepsilon) K_{CC}^{-2}]} \quad (6)$$

за початкових і кінцевих умов:

$$t = 0, C(0) = C_0; \quad t = t_*, C(t_*) = C_*; \quad 2\sqrt{2}PD^{-1.5} f(\varepsilon_*) = K_{CC}.$$

Інтегруючи (6) за вказаних початкових і кінцевих умов, для визначення залишкового ресурсу $t = t_*$ нижньої арматури і в цілому залізобетонної балки отримаємо таку формулу

$$t_* = 0,5DK_{CC}^{2m} A_{2t}^{-1} \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon_*} \frac{[1 - 8P^2 D^{-3} f^2(\varepsilon) K_{CC}^{-2}]}{[2\sqrt{2}PD^{-1.5} f(\varepsilon)]^{2m} - K_{thc}^{2m}} d\varepsilon. \quad (7)$$

Надалі розглядаємо випадок високоміцної арматури діаметра $D = 0,014$ м класу А1000, для якої кінетична діаграма, що побудована у праці [7] для поширення тріщин низькотемпературної повзучості, приведена на рис. 5.

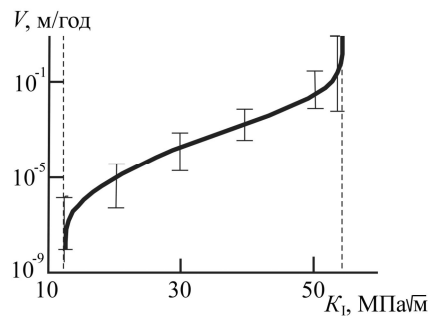


Рис. 5. Кінетична діаграма $V-K_I$ поширення тріщин низькотемпературної повзучості у високоміцній арматурі А1000.

Порівнюючи дані рис. 5 із рівнянням (1) кінетичної діаграми поширення тріщин низькотемпературної повзучості, знайдемо для високоміцної арматури класу А1000 такі характеристики

$$A_{2t} = 7,3 \times 10^{-3} \text{ м/год}; \quad m = 3,4; \quad K_{CC} = 54,2 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}; \quad K_{thc} = 12,3 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}. \quad (8)$$

Вважаємо, що сумарне напруження в арматурі від попереднього натягу і зовнішнього навантаження дорівнює $\sigma_{ap} = 645$ МПа.

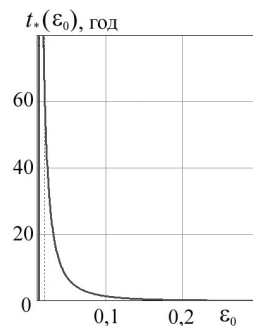


Рис. 6. Графічна залежність залишкового ресурсу t_* арматури від початкового розміру тріщин ε_0 .

Критичний розмір тріщини для цього навантаження буде рівний $\varepsilon_* \approx 0,4$. Тоді, підставляючи (5) і (8) в (7), отримаємо

$$t_* = 59 \cdot 10^{10} \int_{\varepsilon_0}^{0.4} \frac{1 - 3,4 \cdot 10^{-4} K_I^2}{K_I^{6,8} - 25,78 \cdot 10^6} d\varepsilon, \quad (9)$$

$$K_I = 674,42 \frac{\sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon)} [12,42\varepsilon + 4(1-\varepsilon)]^{-0,5}}{\pi - 2[\arcsin \sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2} - (1-\varepsilon)\sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2}]}$$

На основі співвідношення (9) на рис. 6 побудована графічна залежність залишкового ресурсу t_* арматури від початкового розміру тріщин C_0 . Як видно з рис.6, збільшення початкового розміру тріщин різко знижує залишковий ресурс попередньо напруженої арматури.

1. Гнідець Б.Г. Залізобетонні конструкції з напружуваними стиками і регулюванням зусиль./Б.Г. Гнідець – Львів: Вид. Нац. універ. “Львівська політехніка”. – 2008. – 548 с.
2. Байков В.Н. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учебное пособие для вузов./ В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов – М.: Стройиздат. – 1991. – 767 с.
3. Довговічність пластин з тріщинами за довготривалого статичного навантаження і локальної повзучості /О.Є. Андрейків, В.Р. Скальський, Ю.Я. Матвійв, Т.А. Крадінова // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2012. – № 1. – С 39–46.
4. Андрейків О.Є. Визначення довговічності пластин з системами тріщин в умовах дії довготривалого статичного розтягу і низькотемпературного поля. /О.Є. Андрейків, Ю.Я. Матвійв, Т.А. Крадінова // Мат. методи і фіз.-мех. поля. – 2011. – №4. – С 161–169.
5. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов. /Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев – К.: Наукова думка, 1988. – 734 с.
6. Панько І.М. Теоретичні основи інженерних методів для оцінки тріщиностійкості матеріалів і елементів конструкцій./І.М. Панько – Львів : ФМІ НАНУ.– 200.– 280 с.
7. Скальський В.Р. Методика оцінки характеристик повзучості матеріалів /В.Р. Скальський, Ю.Я. Матвійв, Т.А. Крадінова //Машинознавство. – 2012. – №2. (у друці)