

УДК 533.376

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЙ ПОВЗУЧОСТІ БЕТОНУ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ (СТИСК-РОЗТЯГ І РОЗТЯГ-СТИСК) ПРИ РІЗНИХ РІВНЯХ

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЦИКЛОВЫХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЖЕНИЯХ (СЖАТИЕ-РАСТЯЖЕНИЕ И РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ) РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF CREEP DEFORMATION OF CONCRETE UNDER THE ACTION OF LOW-CYCLE ALTERNATING LOADING (COMPRESSION-TENSION AND TENSION-COMPRESSION) OF VARYING INTENSITY

Масюк Г.Х., к.т.н., проф., **Макаренко Л.П.**, к.т.н., проф. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Масюк Г.Х., к.т.н., проф., **Макаренко Л.П.**, к.т.н., проф. (Национальный университет водного хозяйства и природоиспользования, г. Ровно)

Masuk G.H., candidate of technical science, prof., **Makarenko L.P.**, candidate of technical science, prof., (National University of Water Resources and prirodoispolzovanija Rivne)

В статті викладені особливості розвитку деформацій бетону за дії однозначних тривалих навантажень різних рівнів. на основі експериментально-статистичних досліджень встановлено кількісну оцінку розвитку деформацій повзучості при вказаних навантаженнях.

В статье изложены особенности развития деформаций бетона при действии однозначных и знакопеременных длительных нагрузений различной интенсивности. В результате экспериментально-статистических исследований установлена количественная оценка развития деформаций ползучести при указанных нагрузениях.

The article describes the development of deformations of concrete under the action of alternating long and unambiguous loadings varying intensity. As a result of experimental and statistical studies establish a quantitative assessment of the development of creep strain at these loadings.

Ключові слова:

Малоциклові знакозмінні навантаження; деформації повзучості.

Ключевые слова: малоцикловые знакопеременные нагрузки; деформации ползучести.

Keywords: Low-cycle alternating loads, the creep deformation.

Вступ. Врахування впливу усадки і повзучості бетону являється складовою частиною розрахунку залізобетонних конструкцій. Жорсткість будь-якої конструкції визначається з урахуванням впливу тривало діючих процесів.

Розрахунок з урахуванням впливу тривалих процесів залізобетонних конструкцій, розрахункові схеми яких змінюються в часі внаслідок послідовного приєднання нових елементів, що завантажуються в різному віці, являє собою складну і громіздку задачу, яка вирішується за допомогою сучасної обчислювальної техніки. Але і в данному випадку використання так званих точних методів врахування усадки і повзучості бетону викликає великі труднощі.

І усадка, і повзучість викликають розвиток в часі деформації бетону. Армування чинить опір розвитку цих деформацій і являється є джерелом виникаючих додаткових зусиль, що приводить до зміни напруженого стану.

При цьому слід зауважити, що усадка викликає завжди однозначні деформації бетону – скорочення, а повзучість – двозначні. При розтягуванні в результаті повзучості розвивається видовження, а при стисканні – скорочення елемента за напрямком дії сили. Що стосується розвитку деформацій повзучості за дії малоциклових знакозмінних навантажень, то дані питання досліджені не достатньо.

Десятицикловому тривалому знакозмінному навантаженню стиск-розтяг (серія ПСРЦ) і розтяг-стиск (серія ПРСЦ) піддавались бетонні призми – близнюки розмірами 100x100x700 мм у віці $\tau = 7$ діб при трьох однакових в напівциклах стиску і розтягу початкових рівнях.

В момент навантаження в перших напівциклах початкові рівні складали $\eta_{\tau}^{ct,c} = \eta_{\tau}^{ct} = \sigma_{ct,\ell} / f_{cd,\tau} = \eta_{\tau}^{c,ct} = \eta_{\tau}^c = \sigma_{c,\ell} / f_{cd,\tau} = 0,25; 0,5; 0,75$ потійних напружень центрального стиску ($\sigma_{c,\ell} = 6; 12; 18$ МПа) і розтягу ($\sigma_{ct,\ell} = 0,45; 0,9; 1,35$ МПа). Первичне навантаження (в першому напівциклі) в серії ПСРЦ – стискаюче, а в серії ПРСЦ – розтягуюче. Період одного циклу – $T = 6$ діб, а загальна тривалість циклового навантаження $t - \tau = 60$ діб. Режим знакозмінності навантаження в напівциклах при їх тривалості $0,5 T = 3$ доби, здійснювався шестиступінчатим короткочасним (за $10'$) з постійною швидкістю зміни напружень до $\sigma = \sigma_{\ell}$ (на початку напівцикла) і розвантаженню до $\sigma = 0$ (в кінці напівцикла). Після розвантаження при $\sigma = 0$

здійснюється «відпочинок» для фіксації деформацій після дії перед зміною знака напружень на протязі 3-х годин.

Зразки виготовляють із важкого бетону природнього твердіння на річному піску, гранітному щебені і портландцементі. Склад бетону за масою 1:1,675:3 при В/Ц = 0,5.

Щоб максимальну виключити деформаційну і міцнісну неоднорідність бетону по поперечному перерізу за рахунок седиментації бетонної суміші при її укладанні в жорсткі металеві форм з вібруванням зразки призми виготовляють у вертикальному положенні і мали на кінцях шарнірно-анкерні пристрої [2], які забезпечують центральну передачу знакозмінного навантаження з точністю до 0,1 мм.

Випробування зразків за вказаним режимом здійснювалось в спеціальних пружинних установках з вимірюванням поздовжніх і поперечних деформацій бетону по чотирьохбокових гранях за допомогою електротензодатчиків з базою 50 мм і електротензометрів системи Аістова ТА-2 на базі 400 мм.

З метою співставлення деформацій повзучості ряд бетонних призми піддавались тривалому однознаковому центральному стиску (серія ПС) і розтягу (серія ПР) при постійних напруженнях $\sigma_{c,\ell}$, $\sigma_{ct,\ell}$, такої ж величини і тривалості їх дії ($t - \tau = 60$ діб), що і в режимних зразках виробувань.

На зразках-близнюках, що не піддавались навантаженням, досліджували вільну усадку і зміну міцності бетону (f_{cd} і f_{ctd}) в процесі твердіння. Всі призміві зразки були пароізовані.

Прийнятий 3-х годинний «відпочинок» в режимних випробуваннях бетонних призми серій ПСРЦ і ПРСЦ дав можливість апроксимувати криві деформацій післядії при $\sigma = 0$ в 3-х добових 10-ти кратних напівциклах знакозмінного навантаження і тим самим виділити із сумісного розвитку при цьому однозначних деформацій повзучості і післядії «чисті» деформації тривалої повзучості стиску $\Delta \mathcal{E}_{cr}(\sigma_{c,\ell}, t; \tau_i)$ і розтягу $\Delta \mathcal{E}_{ctr}(\sigma_{ct,\ell}, t; \tau_i)$ в кожному напівциклі, а також їх суму $\mathcal{E}_{cr}(\sigma_{c,\ell}, t; \tau_i)$, $\mathcal{E}_{ctr}(\sigma_{ct,\ell}, t; \tau_i)$ за весь період $t - \tau = 60$ діб режимного навантаження зразків (рис. 1 і рис. 2).

Апроксимація дослідних кривих деформацій післядії [$\Delta \mathcal{E}^p(\sigma_{\ell=0}, t; \tau_i - (t - \tau))$] і сумісного розвитку після зміни знака зусиль, деформацій повзучості і післядії [$\Delta \mathcal{E}^{p+\tau}(\sigma_{\ell}, t; \tau_i - (t - \tau))$] виконувались шляхом їх лінеаризації заміною деформацій $\Delta \mathcal{E}$, їх січними модулями $M'_{\Delta \mathcal{E}} = (t - \tau) / \Delta \mathcal{E}$ з використанням методів математичної статистики.

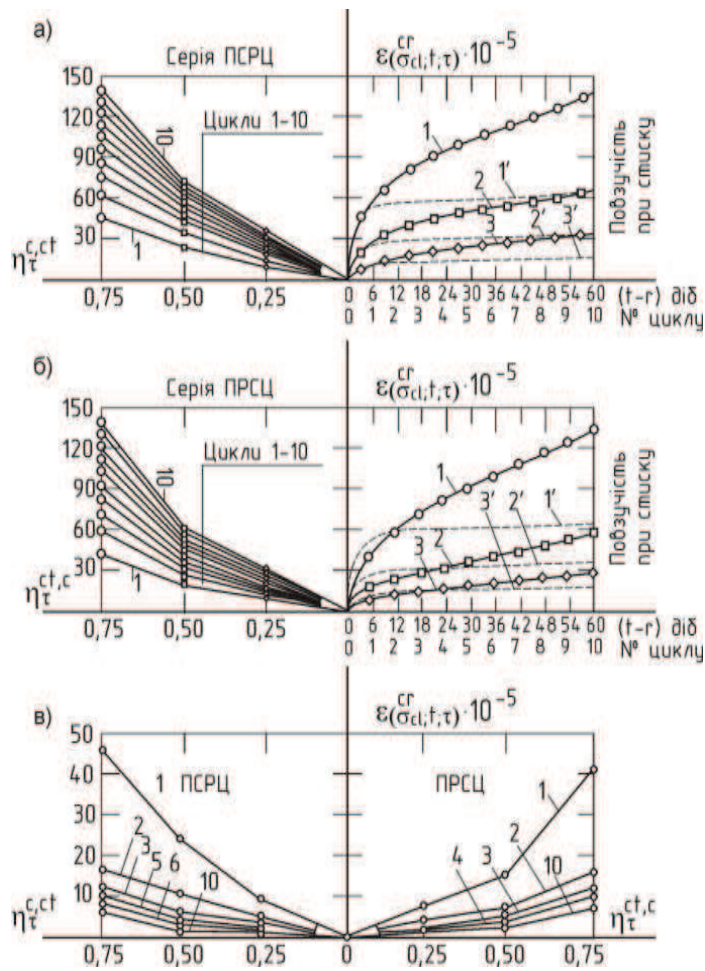


Рис.1. Дослідні і кореляційні залежності відносних деформацій тривалої повзучості бетону в напівциклах стиску після розтягу і їх суми в режимних призмових зразках з первинним стиском (ПСРЦ) і розтягом (ПРСЦ) і в еталонних зразках (ПС).

\circ, \square, \diamond - дослідні точки;

\square - кореляційні криві режимних призм (ПСРЦ, ПРСЦ);

----- - кореляційні криві еталонних призм (ПС).

а) з первинним напівциклом стиску;

б) з первинним напівциклом розтягу;

в) «чисті» деформації повзучості в режимних зразках.

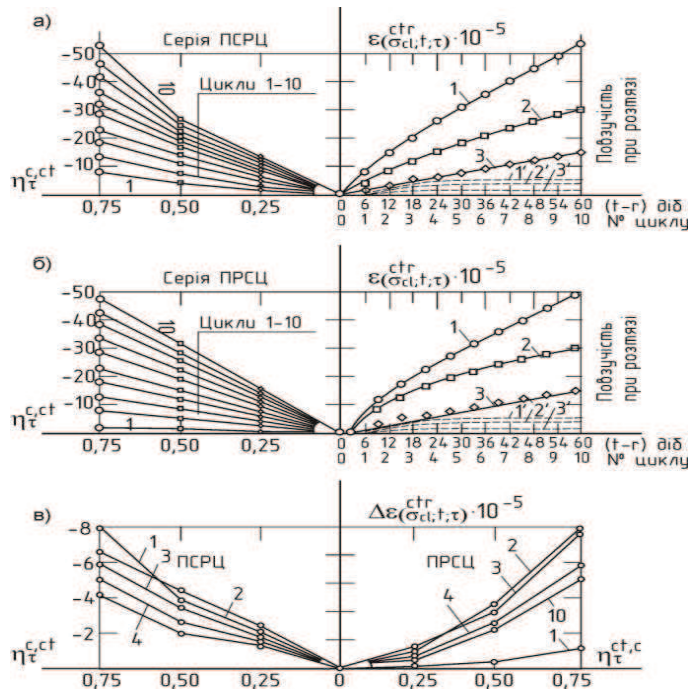


Рис.2. Дослідні і кореляційні залежності відносних деформацій тривалої повзучості бетону в напівциклах розтягу після стику і їх суми в режимних призмових зразках з первинним стиском (ПРСЦ) і розтягом (ПРСЦ) і в еталонних зразках (ПР).

- , □, ◇ - дослідні точки;
- - кореляційні криві режимних призм (ПРСЦ,ПРСЦ);
- - кореляційні криві еталонних призм (ПР).
- а) з первинним напівциклом стиску;
- б) з первинним напівциклом розтягу;
- в) «чисті» деформації повзучості в режимних зразках.

При цьому по всіх серіях (ПРСЦ, ПРСЦ) в напівциклах (стиск, розтяг) з початковими рівнями навантажень ($\eta_{\tau}^{ct,ct} = \eta_{\tau}^{ct,c} = 0,25; 0,5; 0,75$) достовірність лінійності кореляційних залежностей $[M'_{\Delta \epsilon} - (t - \tau)]$ і точність апроксимації виявились досить високими. Про це свідчать основні статистики вказаних залежностей, які підчиняються закону нормального розподілу варіаційних рядів співвідношень кореляційних і дослідних значень деформацій $\Delta \epsilon$: коефіцієнт кореляції $r = 0,9996 \dots 0,9859$ і його достовірність $r/m_r = (3005 \dots 97) > 4$; коефіцієнт варіації $v_x = \pm(2,3 \dots 12,4)\%$; показник точності $p = \pm(1,1 \dots 5,3)\%$. При вказаних v_x і p показник достовірності $t_d = 1.000$ і довірлива вірогідність $p_b = 0,950$.

Аналіз дослідних і кореляційних діаграм, які наведені на рис.1 і рис.2 показує, що під кінець тривалих випробувань при $t - \tau = 60$ діб, а також при необмеженому числі циклів і тривалості навантажень $(t - \tau) = \infty$ сумарні деформації тривалої повзучості стиску $\epsilon_{ct}(\sigma_{ct}; t; \tau)$ і розтягу $\epsilon_{ct}(\sigma_t; t; \tau)$ бетону за дії знакозмінного циклового навантаження, незалежно від знаку перших напружень і їх початкових рівнів, більші відповідних деформацій повзучості визначених в еталонних призмах-близнюках за дії однозначних постійних навантажень такої ж інтенсивності і тривалості дії (серії ПС і ПР) приблизно в 1,5...2 рази при стиску і в 5 раз при розтягу.

Оброблення методами математичної статистики результатів випробувань бетонних призм серій ПСРЦ і ПС показала наступну кореляційну залежність від $(\eta_r^{ct} = \eta_r^c = \eta_r^{ct}$ і $(t - \tau)$ діб) коефіцієнта співвідношень сумарних силових деформацій укорочення і кінці напівциклів стиску зразків режимного навантаження до відповідних деформацій бетону за дії однозначних постійних стискаючих навантажень такої ж інтенсивності і тривалості:

$$K_{\epsilon_{\sigma_c}}^{c,ct} = \frac{\epsilon_{ct}^c(\sigma_{ct}, t - \tau)}{\epsilon_{ct}^c(\sigma_c, t - \tau)} = \frac{1 + [0,68(t - \tau)] / [1 + (t - \tau)]}{1 + (t - \tau) / [3,5 \cdot \eta_r^{ct} + (t - \tau)]} \quad (1)$$

За необмеженого числа циклів і $(t - \tau) = \infty$ для всіх рівнів напружень $\eta_r^{ct} = \eta_r^c$ даний коефіцієнт буде:

$$K_{\epsilon_{\sigma_c}(\sigma_{ct}, t - \tau = \infty)}^{c,ct} = 0,84 \quad (2)$$

Згідно з виразом (1) коефіцієнт співвідношення сумарних деформацій тривалої повзучості в кінці напівциклів стиску зразків режимного навантаження до відповідних деформацій повзучості бетону за дії однозначних постійних стискаючих навантажень такої ж інтенсивності і тривалості буде рівним:

$$K_{\epsilon_{\sigma_c}}^{c,ct} = \frac{\epsilon_{ct}^c(\sigma_{ct}, t - \tau)}{\epsilon_{ct}^c(\sigma_c, t - \tau)} = 0,68 \frac{3,5 \cdot \eta_r^{ct} + (t - \tau)}{1 + (t - \tau)} \quad (3)$$

Якщо прийняти число циклів $n = \infty$ і тривалість дії навантажень $(t - \tau) = \infty$, при $0 \leq \eta_r^{ct} = \eta_r^c < 1$, то коефіцієнт $K_{\epsilon_{\sigma_c}}^{c,ct} = 0,68$.

Висновки. На основі проведених експериментально - статистичних досліджень виявлені особливості опору бетону і розвитку деформацій повзучості за дії знакозмінних напружень, які необхідно враховувати при проектуванні і розрахунках залізобетонних конструкцій, що підлягають вище вказаним навантаженням, для забезпечення їх надійності і довговічності.

1. Масюк Г.Х. Особенности сопротивления бетона при знакопеременных напряженных растяжение-сжатие и их учет при расчете железобетонных элементов. Диссертация кандидата технических наук. - Ровно, 1984.288 с.

2. Фенко Г.Х. Методика комплексного испытания бетонных призм на растяжения и сжатия. - В книге: Ползучесть и усадка бетона. - Киев, 1969.