

## ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ УСАДКИ ТА ПОВЗУЧОСТІ БЕТОНУ У ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛКАХ

© Мазурак А.В., Барабаш В.М., 2004

*Розглядається напружено-деформований стан попередньо напружених сталобетонних балок, а також можливість оцінки усадки та повзучості бетону з врахуванням різних чинників.*

**Постановка проблеми.** Важливу роль для розрахунку та означення напружено-деформованого стану попередньо напружених конструкцій відіграють втрати попереднього напруження в арматурі. Вони в основному залежать від способу виготовлення конструкцій і пристроїв, які при цьому використовуються. Як підтверджують теоретично-експериментальні дослідження, на втрати попереднього напруження в арматурі суттєво впливає усадка і повзучість бетону. Правильний підхід до підрахунку втрат від усадки і повзучості бетону необхідний для забезпечення міцності, жорсткості і тріщиностійкості конструкцій, а також для ефективного використання арматури і бетону.

Повзучість та усадка бетону суттєво впливають на напружено-деформований стан залізобетонних і сталобетонних елементів. Деформації усадки і повзучості бетону розвиваються з часом і залежать від ряду чинників, прийнятих згідно з даними літературних джерел [1; 2; 3; 4; 5]: склад і кількість компонентів бетону; вік, у якому проходить навантаження; рівень напружень; тривалість навантаження; розміри завантажених зразків; температурно-вологістні характеристики; навколишнє середовище та інші.

Властивість бетону відповідати додатковими недружніми деформаціями на тривалу дію напружень називається повзучістю. Вичерпного пояснення повзучості на сьогодні немає. Поширеним залишається погляд на її природу, який полягає в тому, що розвиток цих деформацій є наслідком переміщення води в порах гелю, в'язких деформацій гелевої складової і деформацій кристалічного скелету. Показники, деформацій повзучості залежить від інтенсивності навантаження. При цьому лише за порівняно невисокого рівня напружень залежність між граничними деформаціями повзучості і рівнем напружень пропорційна. При високих інтенсивностях навантаження приріст деформацій повзучості випереджає приріст напружень.

**Матеріали і методика досліджень.** Для розв'язання поставленої задачі запропоновані та виготовлені дві серії дослідних зразків, підданих обтиску зусиллям попереднього напруження арматури з наступною її витримкою 45...100 діб. Результати експериментальних досліджень порівнювались з розрахунками нормативних джерел [5], а також методикою, що подана нижче згідно з [1;2;4].

Оскільки рівень напружень стиску  $\sigma_{bp}$  в бетоні після обтиску дослідних зразків не перевищував 52 % від  $R_{bp}$ , у цьому випадку прийняли пропорційну залежність.

Загальна залежність для визначення відносної деформації повзучості у вигляді:

$$\varepsilon_{crt} = \varphi(t) * \varepsilon_b . \quad (1)$$

Для кількісного вираження повзучості бетону при стиску і розтягу використано міру повзучості в момент часу  $t$ :

$$C_t = \frac{\varepsilon_{crt}(t)}{\sigma_b} , \quad (2)$$

або характеристику повзучості

$$\varphi(t) = \frac{\varepsilon_{cr}(t)}{\varepsilon_b} = C(t) * E_b, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_{cr}(t)$  – відносна деформація повзучості в момент часу  $t$ ;  $\varepsilon_b$  – умовна пружна деформація в момент навантаження ( $t=0$ );  $E_b$  – початковий модуль пружності бетону, що відповідає моменту навантаження.

Закони зміни характеристики повзучості, використовуючи відомі залежності, можна записати через показникові функції:

$$\varphi(t) = \varphi_k \left(1 - e^{-\lambda_n(t)}\right), \quad (4)$$

$$\lambda_n(t) = m_n * n_n \sqrt{t/365}, \quad (5)$$

де  $\varphi_k$  – кінцеве значення характеристики повзучості;  $\lambda_n(t)$  – дослідний параметр, що характеризує швидкість зростання повзучості і отриманий підбором за експериментальними кривими повзучості (під час оброблення результатів експерименту отримано  $m_n=1,6$ ,  $n_n=3/7$ );  $t$  – вік бетону (в добах).

Під усадкою бетону розуміють його об'ємне скорочення під час твердіння на повітрі. Усадка, на відміну від повзучості, викликає завжди однозначні пластичні деформації бетону. Якісно усадка відбувається приблизно так само, як і повзучість. Вони з плином часу загасають, а деформації асимптотично наближаються до певної межі.

Процес усадки, а саме  $\varepsilon_{sh}(t)$  – відносні деформації усадки, що розглядаються, в момент часу  $t$  описані так:

$$\varepsilon_{sh}(t) = \varepsilon_{sh.k} \left(1 - e^{-\lambda_y(t)}\right), \quad (6)$$

$$\lambda_y(t) = m_y * n_y \sqrt{t/365}, \quad (7)$$

де  $\varepsilon_{sh.k}$  – кінцеве значення усадки (при  $t \rightarrow \infty$ );  $\lambda_y(t)$  – дослідний параметр, що характеризує проходження усадки з плином часу  $t$ ; параметри  $m_y=1,6$ ,  $n_y=3/7$  встановлювали за даними експериментальних кривих усадки.

Враховуючи склад бетонної суміші, використано нормативні значення міри повзучості  $C_n$  і деформацій усадки  $\varepsilon_{sh.n}$ :

$$C_n = 12,5 * 10^{-6} * \frac{B+V}{R_b}, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{sh.n} = 0,14 * 10^{-6} * (B+V)^{3/2}, \quad (9)$$

де  $R_b$  – міцність бетону в момент прикладення навантаження МПа;  $B$  – питома кількість води, необхідної для приготування 1 м<sup>3</sup> ущільненої бетонної суміші, л;  $V$  – питома кількість захопленого повітря, л на 1 м<sup>3</sup> ущільненої бетонної суміші (для дослідних балок  $V=0$ ).

Кінцеві значення параметрів повзучості  $\varphi_k$  і усадки  $\varepsilon_{sh.k}$ , що відповідають фізичним умовам експлуатації, визначалися:

$$\varphi_k = C_n E_b \zeta_{crp1} \zeta_{crp2} \zeta_{crp3}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_{sh.k} = \varepsilon_{sh.n} \zeta_{shi1} \zeta_{shi2} \zeta_{shi3}, \quad (11)$$

де  $\zeta_{crpi}$  і  $\zeta_{shi}$  – коефіцієнти, які враховують вплив відхилень дійсних умов роботи бетону дослідних елементів від прийнятих середніх.

При математичному моделюванні прийняли такі фактичні параметри експлуатації і виготовлення: вік бетону на час передачі попереднього напруження 28 діб і менше, тому  $\zeta_{crp1}=1$ ; вік бетону до початку висихання: 1 доба –  $\zeta_{sh1}=1,05$ ; 7 діб –  $\zeta_{sh1}=1$ ; 28 діб –  $\zeta_{sh1}=0,95$ ; 90 діб –  $\zeta_{sh1}=0,9$ ; відкрита питома поверхня всіх балок близька до  $P/A=0,2 \text{ см}^{-1}$  –  $\zeta_{sh2}=0,9$  та  $\zeta_{crp2}=0,83$ ; відносна вологість повітря не менша 70 % ( $W=70\%$ ), –  $\zeta_{sh3}=1,0$  та  $\zeta_{crp3}=1,0$ .

Враховуючи попереднє, деформації усадки і повзучості узагальнено можна записати:

$$\varepsilon_{sh}(t) = 0,126 * 10^{-6} * \zeta_{sh1} B^{3/2} \left( 1 - e^{-1,6 * \sqrt[7]{(t/365)^3}} \right), \quad (12)$$

$$\varepsilon_{crp}(t) = 10,275 * 10^{-6} \frac{B}{R_b} \sigma_b \left( 1 - e^{-1,6 * \sqrt[7]{(t/365)^3}} \right). \quad (13)$$

**Аналіз досліджень.** Оскільки у залізобетонних і сталобетонних конструкціях втрати попереднього напруження, що викликані повзучістю і усадкою бетону, нерозривно пов'язані і супроводжують одне одного, то доцільно виконувати аналіз сумарних втрат, спричинених цими чинниками.

Розрахункові значення втрат напруження на час  $t$  від повзучості та усадки бетону в попередньо напружених сталобетонних балках обчислювались як для залізобетонних конструкцій за п.1.25 табл. 5 поз. 8.9 з врахуванням п.1.26 [5]. Слід зазначити, що час усадки відраховувався не з дня бетонування, а з моменту відпуску, коли балкам змінювалися умови твердіння: вони розконсервовувались і приводились до умов приміщення.

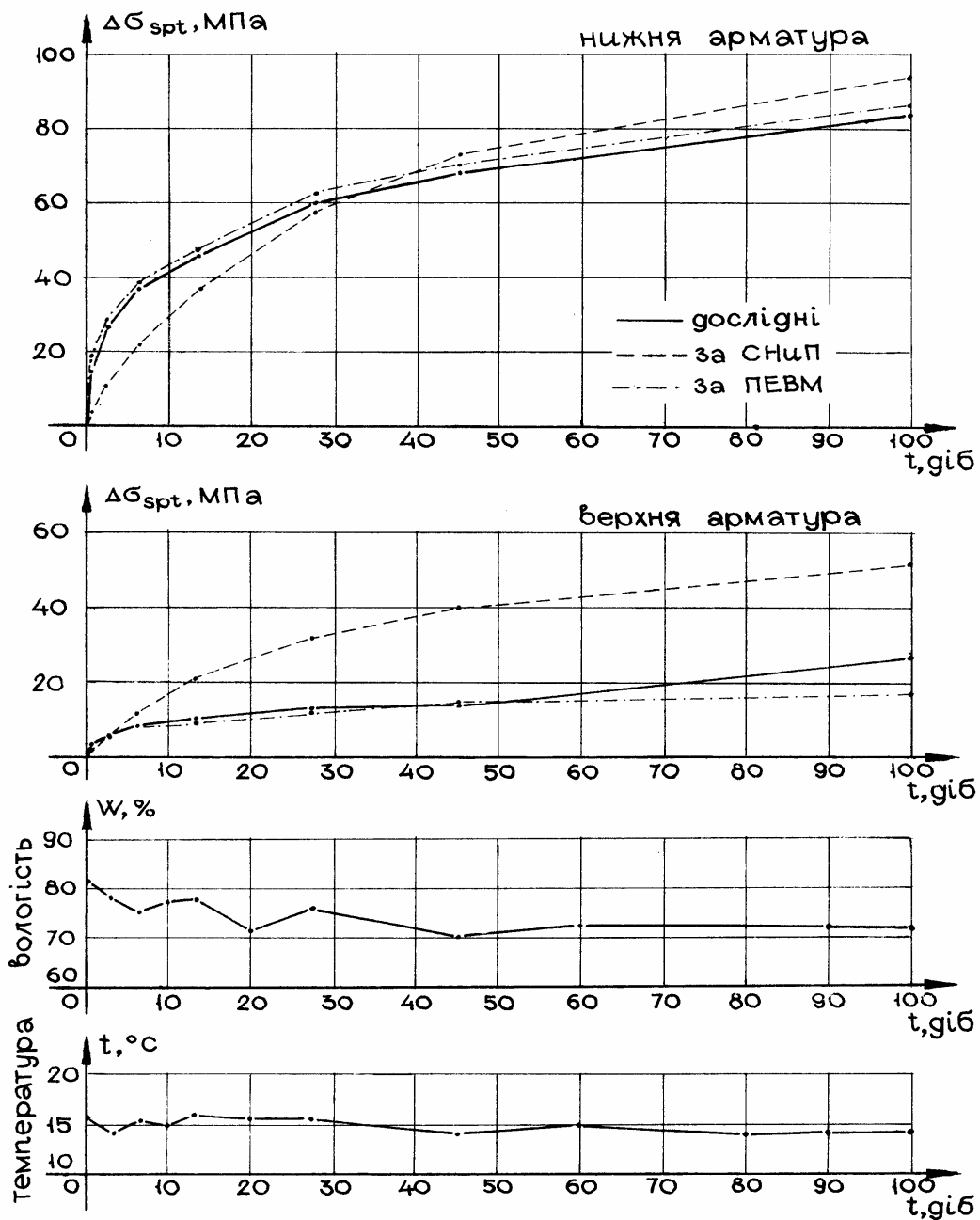
Зміна сумарних показників втрат від повзучості і усадки бетону з часом, показана на рисунку нелінійна і відзначається криволінійним характером зростанням. Деякі перепади, що проглядаються на графічних залежностях, зумовлені зміною умов довкілля. Характерним є також інтенсивний приріст втрат від повзучості та усадки в початковий період часу після обтиску. Так, вже за перших 7 днів у серії 1 ці втрати становили 45–50 % сумарного значення  $\Delta\delta_{spt}$  у 100-денному віці.

Аналіз результатів показує, що для початкового (після обтиску) періоду часу характерне інтенсивніше наростання значень експериментальної кривої сумарних втрат порівняно з розрахунковими [5]. Причому дана залежність належить як до верхньої, так і до нижньої попередньо напруженої арматури. Різниця дослідних і розрахункових значень в початковий період часу (за 7 діб) для нижньої попередньо напруженої арматури балок серії 1 становила 40–51 %. На 100-ту добу ця різниця зменшилася до 7–12 %, проте вже з перевищенням розрахункових значень.

Характер розбіжностей, що виникають навіть в межах однієї балки, зумовлені різною інтенсивністю обтиску бетону, напруженим станом (особливо в початковий період часу), впливом вологості довкілля, які нормативні джерела не беруть до уваги взагалі або враховують недостатньо.

Враховуючи всі ці чинники для більш повного і точного опису втрат напружень, був проведений аналіз дослідних значень і результатів, отриманих за допомогою описаної вище методики, що підтвердило добру збіжність результатів.

**Висновок.** Добра збіжність результатів визначення втрат напружень, отриманих дослідно і за допомогою розрахункової моделі, на відміну від результатів СНІП II.03.01–84, обумовлена тим, що описана методика враховує вплив навколишнього середовища та інших факторів на проходження процесів повзучості та усадки.



Втрати попереднього напруження в арматурі балки Б-1-2 від усадки і повзучості

1. Бондаренко В.М. О рекомендациях по учету усадки и ползучести бетона при расчете железобетонных конструкций //Бетон и железобетон. – 1985. – №6. – С.11–12.
2. Гольшев А.Б., Полищук В.П., Руденко И.В. Расчет железобетонных стержневых систем с учетом фактора времени. –Киев: Будівельник, 1984. – 128 с.
3. Мазурак А.В. Міцність попередньо-напружених сталобетонних балок в зоні дії поперечних сил. Дис... канд. техн. наук. – Львів, 1996. – 199 с.
4. Прокопович И.Е., Задгинидзе В.А. Прикладная теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.
5. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.