

С. О. Слободянюк, д. т. н, проф., А. Д. Щербачов, асист., О. А. Морзун, студ.

Ключові слова: коефіцієнт поперечної деформації повзучості, експеримент, призми

Постановка проблеми. При дії навантаження поряд із поздовжніми бетон має й поперечні деформації. Питання про поперечні деформації бетону досить суттєве для теорії повзучості в цілому. При розв'язанні плоских і просторових задач теорії повзучості потрібне залучення фізичних рівнянь, що встановлюють зв'язок між напругами й деформаціями бетону, у які, крім модулів пружності поздовжньої деформації $E(\tau)$ і деформації зсуву $G(\tau)$, входять коефіцієнти пружної поперечної деформації $\nu_1(\tau)$ і поперечної деформації повзучості $\nu_2(t, \tau)$. Тому виникає питання про співвідношення коефіцієнта поперечної деформації повзучості з коефіцієнтом пружних поперечних деформацій у часі.

Аналіз публікацій. Питання про коефіцієнт поперечної деформації повзучості бетону $\nu_2(t, \tau)$ уже розглядалося в деяких працях [1 – 18 та ін.]. Досліджувалася величина коефіцієнта $\nu_2(t, \tau)$, його залежність від величини напруг σ у бетоні, від віку бетону τ у момент його завантаження, а також поведінка зміни коефіцієнта в часі t під дією навантаження. Згідно з нечисленними експериментами, проведеними на цю тему, значення величини $\nu_2(t, \tau)$ досить суперечливі. Так, в одних експериментаторів $\nu_2(t, \tau) > \nu_1(\tau)$, в інших $\nu_2(t, \tau) = \nu_1(\tau)$, у третіх $\nu_2(t, \tau) < \nu_1(\tau)$, а четверті стверджують, що $\nu_2(t, \tau)$ взагалі дорівнює нулю.

Так, наприклад, із дослідів Р. Джонса й Е. Гетфілда [8], які проводили дослідження ультразвуковими методами, випливає, що зі збільшенням віку бетону коефіцієнт поперечних деформацій зменшується (рис. 1).

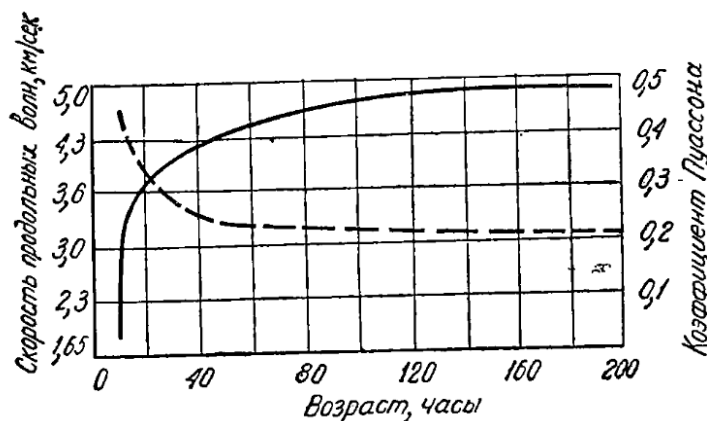


Рис. 1. Зміна швидкості поздовжніх хвиль і коефіцієнта Пуассона з віком бетону [8]

У старому бетоні, що уже сформувався і набрав міцності, зазначені коефіцієнти поперечної деформації майже не змінюються в часі, а тому в практиці розрахунків частіше використовують допущення

$$\nu_1(\tau) = \nu = const ; \nu_2(t, \tau) = \nu_2 = const . \quad (1)$$

Що стосується величини коефіцієнта поперечних деформацій повзучості $\nu_2(t, \tau)$, то в низці праць [4; 6; 7 і ін.], він прийнятий апріорно рівним пружному $\nu_1(\tau)$, тобто:

$$\nu_2(t, \tau) = \nu_1(\tau) = \nu = const . \quad (2)$$

Ця умова вкрай зручна, тому що з її урахуванням система основних інтегральних рівнянь теорії повзучості, що описує напружено-деформований стан пружно-повзучого тіла, розпадається на незалежні й притім більш прості рівняння. Це має величезне практичне значення, тому що відкриває більші можливості для розв'язання складних прикладних задач теорії повзучості припустимими для інженера методами. Однак, як було показано Є. Яценко [7], таке спрощення для бетонів із фактичним показником $\nu_2(t, \tau) \neq \nu_1(\tau)$ може викликати значні погрішностей при оцінці напруженого стану конструкцій. На доказ їм наводиться приклад розв'язання плоскої задачі релаксації, у якому при значенні коефіцієнта $\nu_2(t, \tau) = 0$ результат дає погрішності – 38 %, а при $\nu_2(t, \tau) = 2 \nu_1(\tau)$ дає до погрішність 249 % порівнянно з результатом, отриманим при $\nu_2(t, \tau) = \nu_1(\tau)$. Помилки досить значні, тому знання фактичної величини цих

коефіцієнтів важливі. Проте експериментальних досліджень на цю тему небагато й вони суперечливі. Їх загальний підсумок і аналіз наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Загальний огляд експериментальних досліджень $v_2(t, \tau)$

№№ п/п	Автори досліджень	Рік публікації досліджень	Результати досліджень
1.	Н. Корсак В. Люблінер М. Тіль Р. Мірошник А. Черкашин А. Яшин (при $\sigma > 0,5R_{пр}$) О. Берг, А. Рижків І. Шаповал Е. Коган, Л. Соловйова В. Ткачук, Н. Мамуня Є. Яценко	1941 1946 1960 1964 1965 1966 1967 1967 1969 1972 1989	$v_2(t, \tau) > v_1(\tau)$

Закінчення таблиці 1

2.	Р. Девіс, Х. Девіс, Д. Гамільтон, Е. Браун В. Гленвілль, Ф. Томас К. Дюк, Х. Девіс (стиск) А. Фрейденталь, Ф. Ролл В. Бондаренко О. Берг С. Александровський, О. Попкова В. Баташев	1934 1939 1944 1958 1962 1967 1969 1978	$v_2(t, \tau) < v_1(\tau)$
3.	Е. Фрейсіне (крутіння) К. Дюк, Х. Девіс (крутіння) Ле Камю В. Блінков (крутіння) А. Росс Р. Лерміт А. Скудра (крутіння) І. Кублінь (крутіння) К. Карапетян (крутіння) І. Прокопович (крутіння)	1938 1944 1947 1955 1958 1959 1959 1960 1962 1963	$v_2(t, \tau) = 0$
4.	А. Яшин (при $\sigma \leq 0,5R_{пр}$)	1966	$v_2(t, \tau) = v_1(\tau)$

Суперечливість результатів, отриманих різними дослідниками, зв'язана, очевидно, і з великими методичними труднощами, що виникають при вимірюванні малих поперечних деформацій, особливо за тривалої дії навантаження. Неясний і характер впливу неадитивності повзучості й усадки бетону на ці деформації [2].

Таким чином, наведений короткий аналіз указує на те, що у зв'язку із суперечливістю результатів експериментів питання про $v_2(t, \tau)$ так і залишилося невирішеним, отже, є доцільність у його подальшому вивченні й проведенні додаткових експериментальних досліджень.

Мета дослідження полягає в тому, щоб відповісти на питання про співвідношення коефіцієнта поперечної деформації повзучості з коефіцієнтом пружних поперечних деформацій бетону класу С20/25 у часі.

Експериментальні дослідження. У 2008 – 2013 роках у Придніпровській державній академії будівництва та архітектури асистентом А. Щербачовим і студентом О. Моргоном під науковим керівництвом проф. С. Слободянюка були проведені експериментальні дослідження залізобетонних стояків та контрольних зразків бетону на міцність, усадку й повзучість.

Експерименти проведені з метою дослідження тривалої стійкості залізобетонних стояків у часі, а також установа значення коефіцієнта поперечної деформації при повзучості бетону. Для цього велись досліди з визначення поздовжніх і поперечних деформацій бетонних призм у часі при стикнупостійному напруженні, яке складало $0,3 R_{np}$. Поздовжні деформації призм визначали за допомогою компаратора на базі виміру 300 мм по 2 осях граней 3 призм. Компаратор був обладнаний індикатором годинного типу з ціною поділу шкали 0,01 мм. Поперечні деформації призм заміряли аналогічно компаратором з базою виміру 90 мм і індикатором точністю 0,002 мм. Компаратори конструкції С. О. Слободянюка з базою виміру 300 і 90 мм показані на рисунку 2.

Призми були виготовлені розміром $100 \times 100 \times 400$ мм з бетону класу C20/25 з таких матеріалів: цемент марки 400 виробництва ВАТ «Донецмент», пісок річковий дрібнозернистий $M_{кр}=1,9$, щебінь Трудовського щебзаводу зі змістом лещадки 65 % та пилоподібних 2 %. Состав бетону Щ : П : Ц – 1360 : 555 : 394, з витратою цементу 394 кг на 1 м^3 бетону й водо-цементним відношенням В / Ц = 0,47. Осадка конуса склала 4 см. Вигляд бетонних призм із наклеєними кутиками для заміру поздовжніх і поперечних деформацій, а також установа їх в устаткування для тривалих випробувань показано на рисунках 3, 4.



Рис. 2. Компаратори конструкції С. О. Слободянюка для вимірювання поздовжніх і поперечних деформацій

Після встановлення призм в устаткування для тривалих випробувань почали визначати їх поздовжні і поперечні деформації в момент навантаження, а також відслідковували зміну їх у часі. Головні характеристики, які були досліджені при цьому, – коефіцієнти поперечних деформацій пружні, повні та повзучості, які визначалися за такими формулами:



Рис. 3. Призми для визначення усадки і повзучості бетону

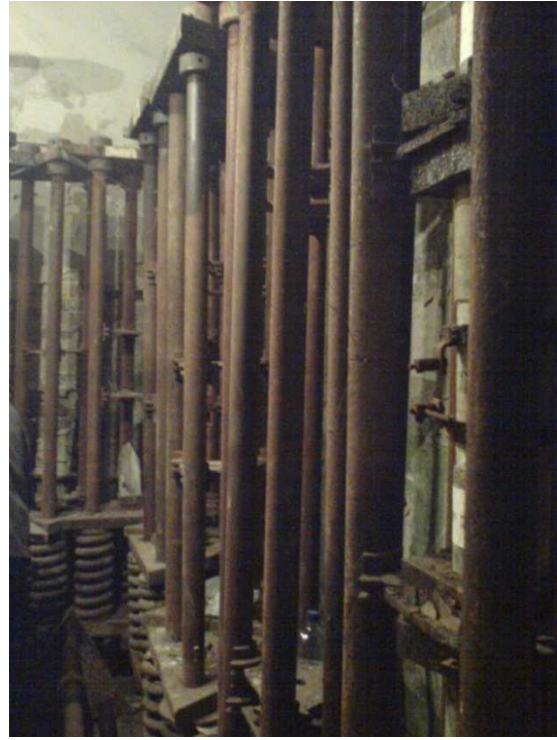


Рис. 4. Пружинні пристрої для тривалих випробувань призм

- коефіцієнт пружних поперечних деформацій бетону:

$$\nu_0 = \nu_1(70) = - \frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon_0}; \quad (3)$$

- коефіцієнт повних поперечних деформацій бетону:

$$\nu(t) = - \frac{\varepsilon'(t)}{\varepsilon(t)} = - \frac{\varepsilon'_0 + \varepsilon'_n(t) + \varepsilon'_{yc}(t)}{\varepsilon_0 + \varepsilon_n(t) + \varepsilon_{yc}(t)}; \quad (4)$$

- коефіцієнт поперечних деформацій повзучості бетону:

$$\nu_n(t) = \nu_2(t, \tau) - \frac{\varepsilon'_n(t)}{\varepsilon_n(t)} = - \frac{\varphi'(t)}{\varphi(t)}; \quad (5)$$

$\varphi(t) = \frac{\varepsilon_n(t)}{\varepsilon_0}$ – характеристика повзучості бетону в поздовжньому напрямку;

$\varphi'(t) = \frac{\varepsilon'_n(t)}{\varepsilon_0}$ – характеристика повзучості бетону в поперечному напрямку.

Експериментальні криві повних поздовжніх (рис. 5) і поперечних (рис. 6) деформацій отримані на основі усереднених даних по трьох призмах. Ці дані на графіках зображені червоним кольором. Окремі значення експериментів показані блакитними ромбиками.

Теоретичні криві були отримані на основі теорії старіння за такими формулами:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E_0} [1\varphi + (t)] + \varepsilon_u(1 - e^{-\gamma t})\varepsilon'(t) = -0,2 \frac{\sigma}{E_0} [1\varphi + (t)] + \varepsilon'_u(1 - e^{-\gamma u' t}), \quad (6)$$

де

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma}{E_0} \varepsilon_n(t) = \varepsilon_0 \varphi(t) \varphi(t) = \varphi_0(1 - e^{-\gamma t})\varphi_0 = 3\gamma = 0,0075 \frac{1}{\text{добу}};$$

$$\varepsilon_{yc}(t) = \varepsilon_u(1 - e^{-\gamma t})\varepsilon_u = 0,00020\gamma = 0,007 \frac{1}{\text{добу}}.$$

Дані теоретичних графіків, які були отримані без урахування деформацій усадок, зображені на графіку зеленим кольором.

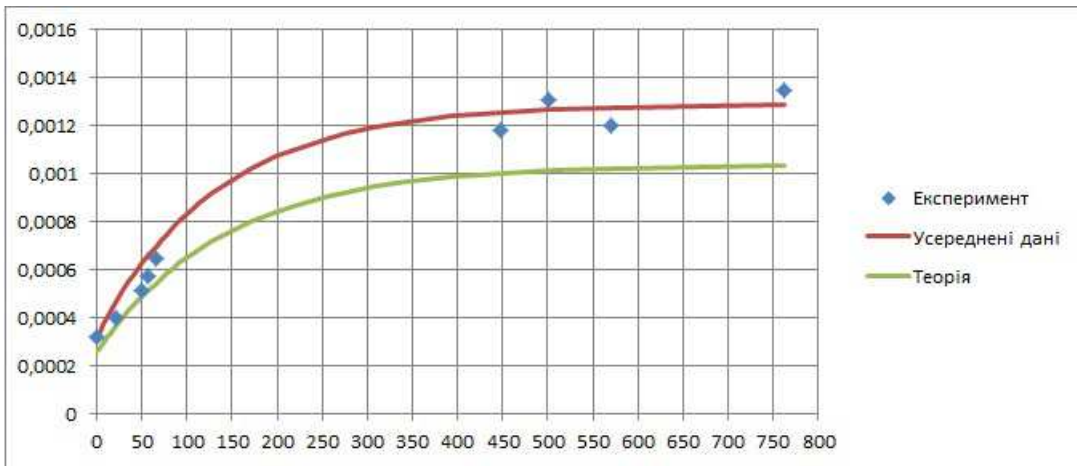


Рис. 5. Графік зміни повних поздовжніх деформацій $\varepsilon(t)$ у часі

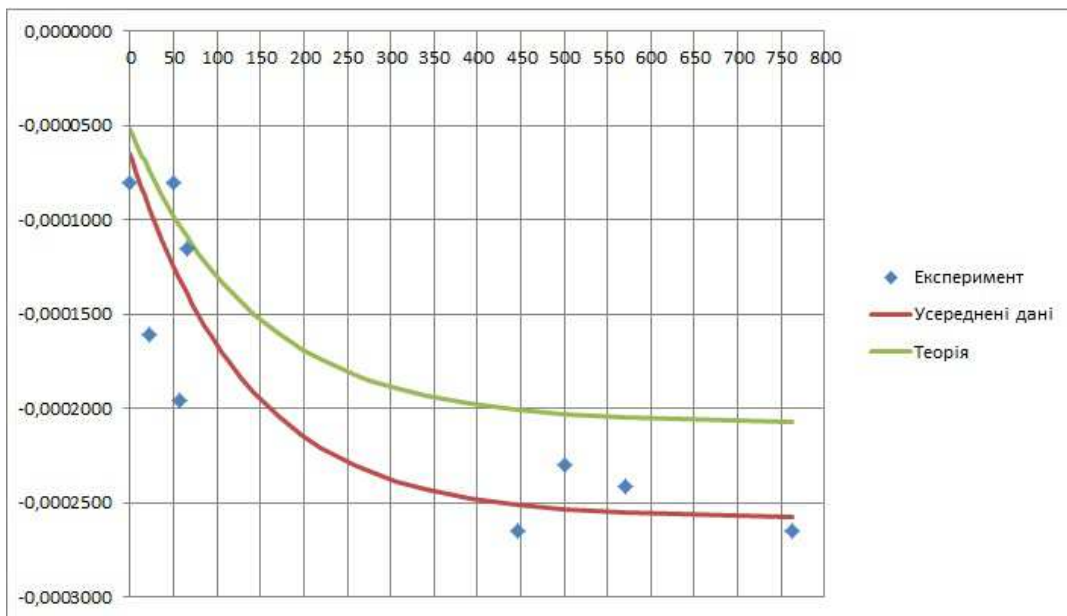


Рис. 6. Графік зміни повних поперечних деформацій $\varepsilon'(t)$ у часі

Графік зміни коефіцієнта повних поперечних деформацій $\nu(t)$ у часі, підрахований за формулою (4), показано на рисунку 7.

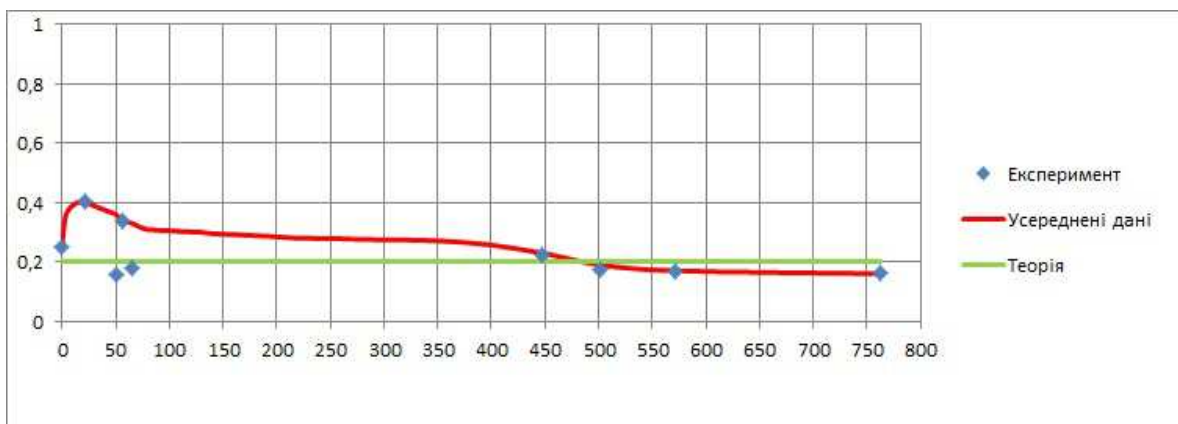


Рис. 7. Графік зміни коефіцієнта повних поперечних деформацій $\nu(t)$ у часі.
Вік бетону до моменту навантаження: $\tau_1 = 70$ діб

Графік зміни коефіцієнта поперечних деформацій повзучості у часі, підрахований по формулі (5), показаний на рисунку 8.

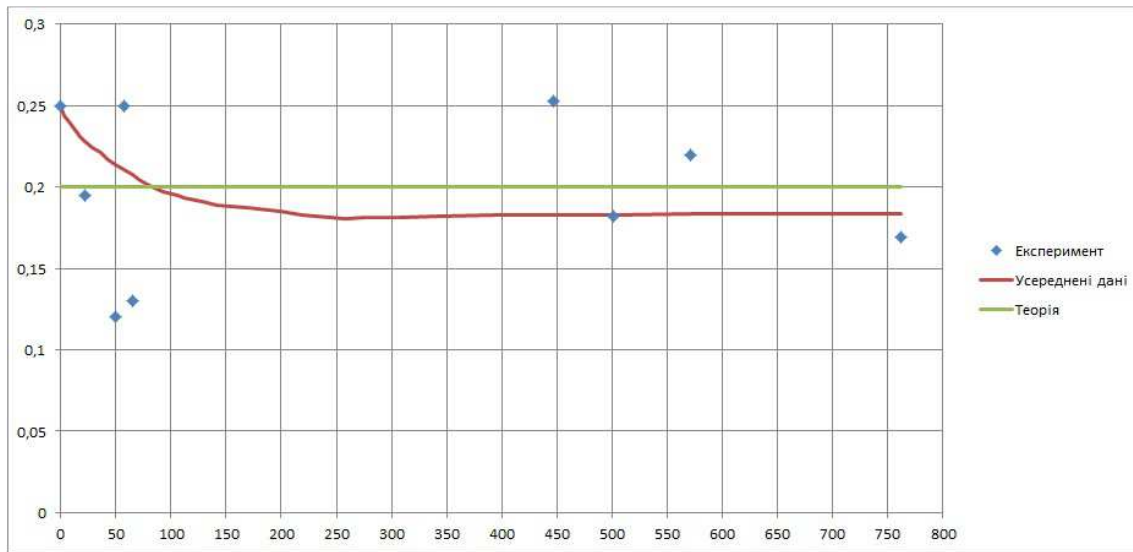


Рис. 8. Графік зміни коефіцієнтів поперечних деформацій повзучості у часі.
Вік бетону до моменту навантаження: $\tau_1 = 70$ діб

Висновки. На основі співставлення експериментальних і теоретичних даних (див. рис. 7, 8) можна зробити висновок, що для бетону класу С20/25 значення коефіцієнта повних поперечних деформацій спочатку зростає, а потім із часом зменшується і наближається зверху до пружного значення (див. рис. 7). Коефіцієнт поперечних деформацій повзучості з часом змінюється аналогічно, тільки наближається знизу до пружного значення (див. рис. 8). Таким чином, в інженерних розрахунках для бетону класу С20/25 можна прийняти, що коефіцієнт поперечних деформацій повзучості приблизно рівний пружному коефіцієнту поперечних деформацій бетону, тобто $\approx \nu_2(t, \tau) = \nu_1(\tau) = \nu = const$ і сягає значення 0,2.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Александровский С. Применение теории ползучести бетона. – Wrocław : Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1979. – 164 с.
2. Александровский С. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1973. – 432 с.
3. Арутюнян Н. Некоторые вопросы теории ползучести. – М. : Гостехтеориздат, 1952.
4. Бондаренко В. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. – Харьков : Изд-во Харьков. ун-та, 1968. – 325 с.
5. Прокопович И. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений. – М. : Госстройиздат, 1963. – 260 с.
6. Яценко Е. Методы расчёта железобетонных конструкций на длительное воздействие с учётом ползучести бетона: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.01. – М., 1989. – 364 с.
7. Джонс Р. Ультразвуковой импульсный способ испытания бетона [Перев. с англ.] / Р. Джонс, Гэтфилд Е. – Госстройиздат, 1957.
8. Блинков В. Исследование деформаций бетона при чистом сдвиге // Изв. ВНИИГ, 1955. – Т. 53.
9. Карапетян К. Ползучесть бетона при кручении // Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. наук. – 1962. – Т.15. – № 6.
10. Александровский С. О коэффициенте поперечной деформации бетона при длительном действии нагрузки / С. В. Александровский, О. М. Попкова // В кн. : Ползучесть и усадка бетона. Мат. совещ., подготовл. НИИЖБ Госстроя СССР. – М. : ЦИНИС, 1969. – С. 48 – 51.

11. **Корсак Н.** Исследование прочности и упругих свойств бетона. // Прочность, упругость ползучесть бетона. – М. : Стройиздат, 1941.
12. **Черкашин А.** Исследование деформаций длительного сжатия материалов, твердеющих во времени // Строительные конструкции – К. : Будівельник, 1965. – Вып. 3.
13. **Ткачук В.** Ползучесть бетона при плоском напряженном состоянии / В. М. Ткачук, Н. У. Мамунян // Строит. конструкции. – К. : Будівельник, 1972. – Вып. 19. – С. 114 – 119.
14. Volume changes in precast prestressed concrete structures // Journal of Prestressed Concrete Institute. – 1977. – V. 22. – № 5. – P. 38 – 53.
15. **Ross A.** Experiments on the creep of concrete under two dimensional stressing // Magazine of Concrete Research. – 1958. – Vol. 29. – . 9.
16. **Duke C., Davis H.** Some properties of concret eunder sustained combined stress, Am. Soc. For Test. Mat. Proc., vol. 44, 1944.
17. **Freudental, A.** Roll F. Creep and creep recovery of concrete under high compressive stress // Journal of the American Concrete Institute. – 1958. – Vol. 29. – № 12.
18. **Thiel M.** Influence de la dimension del'epourette, Annales del' Institute Technique du Batimentetdes Travaux Publics. – № 154, Oct. 1960.

УДК 624.044:539.376

Експериментально-теоретичні дослідження коефіцієнта поперечної деформації повзучості бетону / С. О. Слободянюк, А. Д. Щербачов, О. А. Моргун // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2013. – № 8. – С. 22 – 28. – рис. 8. – табл. 1. – Бібліогр.: (18 назв.).

Експерименти проведено з метою дослідження тривалої стійкості залізобетонних стояків у часі, а також установлення значення коефіцієнта поперечної деформації при повзучості бетону. Експериментальні криві повних поздовжніх і поперечних деформацій отримано на основі усереднених даних за трьома призмами. На основі співставлення експериментальних і теоретичних даних можна зробити висновок, що для бетону класу С20/25 значення коефіцієнта повних поперечних деформацій спочатку зростає, а потім із часом зменшується і наближається зверху до пружного значення. Коефіцієнт поперечних деформацій повзучості з часом змінюється аналогічно, тільки наближається знизу до пружного значення.

Ключові слова: коефіцієнт поперечної деформації повзучості, експеримент, призми.

Экспериментально-теоретические исследования коэффициента поперечной деформации ползучести бетона / С. А. Слободянюк, А. Д. Щербачёв, А. А. Моргун // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2013. – № 8. – С. 22 – 28. – рис. 8. – табл. 1. – Библиогр.: (18 назв.).

Експерименти проведено з метою дослідження тривалої стійкості залізобетонних стоек у часі, а також визначення значення коефіцієнта поперечної деформації при повзучості бетону. Експериментальні криві повних продольних і поперечних деформацій отримано на основі усереднених даних по трьох призмах. На основі сопоставлення експериментальних і теоретичних даних можна зробити висновок, що для бетону класу С20/25 значення коефіцієнта повних поперечних деформацій спочатку зростає, а потім із часом зменшується і наближається зверху до пружного значення. Коефіцієнт поперечних деформацій повзучості з часом змінюється аналогічно, тільки наближається знизу до пружного значення.

Ключевые слова: коэффициент поперечной деформации ползучести, эксперимент, призмы.

Experimentally theoretical studies the coefficient of transverse creep of concrete / S. A. Slobodyanyuk, A. D. Shcherbachov, A. A. Morgun // Visnyk of Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2013. – № 8. – P. 22 – 28. – pic. 8. – tabl. 1. – Bibliogr.: (18 names).

Experiments were conducted to investigate the long-term stability of concrete pillars in time and to determine the coefficient of lateral deformation by creep of the concrete. Experimental full curves of the longitudinal and transverse strains derived from the averaged data of three prisms. The comparison of the experimental and theoretical data leads us to the conclusion that concrete class C20/25 coefficient complete transverse deformation first increases and then decreases with time and approaches to the elastic top value. Similarly The coefficient of transverse creep deformation changes over time in a similar way, but it approaches elastic value from the bottom.

Key words: coefficient of transverse strain creep experiment, prisms.