

УДК 691.328:666.972

ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ФІБРОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КУЛЬОВИМИ ПОРОЖНИНАМИ ЗА ДОВГОТРИВАЛОГО РОЗТЯГУ

Орест РАЙТЕР

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ,
вул. Наукова, 79000, 5, м. Львів
e-mail: orest.raiter@gmail.com*

Розроблено методику визначення ресурсу фібробетонних елементів конструкцій з кульовими порожнинами за їхнього довготривалого розтягу. В основу цього покладена розроблена раніше автором розрахункова модель для визначення ресурсу будівельних елементів такого типу, де є локальна повзучість фібробетону. На підставі цього, а також відомих у літературі результатів експериментальних досліджень побудови діаграм повзучості фібробетонів проведено розрахунок фібробетонного елемента великого перерізу з кульовим пошкодженням за довготривалого всебічного розтягу.

Ключові слова: ресурс, розрахункова методика, фібробетонний елемент конструкції із сфероїдальною порожниною, діаграма повзучості фібробетону за розтягу.

1. Вступ

Експлуатація відповідальних елементів будівельних конструкцій із фібробетонів потребує створення надійних методів оцінки стану та розрахунку їхньої міцності і довговічності для уникнення непередбаченого руйнування і запобігання можливої катастрофи [1, 2]. Разом з тим не припиняються спроби створити теорії заповільненого руйнування фібробетонів за довготривалого статичного навантаження, коли починає діяти механізм повзучості і сповільнено буде розвиватися пошкодження фібробетону, яке досягне критичного значення й елемент конструкції зруйнується. На підставі раніше розробленої автором розрахункової моделі [3] сформульовано задачу про визначення ресурсу фібробетонних елементів конструкцій великих січень з кульовими дефектами за їхнього розтягу. Розв'язок цієї задачі такий.

2. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ТА МЕТОД ЇЇ РОЗВ'ЯЗКУ

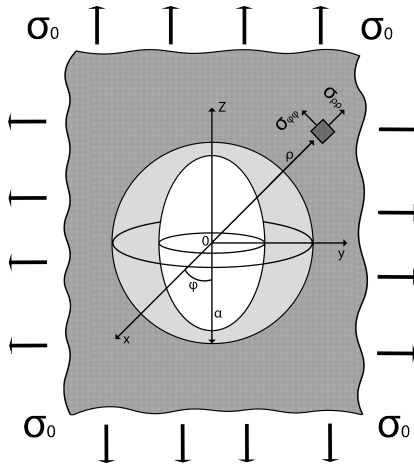


Рис. 1. Схема навантаження тіла з пошкодженням

Розглянемо фібробетонний елемент конструкції великого перерізу з концентратором напружень у вигляді кульової порожнини радіуса ρ_0 за дії довготривалого всебічного статичного розтягу рівномірно розподіленими зусиллями інтенсивності p , прикладеними далеко стосовно концентратора напружень (рис. 1). Задача полягає у визначенні часу $t = t_*$, коли за навантаження p біля кульової порожнини утворилося початкове пошкодження об'ємом q_0 , яке в результаті повзучості підросте до критичного розміру q_* і фібробетонний елемент зруйнується. Тут приймаємо, що q — це об'єм матеріалу біля концентратора напружень з підвищеною тріщинуватістю продеформований під час *другої стадії* деформації розтягу [3] в результаті напруження $\sigma > \sigma_b$ (див. далі). Для розв'язку такої задачі насамперед зробимо адаптацію побудованої в [3] математичної моделі, тобто математичні рівняння, які описують цей процес. У цьому випадку

будемо вважати, що пошкодження q росте неперервно від початкового розміру $q = q_0$ до кінцевого $q = q_*$. Це припущення коректне, оскільки реально пошкодження росте малими стрибками об'єму розміру Δq_c за досить великі проміжки часу Δt_c . У зв'язку з цим на підставі результатів [3] розв'язок задачі зведеться до такого рівняння з початковими та кінцевими умовами

$$(1) \quad \frac{dq}{dt} = \left[\frac{\partial W_p^{(2)}}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} \right]_{t=\Delta t_c} / (\gamma_{cc} - \gamma_t)_{t=0},$$

$$t = 0, q(0) = q_0; \quad t = t_*, q(t_*) = q_*.$$

Тут A — робота зовнішніх сил; $W_p^{(2)}(t)$ — частина роботи непружних деформацій у зоні пошкодження q , яка виділяється за постійного його об'єму під час інкубаційного періоду підготовки стрибка його росту на Δq_c , залежить тільки від часу t і генерується самим тілом; γ_{cc} — питома по елементарному об'єму енергія руйнування при рості пошкодження у фібробетоні; γ_t — початкова питома енергія деформування в пошкодженому об'ємі фібробетону за навантаження p , а величина q_* критичного об'єму пошкодження фібробетону визначається з умови досягнення в такому об'ємі нормальною деформацією критичної величини ε_{fbc} , тобто

$$(2) \quad \max(\varepsilon) = \varepsilon_{fbc}.$$

Тут (1) — кінетичне рівняння росту об'єму пошкодження в фібробетонному елементі конструкції за довготривалого статичного навантаження, а також початкові та кінцеві умови росту його об'єму q від початкового q_0 і до критичного q_* значення, коли елемент конструкції зруйнується.

Отже, якщо будуть знайдені функції $W_p^{(2)}$, A , γ_{CC} , γ_t , то визначення залишкового ресурсу $t = t_*$ фібробетонного елемента конструкції задається співвідношеннями (1), (2). Отже, задача зводиться до визначення енергетичних складових процесу деформування і руйнування фібробетону, що приводить до визначення реологічних моделей його складових.

3. ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ФІБРОБЕТОННОГО ЕЛЕМЕНТА ВЕЛИКОГО ПЕРЕРІЗУ З КУЛЬОВИМ ПОШКОДЖЕННЯМ ЗА ВСЕБІЧНОГО РОЗТЯГУ

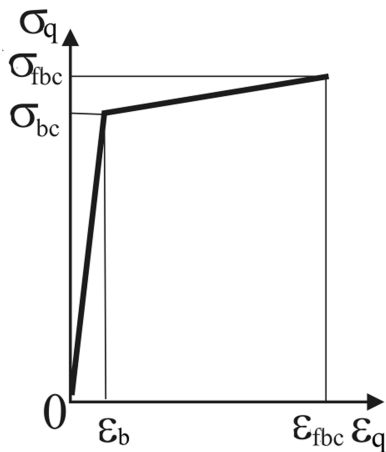


Рис. 2. Схематичне зображення ідеалізованої діаграми розтягу для фібробетону

Розглянемо фібробетонний елемент конструкції великого перерізу з кульовою порожниною. Вважається, що діаметр D великого перерізу елемента конструкції буде втричі більшим діаметра ρ_0 кульової порожнини, тобто $D > 3d_0$. У зв'язку з цим механічною моделлю фібробетонного елемента великого перерізу з кульовою порожниною можна наближено вважати нескінченний простір з аналогічним пошкодженням за всебічного розтягу рівномірно розподіленими зусиллями інтенсивності p . Для розв'язку такої задачі, аналогічно до результатів праці [3], застосуємо сформульовану вище розрахункову модель (1), (2). Надалі для спрощення розв'язку задачі та чіткішої демонстрації застосування запропонованої моделі приймаються такі допущення.

1. Матеріали матриці та фібр – лінійно-пружні, однорідні й ізотропні. Тріщини в бетоні (понад початкових наявних мікротріщин, що є невід'ємним компонентом матеріалу) виникають після досягнення напруженнями величини σ_{bc} .
2. Діаграма розтягу фібробетону приймається кусково лінійною, як на рис. 2. Тут σ_{bc} — значення напружень у фібробетону, коли починається руйнування матриці; ε_b — значення деформацій у цей момент; σ_{fbc} , ε_{fbc} — напруження і деформації у фібробетоні, коли починається течіння фібр напередодні його руйнування, тобто можна сказати, що цим вичерпується роботоздатність фібробетону. Для простоти обчислень ділянку, яка відповідає другій стадії деформування, наближено зображаємо прямолінійним відрізком (рис. 2) між точками $(\sigma_{bc}, \varepsilon_b)$ і $(\sigma_{fbc}, \varepsilon_{fbc})$ з модулем пружності E_{fb} [3].
3. Фібри (однакового круглого перетину й однакової довжини) в розглянутому елементі рівно розподілені по всіх напрямках і за обсягом працюють тільки на розтяг.
4. Між фібрами та бетоном існує повне зчеплення, тому деформація фібри дорівнює деформації композиту.

5. Вважається, що навантаження фібробетонного елемента забезпечує умову $\varepsilon_0 > \varepsilon_b$ і буде реалізуватися повна діаграма повзучості до його руйнування (рис. 3). Тут подана діаграма повзучості для фібробетону. Повзучість елементів фібробетону проходить порізно, а сумарно ще більш непередбачувано та сильно залежить від початкового навантаження, зокрема від початкової деформації ε_0 , і складності напружено деформованого стану. Для деяких малих значень ε_0 повзучість фібробетону може навіть і не починатися, а для інших може початися і зупинитися не доходячи до руйнування [3]. Тому її експериментально потрібно визначати для кожного складу фібробетону і заданого напруженого стану. Якісно повна діаграма повзучості фібробетону в певній мірі нагадує діаграму для бетону (див. рис 3), з трьома ділянками: неусталена повзучість $\varepsilon_0 \sim \varepsilon_1$, усталена повзучість $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_2$, долом $\varepsilon_2 \sim \varepsilon_3$. Найбільше часу займає усталена повзучість, яка зазвичай починається за величини деформацій, які відповідають другій стадії деформування фібробетону. Тому часовим проміжком часу $t = t_2 - t_1$ наближено і визначають довговічність фібробетонного елемента за довготривалого статичного навантаження. Як свідчать результати експериментальних досліджень автора праці [2] у якісному відношенні відмінності між кривими повзучості бетону та фібробетону відсутні, якщо не враховувати невеликого прискорення загасання процесу повзучості у разі фібробетону.

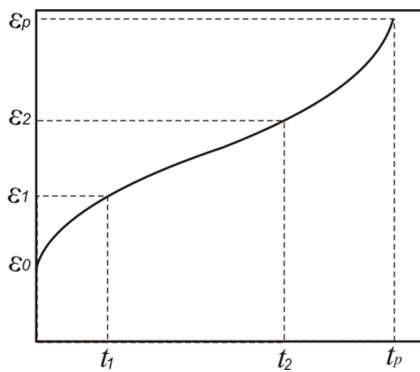


Рис. 3. Схематична діаграма повзучості для фібробетону

Позаяк зовнішні навантаження p прикладені достатньо далеко від кульової порожнини, то їхня робота в процесі повзучості фібробетону біля неї буде змінюватися незначно, тому можна вважати, що

$$\frac{\partial A}{\partial t} \approx 0, \quad \frac{\partial A}{\partial q} \approx 0.$$

У зв'язку з цим співвідношення (1), (2) в цьому випадку набудуть такого вигляду:

$$\frac{dq}{dt} = \left[\frac{\partial W_p^{(2)}}{\partial t} \right]_{t=\Delta t_c} \times (\gamma_{CC} - \gamma_t)^{-1}, \quad (3)$$

$$t = 0, q(0) = q_0; t = t_*, q(t_*) = q_*.$$

Тут q_0 — вихідний розмір пошкодженого об'єму в результаті початкового навантаження за напруження $\sigma_{\alpha\alpha}(\rho) > \sigma_{bc}$; q_* — критичний розмір пошкодженого об'єму, коли деформація $\varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho_0, t_*)$ досягне критичного значення ε_{fbc} . Тут $O\rho\alpha$ — центросиметрична сферична система координат (рис. 1). Тоді на підставі

співвідношень (3) для визначення залишкового ресурсу $t = t_*$ нескінченного тіла отримаємо таку формулу:

$$(4) t_* = \int_{q_0}^{q_*} (\gamma_{CC} - \gamma_t) / [\partial W_p^{(2)} / \partial t]_{t=\Delta t_c} dq; t_* = 4\pi \int_{\rho_0}^{\rho_*} (\gamma_{CC} - \gamma_t) / [\partial W_p^{(2)} / \partial t]_{t=\Delta t_c} \rho^2 d\rho.$$

Енергетична складова $W_p^{(2)}$ в згаданій вище системі координат $O\rho\alpha$ буде визначатися так:

$$(5) \quad W_p^{(2)}(\rho, t) = 4\pi \int_{\rho_b}^{\rho} \xi^2 \{ \sigma_{\rho\rho}(\xi) \varepsilon_{\rho\rho}(\xi, t) + \sigma_{\alpha\alpha}(\xi) \varepsilon_{\alpha\alpha}(\xi, t) \} d\xi.$$

Для визначення величин $\sigma_{\rho\rho}, \sigma_{\alpha\alpha}, \varepsilon_{\rho\rho}, \varepsilon_{\alpha\alpha}$, які входять у співвідношення (5) робимо так. На підставі результатів праці [4] знайдемо, що

$$(6) \quad \sigma_{\rho\rho}(\rho) = p(1 - \rho_0^3 \rho^{-3}), \quad \sigma_{\alpha\alpha}(\rho) = p(1 + 0,5 \rho_0^3 \rho^{-3}) \quad (\rho > \rho_b).$$

Тут при $\rho > \rho_b$ напруження $\sigma_{\alpha\alpha}(\rho) < \sigma_{bc}$. З врахуванням цього радіус $\rho = \rho_b$ знайдемо за такою формулою:

$$(7) \quad \rho_b = \frac{\rho_0}{\sqrt[3]{\sigma_b p^{-1} - 1}}.$$

Отож, пошкоджена зона буде кільцем $\rho_0 < \rho < \rho_b$, в якому напружено-деформований стан відповідатиме реологічній моделі на рис. 2 для зони зміни деформації в межах $\varepsilon_b < \varepsilon < \varepsilon_{fbc}$.

Використовуючи співвідношення (6), (10) і результати праці [5], для визначення величин $\varepsilon_{\rho\rho}, \varepsilon_{\alpha\alpha}$ у пружній зоні при $\rho > \rho_b$ отримаємо такі формули:

$$(8) \quad \begin{aligned} \varepsilon_{\rho\rho}(\rho) &= pE^{-1}[1 - \mu - \rho_0^3 \rho^{-3}(1 + 0,5\mu)], \\ \varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho) &= pE^{-1}[1 - \mu + \rho_0^3 \rho^{-3}(0,5 + \mu)]. \end{aligned}$$

Тут μ, E —, відповідно, коефіцієнт Пуассона і модуль Юнга бетону.

Для області $\rho < \rho_b$, де фібробетон деформований за границею суцільної пружності σ_b формулу (8), для $\varepsilon_{\rho\rho}(\rho)$ можна вважати наближено правильною. Водночас величина $\varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho)$ в цій області більша за ε_b та її згідно з рис. 2 і [5] визначатимемо так:

$$(9) \quad \varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho) = \varepsilon_b + E_{fb}^{-1}[\sigma_{\alpha\alpha}(\rho) - \sigma_b] - \mu E^{-1}p(1 - \rho_0^3 \rho^{-3}),$$

де модуль пружності E_{fb} пошкодженої зони фібробетону наближено зобразимо формулою

$$(10) \quad E_{fb} = (\sigma_{fbc} - \sigma_b)(\varepsilon_{fbc} - \varepsilon_b)^{-1}.$$

У формулу (9) входить невідома функція розподілу напружень $\sigma_{\alpha\alpha}(\rho)$ у пошкодженій зоні $\rho_0 < \rho < \rho_b$. Для визначення цієї функції необхідно було би розв'язувати відповідну пружно-пластичну задачу, що можливо тільки числово. Проте в нашому випадку потрібна аналітична формула, яку визначатимемо наближено так. Розглянемо окремо пошкоджену кільцеву область $\rho_0 < \rho < \rho_b$, яка згідно зі співвідношеннями (6), (7) навантажена напруженнями $\sigma_{\rho\rho}(\rho_b) = 2p - \sigma_b$ по колу $\rho = \rho_b$. Якби це кільце деформувалося чисто пружно (ділянка $O\tilde{\varepsilon}_b$ на рис. 2), то згідно з [5] напруження $\sigma_{\alpha\alpha}(\rho)$ визначалося б так:

$$(11) \quad \sigma_{\alpha\alpha}(\rho) \approx p(1 + 0,5 \rho_0^3 \rho^{-3}) \quad (\rho_0 < \rho < \rho_b).$$

Проте друга ділянка $\varepsilon_b \sim \varepsilon_{fbc}$ на рис. 2 також лінійна, але з меншим значенням модуля пружності E_{fb} , тому для наближеного визначення $\varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho)$ скористаємось формулою (9), де подамо $\sigma_{\alpha\alpha}(\rho)$ формулою (11)

$$(12) \quad \varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho) \approx \varepsilon_b + E_{fb}^{-1}[p(1 + 0,5\rho_0^3\rho^{-3}) - \sigma_b] - \mu E^{-1}p(1 - \rho_0^3\rho^{-3}) \quad (\rho_b < \rho < \rho_{fbc}).$$

Як впливає зі співвідношень (9), на невеликій відстані від контуру отвору в плиті напруження $\sigma_{\rho\rho}$ будуть малими, тому при визначенні $W_p^{(2)}$ величинами $\sigma_{\rho\rho}(\xi)\varepsilon_{\rho\rho}(\xi)$ і $\sigma_{\rho\rho}(\xi)\varepsilon_{\rho\rho}(\xi, t)$ будемо нехтувати. На підставі цього отримаємо

$$(13) \quad W_p^{(2)}(\rho, t) \approx 4\pi \int_{\rho_b}^{\rho} \xi^2 \sigma_{\alpha\alpha}(\xi) \varepsilon_{\alpha\alpha}(\xi, t) d\xi,$$

$$\gamma_{CC} = \sigma_{fbc} \varepsilon_{fbc},$$

$$\gamma_t = \sigma_{\alpha\alpha}(\rho) \varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho, 0).$$

Величину $\varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho, t)$ визначаємо на підставі експериментальних даних [2] для відповідного складу фібробетону таким співвідношенням:

$$(14) \quad \varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho, t) \approx \varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho) + 10^{-5} \beta \sigma_{\alpha\alpha}^{0,84}(\rho) t^{0,5} \quad (\beta = 1 \cdot (MPa)^{-0,84} (days)^{-0,5}).$$

Варто зауважити, що з допомогою згаданих експериментальних даних [2] знайдені наближено й інші величини, які використовують для обчислення $t = t_*$ залишкового ресурсу плити, зокрема

$$(15) \quad E \approx 10^4 MPa \quad (\sigma < 23,5 MPa); \quad E_{fb} \approx 631 MPa \quad (23,5 < \sigma < 25,2 MPa),$$

$$\mu \approx 0,2, \quad \varepsilon_{fbc} \approx 0,00501, \quad \varepsilon_b = 0,00230, \quad \sigma_b = 23,5 MPa,$$

$$\sigma_{fbc} = 25,2 MPa, \quad 15,67 < p < 16,8.$$

Кінцева мета цього дослідження — це визначення $t = t_*$ ресурсу розглянутої фібробетонного елемента з кульовою порожниною, що і реалізуємо за допомогою формули (4), де функцію $W_p^{(2)}$ обчислюємо на підставі співвідношень (13)–(15). У формулу (4) входить невідома величина Δt_c , яку визначаємо так. Вважається, що на краю пошкодженої зони, що рухається стрибкоподібно в результаті повзучості, величина деформації $\varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho, t)$ буде однаковою навіть після одного стрибка. На підставі співвідношень (12), (14), (15) і $\Delta t_c = \Delta\rho V^{-1}$ для великих значень Δt_c цю умову можна записати так:

$$(16) \quad E_{fb}^{-1}[p(1 + 0,5\rho_0^3\rho^{-3}) - \sigma_b] + 10^{-5} \beta \sigma_0^{0,84} (1 + 0,5a^3\rho^{-3})^{0,84} t^{0,5} =$$

$$= E_{fb}^{-1}([p(1 + 0,5\rho_0^3(\rho + \Delta\rho)^{-3})] - \sigma_b E_{fb}^{-1})$$

$$+ 10^{-5} \beta \sigma_0^{0,84} [1 + 0,5a^3(\rho + \Delta\rho)^{-3}]^{0,84} (t + \Delta t_c)^{0,5};$$

$$\Delta t_c = \Delta\rho V^{-1}.$$

Розв'язуючи рівняння (16) відносно Δt_c і нехтуючи малими величинами, отримаємо

$$(17) \quad \Delta t_c \approx 0,8 V^{-1} \rho_0^{-3} \rho_b^4 (1 + 0,5\rho_0^3 \rho_b^{-3}).$$

Поряд з цим, у формулу (8) входить невідома величина ρ_* , яку будемо визначати так. Критична величина радіусу пошкодженої зони $\rho = \rho_*$ досягається тоді,

коли величина деформації на поверхні колового отвору досягне критичного значення $\varepsilon_{\alpha\alpha}(\rho_*, t_*) = \varepsilon_{fbc}$. На підставі цього і використовуючи співвідношення (16), для визначення ρ_* отримаємо наближену формулу

$$(18) \quad \rho_* \approx \rho_0 \sqrt[3]{\frac{E_{fc}(\varepsilon_{fbc} - \varepsilon_b) + \sigma_b}{3\sigma_b - 2[E_{fc}(\varepsilon_{fbc} - \varepsilon_b) + \sigma_b]}}$$

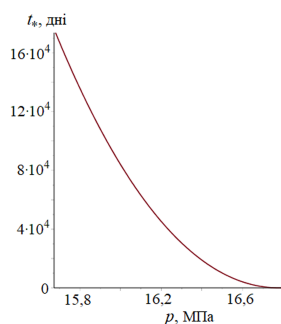


Рис. 4. Залежність довговічності t_* фібробетонного елемента від параметра навантаження p

Підставляючи (11), (15), (18), (19) в співвідношення (17), отримаємо значення $W_p^{(2)}$, яке враховуємо в формулі (8) для визначення $t = t_*$. Разом з тим тут також необхідно підставити формули (18), (19). На підставі цього формула (8) набуде такого вигляду:

$$t_* \approx 1,4281 \cdot 10^{10} \cdot p^{-3,68} (1 - 0,0283p^2 + 0,4152p)^2 \text{ днів. (19)}$$

На підставі цієї формули на рис. 4 побудована залежність $t_* \sim p$ довговічності фібробетонної плити від параметра навантаження p . Як видно з рисунка, невелике збільшення навантаження різко зменшує довговічність плити. Це треба враховувати при прогнозуванні фібробетонних елементів конструкцій.

4. ВИСНОВКИ

Розроблена розрахункова модель для визначення довговічності фібробетонних елементів конструкцій з кульовими порожнинами за їхнього довготривалого розтягу. В основу цього покладено сформульований раніше автором енергетичний підхід і ідеалізована діаграма розтягу фібробетону. Застосування цієї моделі продемонстровано на задачі з конкретними експлуатаційними параметрами фібробетону та діаграмою його повзучості. Доведено, що невелике збільшення навантаження різко зменшує довговічність фібробетонного елемента.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О. Є. Андрейків, В. Р. Скальський, І. Я. Долінська, О. К. Райтер, *Методи оцінювання міцності і довговічності фібробетонів*, Фіз.-хім. механіка матеріалів (2018), по. 3, 19–36.
2. С. Ф. Неутов, М. М. Сидорчук, М. Г. Сурьянинов, *Исследование ползучести сталефібробетона*, Міжвузівський зб. "Наукові нотатки" (Луцьк) **60** (2017), 181–186.
3. О. Є. Андрейків, І. Я. Долінська, О. К. Райтер, *Континуальна модель для оцінки залишкової довговічності фібробетонних конструкцій за локальної повзучості*, Фіз.-хім. механіка матеріалів (2020), по. 3, 62–68.
4. А. И. Лурье, *Теория упругости*, Наука, Москва, 1970, 940 с.
5. В. В. Панасюк, О. Є. Андрейків, В. З. Партон, *Основы механики разрушения*, Наукова думка, Київ, 1988, 488 с.

Стаття: надійшла до редколегії 13.03.2019
доопрацьована 01.05.2019
прийнята до друку 03.02.2020

DETERMINATION OF THE RESOURCE OF FIBER CONCRETE ELEMENTS WITH BALL LONG TERM TENSION CAVES

Orest RAITER

*Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine,
Naukova Str., 5, 79000, Lviv, Ukraine
e-mail: orest.raiter@gmail.com*

In this paper we investigate the developed method of determining the life of fibro-concrete elements of structures with spherical cavities under their long-term tension. This is based on the calculation model developed earlier by the author to determine the life of building elements of this type, where there is a local creep of fiber concrete using the previously calculated by the author energy approach and idealized tensile diagram of fiber concrete. Based on this, as well as the results of experimental studies of the construction of creep diagrams of fibro-concretes known in the literature, the calculation of a fibro-concrete element of large cross section with spherical damage during long-term comprehensive stretching was performed. The application of this model is demonstrated on problems with specific operational parameters of fiber concrete and its creep diagram. It is shown that a small increase in load dramatically reduces the durability of the fiber concrete element. The tensile behavior after cracking of fiberglass in places of fiber is modeled using the above model, which takes into account the fiberglass fracture properties, the interaction of the fiber in the cracks of concrete and the behavior of the fiber. The model is tested by comparing the calculated total key and local values known in the literature of the results of experimental studies of the construction of creep diagrams of fiber concrete. A wide comparison of numerical and experimental results revealed that the reliable and computational efficiency of the model well captures key aspects of the reaction, such as softening of fibrous concrete tension, tension-curvature effect and favorable effect of fibers in the residual reaction. The results of this study reveal a favorable effect of fiber on the behavior of long-term tensile strength, crack resistance in the area of the ball cavity, and residual stress after cracking for the previously calculated by the author energy approach and idealized tensile diagram of fiber concrete.

Key words: resource, computational technique, fibro-concrete structural element with spheroidal cavity, diagram of creep of fiber-reinforced concrete by tensile.