

УДК 539.376

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗУЧОСТІ БЕТОНА ЗА ДІЇ ДОВГОТРИВАЛИХ  
МАЛОЦИКЛОВИХ ЗНАКОЗМІННИХ НАПРУЖЕННЯХ СТИСК –  
РОЗТЯГ І РОЗТЯГ – СТИСК РІЗНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ**

**STUDY OF CREEPY OF CONCRETE UNDER LONG-LASTING SMALL  
CYCLE SIGNIFICANT VARIABLE COMPRESSION – TENSILE AND  
TENSILE – COMPRESSIVE STRESSES OF DIFFERENT INTENSITIES**

**Масюк Г. Х., К, Т. Н. ORCIDID: 0000-0001-5207-3111, Лисюк М. О., магістр  
(Національний університет водного господарства та природокористування)**

**Masiuk G. H., Ph. D., prof. Lysiuk M. O., master(National university of water  
manager and nature resourcesuse, Rivne)**

**В результаті досліджень встановлено, що довготривале малоциклове  
знакозмінне навантаження різної інтенсивності викликає збільшення  
деформацій повзучості в напівциклах стиску приблизно в два рази, а в  
напівциклах розтягу в п'ять раз, в порівнянні з відповідними  
деформаціями тривалої повзучості за дії однозначного постійного  
стискаючого і розтягуючого навантаження такої ж інтенсивності і  
довготривалості.**

**As a result of researches it is established that long-  
term monocyclical alternating loading of different intensity causes increase of deformati  
on of creep in half-cycles of compression approximately twice, and in half-  
cycles of tension five times,  
in comparison with corresponding deformations of long creep under the action of un  
ambiguous constant compressive and tensile loading. same intensity and longevity  
In this case, the increase in the total creep deformations both in the regimes of  
PRSC prisms and in the regimes of PRSC  
prisms does not depend on the first load cycle, i.e. either the first compression half-  
cycle or the first tensile half-cycle.**

**Since the creep deformations of concrete under the action of low-  
cycle alternating stresses differs significantly from the creep deformations under the ac  
tion of unambiguous static loads,  
their analysis was performed on the basis of statistical processing of correlation and ex  
perimental values of "pure" creep deformations and total long creep deformations.  
As a result, the parameters of correlation and experimental values,  
which have high reliability, were determined.**

**Processing of experimental data of other researchers by methods of mathematical stat  
istics showed satisfactory convergence of their results and results of authors of work.  
Although other researchers have used concretes of other compositions,**

**different levels, load regimes and their duration, but the coefficients of the total forced deformations of concrete under the action of cyclic compressive loads and forced deformations of an ambiguous constant compression of the intensity and duration  $K_{\varepsilon_{\sigma_c}}^c \approx K_{\varepsilon_{\sigma_c}}^{ct}$  almost identical. The same can be said for the coefficients of creep deformation ratios**

**Ключові слова:** Деформації повзучості, бетонні призми, стиск, розтяг, знакозмінні напруження.

Creep deformations, concrete prisms, compression, tension, alternating stresses.

**Вступ.** Повзучість і усадка являються важливими властивостями бетону, які необхідно враховувати при розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій на тривалі дії навантажень, зміни температури і вологості. В зв'язку з цим деформації повзучості і усадки являються постійним предметом для широкого кола вітчизняних і зарубіжних дослідників.

Для теорії повзучості бетону має суттєве значення вивчення напружено – деформованого його стану за дії складних режимів зміни напружень, особливо при повільних малоциклових навантаженнях. Великий інтерес являють дослідження напружено – деформованого стану бетону при наявності періодичних дій з тривалими періодами циклів, наскільки більшість гідротехнічних і транспортних конструкцій, а також інженерних споруд працюють саме в таких умовах.

**Аналіз публікації за даною тематикою.** За весь період розвитку теорії розрахунків бетонних і залізобетонних конструкцій досить значна кількість вчених, як вітчизняних так і зарубіжних займалися дослідженням деформативних властивостей бетонів за різних режимів однозначних навантажень. Це такі вчені як Александровський С. В., Баришиков А. Я., Васильєв П. І., Бабич Є. М., Берг О. Я., Бондаренко В. М., Гвоздев О. О., Застава М. М., Карапенят К. С., Карпенко М. І., Макаренко Л. П., Прокопович І. Є., Щербаков Є. М., Ржаніщин О. Р. та багато інших.

Але із-за великої трудності експериментальних досліджень деформацій бетону при дії знакозмінних повторних малоциклових навантаженнях публікації, що є в літературних джерелах, досить обмежені. До таких публікацій слід віднести дослідження описані в роботах [ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ], але висновки в них різняться, тому авторів зацікавила ця проблема по її експериментальному дослідженню.

**Мета і задачі досліджень.** Експериментально встановити і статистично обґрунтувати змін деформацій повзучості важкого бетону за дії розтягуючих і стискаючих напружень, викликаних зміною знаків, зусиль, в залежності від величини початкових рівнів напружень.

**Матеріали та методика досліджень.** Для експериментальних досліджень тривалої дії знакозмінних напружень розтяг – стиск і стиск – розтяг були прийняті зразки у вигляді призми розмірами 100\*100\*700 мм із важкого бетону

звичайного твердіння, склад якого за масою 1:1,675:3.0 при В/Ц = 0.5. Щоб максимально виключити міцнісну і деформативну неоднорідність бетону по поперечному перерізі за рахунок седиментації бетонної суміші при її укладанні в жорсткі металеві форми з вібруванням, експериментальні зразки виготовляли при вертикальній положенні поздовжньої вісі з шарнірно – анкерними пристроями, які забезпечують центральну передачу знакозмінних навантажень з точністю до 0.1 мм.

Тривалому одноступентату – знакозмінному малоцикловому (10 циклів) навантаженню стиск – розтяг (серія ПРСЦ) і розтяг – стиск (серія ПРСЦ) піддавали бетонні призми – близнюки з віку  $\tau = 7$  діб при трьох однакових в напівциклах стиску і розтягу початкових рівнів  $\eta_{\tau}^{tc} = \eta_{\tau}^t = \left(\frac{\sigma_t^{mp}}{f_{cta}}\right) = \eta_{\tau}^{ct} = \eta_{\tau}^c = \left(\frac{\sigma_c^{mp}}{f_{cd}}\right) = 0.25; 0.5; 0.75$  постійних напружень центрального розтягу ( $\sigma_t^{mp} = 0.45; 0.9; 1.35$  Мпа) і стиску ( $\sigma_c^{mp} = 6; 12; 18$  Мпа). Первинне навантаження (в першому навциклі) в серії ПРСЦ – розтягуюче, а в серії ПРСЦ – стискаюче. Період цикла  $T=6$  діб. Загальна тривалість циклічного завантаження  $t - \tau = 60$  діб. Режим знакозмінного навантаження в напівциклах при їх тривалості  $0,5T=3$  доби. Шестиступінчасте короткочасне, за 10 хвилин, з постійною швидкістю зміни напружень навантаження до  $\sigma = \sigma^{mp}$  (на початку напівциклів) і розвантаження до  $\sigma = 0$  (в кінці напівциклів). Тривала витримка досягнутого заданого навантаження в напівциклі 3 доби. В розвантаженому стані при  $\sigma = 0$  перед зміною знака зразком надався «відпочинок» на протязі 3 годин.

Випробування призмених знаків за вказаним режимом здійснювалось в спеціальних пружних установках з заміром поздовжніх і поперечних деформацій бетону по чотирьом бічним граням за допомогою електротензодатчиків опору з базою 50мм і електротензорезисторів ТА-2 на базі 400мм. З метою співставлення деформації частинами бетонних призм піддавалась однозначному центральному розтягу (серія ПР) і стиску (серія ПС) при постійних напруженнях  $\sigma_t^{mp}, \sigma_c^{mp}$  тієї ж величини і тривалості їх дії ( $t - \tau = 60$ ), що і в режимних випробуваннях.

На зразках – близнюках, які не піддавались силовим діям, досліджували деформації вільної усадки і змін їх в процесі твердіння бетону його призмової міцності  $f_{cd}$  і міцності при центральному розтягу  $f_{cta}$ . Всі зразки – призми були пароізовані.

**Основні результати досліджень.** Для оцінки деформативності бетону на всьому інтервалі досліджень було випробувано велику кількість контрольних зразків – близнюків призм і кубів. Аналіз експериментальних досліджень показав, що прийняття 3-х годинних «відпочинків» в режимних випробуваннях бетонних призм серій ПРСЦ і ПРСЦ дало можливість апроксимувати криві деформації після дії при  $\sigma = 0$  в 3-х добових десятикратних напівциклах знакозмінного завантаження і тим самим виділити із сумісного розвитку при цьому однозначних деформацій повзучості і після дії «чистих» деформацій

тривалості повзучості розтягу  $\Delta \mathcal{E}_{(\sigma_t^{mp}, t, \tau_i)}^{nobz.}$  і стиску  $\Delta \mathcal{E}_{(c_t^{mp}, t, \tau_i)}^{nobz.}$  в кожному напівциклі, а також їх суму  $\Delta \mathcal{E}_{(\sigma_t^{mp}, t, \tau_i)}^{nobz.}$ ,  $\Delta \mathcal{E}_{(c_t^{mp}, t, \tau_i)}^{nobz.}$  за весь період  $(t - \tau = 60)$  діб режимного завантаження, наведених на рис. 1 та рис.2.

Апроксимацію дослідних кривих деформації після дії  $[\Delta \mathcal{E}_{(\sigma^{mp}=0; t, \tau_i)}^{nisl.} - t - \tau]$  і сумісного розвитку після зміни знака зусиль деформацій повзучості і після дії  $[\Delta \mathcal{E}_{(\sigma^{mp}; t, \tau_i)}^{nobl.+nobz.} - (t - \tau)]$  виконували шляхом їх лінеаризації заміною деформації  $\Delta \mathcal{E}$  січними модулями  $M'_{\Delta \mathcal{E}} - (t - \tau_i) / \Delta \mathcal{E}$  з використанням методів математичної статистики кореляційного аналізу. При цьому по всіх серіях (ПРСЦ, ПСРЦ) в напівциклах (розтяг, стиск) і початкових рівнях напружень ( $\eta_{\tau}^{tc} = \eta_{\tau}^{ct} = 0.25; 0.5; 0.75$ ) достовірність лінійності кореляційних залежностей  $[M'_{\Delta \mathcal{E}} - (t - \tau_i)]$  і точність апроксимації виявились досить високими. Про це свідчать основні статистичні дані вказаних залежностей, які підкоряються закону нормального розподілу варіаційних рядів співвідношень кореляційних і дослідних значень деформацій  $\Delta \mathcal{E}$  і коефіцієнт кореляції  $r = (0.9996 \dots 0.9859)$  і його достовірність  $\frac{r}{m_r} (3005 \dots 97) \gg 4$ ; коефіцієнт варіації  $\vartheta_x = \pm (2.3 \dots 12.4)\%$ ; показник точності  $p = \pm (1.1 \dots 5.4)\%$ ; при вказаних значеннях  $\vartheta_x$  і  $p$  показник достовірності  $t_0 = 1.000$  і доверительна вірогідність  $P_0 = 0.950$ .

Аналіз дослідних і кореляційних діаграм, поданих на рис. 1 і рис. 2, показує, що до закінчення довготривалих випробувань при  $(t - \tau = 60)$  діб, а також при необмеженому числі циклів і довготривалості завантажень  $(t - \tau = \infty)$  сумарні деформації тривалої повзучості розтягу  $\Delta \mathcal{E}_{(\sigma_t^{mp}, t, \tau)}$  і стиску  $\Delta \mathcal{E}_{(c_t^{mp}, t, \tau)}$  бетону при одноступінчатим знакозмінним цикловм завантаженні, незалежно від знака первинних напружень і їх початкових рівнів, більше відповідних деформацій повзучості в еталонних призмах – близнюках за дії однозначних постійних навантажень тієї ж інтенсивності і довготривалості дії (в серіях ПР і ПС) приблизно в 1.5...2 рази при стиску і приблизно в 5 раз при розтягу.

Обробка експериментальних даних методом математичної статистики бетонних призм серії ПСРЦ і ПС дала наступну кореляційну залежність від рівнів  $\eta_{\tau}^{tc} = \eta_{\tau}^c = \eta_{\tau}^t$  і  $(t - \tau)$  діб коефіцієнта співвідношення сумарних силових деформацій укорочення в кінці напівциклів стиску режимного завантаження до відповідних деформацій бетону за дії однозначного постійного стискаючого навантаження тієї ж інтенсивності і довготривалості:

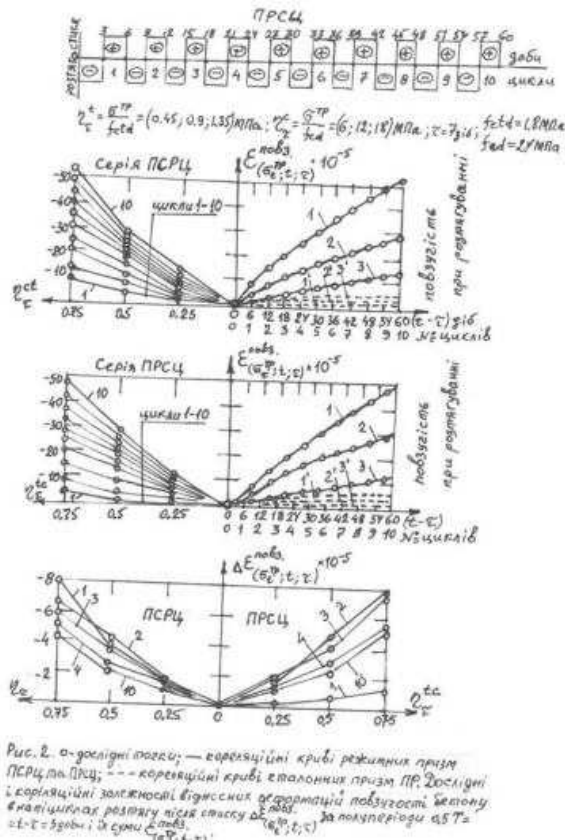
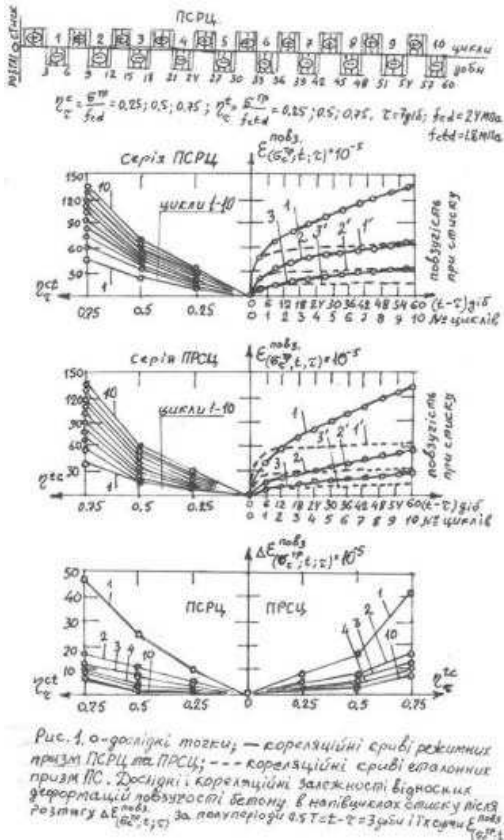


Рис. 1. а - дослідні позги; — кореляційні криві режимних призм ПСРЦ та ПСРЦ; --- кореляційні криві еталонних призм ПС. Дослідні і кореляційні залежності відносних деформацій повзучості бетону в напівциклах стиску після розмігу \$\Delta \epsilon\_{\sigma\_c}^{повз.}\$ за напівперіоди \$0,5 T - \tau = 3\$ доби і тривалості \$(t-\tau)\$.

Рис. 2. а - дослідні позги; — кореляційні криві режимних призм ПСРЦ та ПСРЦ; --- кореляційні криві еталонних призм ПС. Дослідні і кореляційні залежності відносних деформацій повзучості бетону в напівциклах розтягу після стиску \$\Delta \epsilon\_{\sigma\_c}^{повз.}\$ за напівперіоди \$0,5 T - \tau = 3\$ доби і тривалості \$(t-\tau)\$.

$$K_{\epsilon_{\sigma_c}}^{ct} = \frac{\Delta \epsilon_{\sigma_c}^{повз.}(\sigma_t^{mp}, t, \tau)}{\Delta \epsilon_{\sigma_c}^{повз.}(\sigma_c^{mp}, t, \tau)} = \frac{1 + [0,68(t-\tau)] / [1 + (t-\tau)]}{1 + (t-\tau) / [3,5 \eta_{\tau}^{ct} + (t-\tau)]} \quad (1)$$

При обмеженні числі циклів і тривалості навантажень \$(t - \tau) = \infty\$ для всіх рівнів напружень \$\eta\_{\tau}^{ct} = \eta\_{\tau}^c\$:

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

Згідно виразу (1) коефіцієнт відношення сумарних деформацій тривалої повзучості в кінці напівциклів стиску режимного завантаження до відповідних деформацій повзучості бетону за дії однозначного постійного стискаючого навантаження тієї ж інтенсивності і довготривалості рівним

$$K_{\epsilon_{\sigma_c}}^{ct} = \frac{\Delta \epsilon_{\sigma_c}^{повз.}(\sigma_t^{mp}, t, \tau)}{\Delta \epsilon_{\sigma_c}^{повз.}(\sigma_c^{mp}, t, \tau)} = 0,68 \frac{3,5 \eta_{\tau}^{ct} + (t-\tau)}{1 + (t-\tau)} \quad (3)$$

При числі циклів \$n = \infty\$ і тривалості \$(t - \tau = \infty)\$ при рівнях навантажень \$0 < \eta\_{\tau}^{ct} = \eta\_{\tau}^c \le 1\$

$$K_{\epsilon_{\sigma_c}(t-\tau)=\infty}^{ct} = 0,68 \quad (4)$$

За експериментальними даними досліджень інших науковців [1, 2, 3, 4, 5, 6] числове значення цього коефіцієнта виявилось практично таким же (\$0,70 \approx 0,68\$), хоча там дослідження проводили на бетонах інших складів і видів (мілкозернистим) і з початком навантажень в більш пізній віці і при інших режах одноступінчастого тривалого знакозмінного циклічного завантаження.

**Висновки.** На основі аналізу результатів експериментальних даних виявлені особливості опору бетону за дії малоциклових довготривалих знакозмінних

напруженнях необхідно враховувати при розрахунку і проектуванні конструкцій в спорудах які, в процесі експлуатації, працюють під дією таких навантажень.

1. Александровский С.В. Исследование ползучести бетона при знакопеременных периодических воздействиях большого периода/ С.В Александровский, В.Я. Багрий // Ползучесть и усадка бетона: Сбматералов совещание. –М., НижбГоссейроя СССР, 1969. –с.5-15.

Aleksandrovskiy S.V. Yssledovanye polzuchesty betona pry znakoperemennykhperedcheskykh vozdeistviyakh bolshoho peryoda/ S.V Aleksandrovskiy, V.Ia. Bahryi // Polzuchest y usadka betona: Sbmateralov soveshchanye. –М., NyuzhbHosseiroia SSSR, 1969. –s.5-15.

2 Александровский С.В. Приложение теорем ползучести к практическим расчетам железобетонных конструкций/С.В Александровский, В.М. Бондаренко, И.Е.Прокопович. –М., Стронизда, 1970.-167с.

Aleksandrovskiy S.V. Prylozhenye teorem polzuchesty k praktycheskym raschetam zhelezobetonnykh konstruktsiy/S.V Aleksandrovskiy, V.M. Bondarenko, Y.E.Prokopovych. –М., Stronyzda, 1970.-167s.

3. Барашенков. А. Я. Ползучесть бетона при вынужденных циклических деформациях./ А.Я Барашинков// Бетон и железобетон: М. НИИЖБ,1967, №12, с.28-70.

Barashenkov. A. Ya. Polzuchest betona pry vynuzhdenykh tsyklycheskykh deformatsiyakh./ A.Ia Barashynkov// Beton y zhelezobeton: M. NYYZhB,1967, №12, s.28-70.

4. Барашинков А.Я. Расчет железобетонных конструкций на действия длительных переменных нагрузок. / А.Я Барашинков. –Киев:Будивельник, 1977-154с.

Barashynkov A.Ia. Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiy na deistviya dlytelnykh peremennykh nahruzok. / A.Ia Barashynkov. –Киев:Будивельник, 1977-154с.

5. Застава М.М. Расчетное определение деформации ползучести тяжелого бетона при меняющейся нагрузке/ М.М. Застава//Изв. Вузов. Строительство и Архитектуры Новосибирск, 1984. №1,-с.4-86.

Zastava M.M. Raschetnoe opredelenye deformatsyy polzuchesty tiazholoho betona pry meniaiushcheisia nahruzke/ M.M. Zastava//Yzv. Vuzov. Stroytelstvo y Arkhytektury Novosybyrsk, 1984. №1,-s.4-86.

6. Макаренко Л.П. Влияние усадки и ползучести при длительном сжатии бетонов на их трещиностойкость и прочность при последующем растяжении/ Л.П Макаренко, Г.А.Фенко.// Ползучесть и усадка бетона:Сб. масстералов совещание. –НИИСКГосстроя СССР, Киев,Будивельник, 1969,с.69-80

Makarenko L.P. Vlyianye usadky y polzuchesty pry dlytelnom szhatyy betonov na ykh treshchynostoikost y prochnost pry posleduiushchem rastiazhenyy/ L.P Makarenko, H.A.Fenko.// Polzuchest y usadka betona:Sb. massteralov soveshchanye. –NYYSKHosstroia SSSR, Kyev,Budyvelnyk, 1969,s.69-80