

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ УСАДКИ ТА ПОВЗУЧОСТІ ПОШКОДЖЕНОГО КОРОЗІЄЮ БЕТОНУ

*Р. Хміль, к.т.н., Р. Вашкевич, к.т.н., Ю. Іваниця, інженер,
Я. Бліхарський
Національний університет „Львівська політехніка”*

Ключові слова: корозія бетону, залізобетонні балки, арматура, прогини, напружено-деформований стан.

Стаття присвячена дослідженню бетонних та залізобетонних конструкцій за тривалої дії навантаження та агресивного середовища. Експериментальні дослідження зазначених конструкцій проводилися в середовищі сірчаної кислоти. При визначенні деформативності зразків та виведенні залежностей впливу корозії на напружений стан враховували повзучість та усадку-набухання бетону. Порівняння отриманих експериментальних і теоретичних величин деформацій бетону показало задовільну збіжність.

Постановка проблеми. Залізобетонні конструкції досить часто перебувають в агресивних середовищах. Це призводить до зменшення експлуатаційної придатності конструкцій. Оскільки така експлуатація залізобетонних конструкцій відбувається за дії навантаження й протягом тривалого часу, у бетоні конструкцій мають місце явища усадки та повзучості. Ці явища одночасно зі зміною геометричних розмірів конструкцій внаслідок корозійних руйнувань спричиняють зміну напружено-деформованого стану залізобетонних елементів у часі. Їх врахування необхідне для точнішої оцінки напруженого стану залізобетонних конструкцій. Особливо важливим є теоретичне прогнозування деформацій усадки і повзучості для конструкцій, що перебувають в агресивному середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню впливу агресивного середовища різних видів на бетонні та залізобетонні конструкції присвячено достатню кількість робіт [1–3]. Ці дослідження дозволили зробити класифікацію корозійних явищ, встановити їх вплив на залізобетонні конструкції, розробити системи захисту від корозії. Незначна кількість робіт стосується дослідження одночасної дії агресивного середовища й навантаження на залізобетонні конструкції. Досить глибоко досліджені також явища усадки і повзучості бетону та їх вплив на напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій, не пошкоджених корозійними впливами [4; 5], та на їх основі розроблено пропозиції щодо врахування усадки і повзучості в розрахунку залізобетонних конструкцій.

Проте недостатньо досліджено вплив явища усадки і повзучості бетону на напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій, що перебувають під впливом агресивного середовища, особливо одночасно з дією навантаження на конструкції.

Постановка завдання. У нашій роботі подано результати експериментально-теоретичних досліджень бетонних і залізобетонних конструкцій за дії навантаження та агресивного середовища з урахуванням впливу явища усадки і повзучості бетону.

Виклад основного матеріалу. На першому етапі експериментальних досліджень було випробувано серію бетонних призм розміром 400×100×100 мм. На спеціально запроєктованому стенді призми завантажували центрально-прикладним стискальним зусиллям (рис. 1), що створювало рівень напружень у бетоні $\sigma_b = (0,3 \dots 0,4)R_b$. Розмір стискального зусилля залишали постійним.

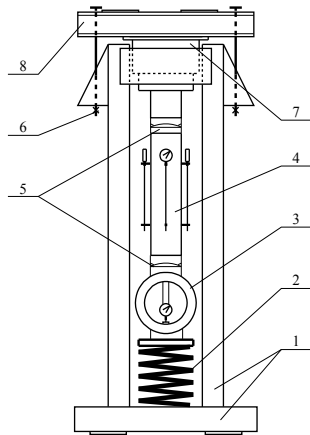


Рис. 1. Стенд для випробовування бетонних призм тривалим навантаженням:
 1 – рама силової установки; 2 – пружини; 3 – кільцевий динамометр,
 4 – призма; 5 – кульковий шарнір; 6 – фіксувальні тяжі; 7 – п'ята для передачі
 навантаження, 8 – розподільча траверса.

Одночасно для досліджень завантажували три призми однієї серії. Призми випробовували, прикладаючи такі тривалі зусилля та середовища:

- а) тривале центральне стискальне зусилля без середовища;
- б) тривале стискальне зусилля у водному середовищі;
- в) тривале стискальне зусилля в агресивному середовищі.

Крім того, по три призми випробовували короточасним навантаженням без середовища для визначення початкових фізико-механічних характеристик. Призмова міцність бетону складала $R_b = 53,6$ МПа.

Як агресивне середовище використовували 10%-й розчин сірчаної кислоти (H_2SO_4), який заливали в спеціальну закріплену на призмі місткість після розташування стендів у горизонтальному положенні. Деформації стиску замірювали за допомогою мікроіндикатора, закріпленого на спеціально вбетонованих із базою 200 мм металевих стрижнях. У процесі випробувань поперечний переріз призм постійно зменшувався через корозійні руйнування. Внаслідок цього рівень напружень у бетоні постійно зростає.

Необхідно зауважити, що під час випробування призм мали місце деформації від дії стискального зусилля, повзучості та набухання (призми знаходились у водному розчині агресивного середовища), що подібні за природою до усадки, але протилежного знаку. Теоретичні показники деформацій визначали як сумарні, що склалися з деформацій від дії поздовжнього стискального зусилля ϵ_b , деформацій повзучості ϵ_{cr} та деформацій набухання ϵ'_{sh} . Деформації від дії поздовжнього стискального зусилля визначали з урахуванням наявності пластичних деформацій та з використанням діаграми $\sigma_b - \epsilon_b$ для бетону при стиску. Аналітичний опис діаграми $\sigma_b - \epsilon_b$ було прийнято згідно з рекомендаціями ФП-ЄКБ:

$$\frac{\sigma_b}{E_b} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, який враховує вплив пластичної складової деформацій;

$\eta = \epsilon_b / \epsilon_{bu}$ – величина, що характеризує інтенсивність приросту деформацій;

ϵ_b – деформації бетону під час напружень у бетоні σ_b ;

ϵ_{bu} – значення деформацій, яке відповідає призмівій міцності бетону R_b і яке можна визначити за пропозицією В.М. Барабаша із залежності

$$\epsilon_{bu} = \left[3,6R_b - 3 \left(\frac{R_b}{36} \right)^5 + 51 \right] \cdot 10^{-5}. \quad (2)$$

Для визначення деформацій бетону від дії поздовжнього стискального зусилля N через певні проміжки часу Δt , використовуючи розміри залишкового поперечного перерізу призм після корозійних руйнувань, знаходили напруження в бетоні $\sigma_b = N/A_b^c$ (A_b^c – площа перерізу призм з урахуванням наявних корозійних пошкоджень). Далі із залежності (1) визначали значення η , за ним –

розмір деформацій бетону ε_b . Деформації повзучості бетону ε_{cr} отримували з використанням залежностей, запропонованих для бетонів без пошкоджень [4; 5] та з урахуванням впливу корозійних процесів. Результуюча формула для обчислення деформацій повзучості має вигляд

$$\varepsilon_{cr} = \gamma_{bc} \xi_{cr1} \xi_{cr2} \xi_{cr3} 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot B \cdot \frac{\sigma_b}{R_b} \cdot \left(1 - e^{-1,5\sqrt{t/365}}\right), \quad (3)$$

де γ_{bc} – коефіцієнт, що враховує наявність корозійних пошкоджень, який пропонуємо приймати 1,05...1,15 залежно від виду бетону;

$\xi_{cr1}, \xi_{cr2}, \xi_{cr3}$ – коефіцієнти, які враховують вологість середовища, розміри конструкцій та час завантаження конструкції, і згідно з [6] їх можна визначити за формулами:

$$\xi_{cr1} = 1,54 \cdot (135 - w) / 100; \quad (4)$$

$$\xi_{cr2} = 0,9 \cdot (0,7 - 1/r); \quad (5)$$

$$\xi_{cr3} = 0,36 + 26,4 / (13 + \tau); \quad (6)$$

де τ – час навантаження конструкції.

При цьому, оскільки зі зміною поперечного перерізу призм внаслідок корозії, напруження в бетоні постійно зростають, для визначення деформацій повзучості використано принцип суперпозиції. Для кожного наступного проміжку часу Δt визначають приріст деформацій повзучості за відповідного рівня напружень у бетоні σ_b/R_b . Умовно вважають, що протягом відповідного проміжку часу Δt рівень напружень σ_b/R_b не змінюється. На наступному інтервалі Δt визначають приріст деформацій повзучості, що відповідає вищому рівню напружень σ_b/R_b і т.д. Отримані прирости деформацій повзучості такі, як показано на рис. 2 (червона лінія – результуюче значення деформацій повзучості).

Деформації набухання бетону ε'_{sh} визначали з використанням залежностей для усадки [5; 6] та врахуванням впливу корозії. Кінцева формула має вигляд:

$$\varepsilon'_{sh} = \gamma'_{sh} \gamma_{bc} \xi_{sh1} \xi_{sh2} \cdot 0,14 \cdot 10^{-6} \sqrt{B^3} \cdot \left(1 - e^{-1,5\sqrt{t/365}}\right), \quad (7)$$

де γ'_{sh} – перехідний коефіцієнт від деформацій усадки до деформацій набухання;

γ_{bc} – коефіцієнт, який враховує наявність корозійних пошкоджень бетону і який залежно від виду бетону та ступеня корозійних пошкоджень пропонуємо приймати $\gamma_{bc}=1,05...1,15$;

ξ_{sh1}, ξ_{sh2} – коефіцієнти, які згідно з [11] можна визначити з умов:

$$\xi_{sh1} = 1,52 \left(1 - (w/100)^3\right), \quad (8)$$

$$\xi_{sh2} = 0,035(31 - r), \quad (9)$$

де w – вологість середовища, %;

r – відкрита питома поверхня бетону.

Сумарні деформації бетону призм з урахуванням тривалих процесів та корозії дорівнювали:

$$\varepsilon = \varepsilon_b + \varepsilon_{cr} - \varepsilon'_{sh}; \quad (10)$$

На рис. 3 подано графік зміни сумарних деформацій бетону в часі у разі стиску. Деформації отримані експериментально, а теоретичні значення обчислені за наведеною методикою.

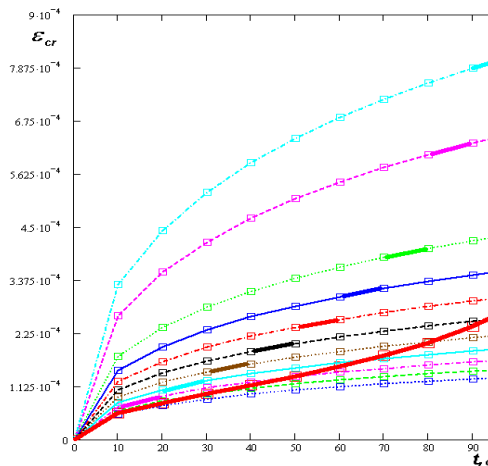


Рис. 2. Зміна деформацій повзучості в часі.

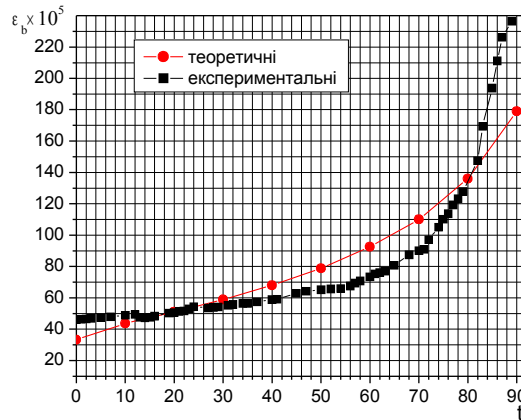


Рис. 3. Зміна сумарних деформацій бетону в часі.

Порівняння експериментальних і теоретичних деформацій бетону показало задовільну збіжність результатів.

Висновки. У результаті виконаних експериментальних і теоретичних досліджень отримано теоретичні залежності для визначення деформацій бетонних елементів, що перебувають під навантаженням, з урахуванням тривалих процесів і корозійних пошкоджень. Отримано задовільну збіжність експериментальних і теоретичних величин. Це дозволяє точніше оцінювати напружено-деформований стан бетонних і залізобетонних конструкцій, які перебувають під навантаженням за одночасної дії агресивного середовища.

Бібліографічний список

1. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Алексеев ; под ред. В. М. Москвина. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Гузев Е. А. Учет агрессивных воздействий в нормах проектирования конструкций / Е. А. Гузев, С. Н. Алексеев, Н. В. Савицкий // Бетон и железобетон. – 1992. – № 10. – С. 8-10.
3. Овчинников И. Г. Прочность и долговечность железобетонных элементов конструкций в условиях сульфатной агрессии / И. Г. Овчинников, Р. Р. Инамов, Р. Б. Гарибов. – Саратов, 2001. – 163 с.
4. Барашиков А. Я. Расчет железобетонных конструкций на действие длительных переменных нагрузок / А. Я. Барашиков. – К. : Будівельник, 1977. – 156 с.
5. Гольшев А. Б. Расчет железобетонных стержневых систем с учетом фактора времени / А. Б. Гольшев, В. П. Полищук, И. В. Руденко. – К. : Будівельник, 1984. – 128 с.
6. Берг О. Я. Высокопрочный бетон / О. Я. Берг, Е. Н. Щербаков, Г. Н. Писанко. – М. : Стройиздат, 1971. – 207 с.

Хмил Р., Вашкевич Р., Иваниця Ю., Бликхарский Я. Методика определения деформаций усадки и ползучести поврежденного коррозией бетона

Статья посвящена исследованию бетонных и железобетонных конструкций при длительном действии нагрузки и агрессивной среды. Экспериментальные исследования отмеченных конструкций проводились в среде серной кислоты. При определении деформативности образцов и выведении зависимостей влияния коррозии на напряженное состояние учитывали ползучесть и усадку-набухание бетона. Сравнение полученных экспериментальных и теоретических величин деформаций бетона показало удовлетворительную сходимость.

Ключевые слова: коррозия бетона; железобетонные балки, арматура, прогибы, напряженно-деформированное состояние.

Khmil R., Vashkevych R., Ivanytsya Yu., Blikharskyi Ya. Way of estimation of shrinking deformation and creep flow of concrete damaged by corrosion

The investigation of concrete and reinforced concrete constructions which are a long time on-loading and acting of a corrosive environment are given in this paper. The experimental researches of these constructions in an acid liquid corrosive environment are executed. Dependences for theoretical definition of

value of deformations of concrete on-loading with creeping and shrinkage - swelling of concrete taking into account of acting of a corrosive environment. The comparison of experimental and theoretical values shows satisfactory convergence of results.

Key words: corrosion of the concrete, reinforced concrete beams, reinforcing bars, deflections, stress-strain state.