

УДК 624.012.464

**ДОСЛІДЖЕННЯ УСАДКИ ТА ПОВЗУЧОСТІ БЕТОНУ В ПЛИТАХ ЗІ
ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇХ
РОЗРАХУНКУ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ И ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА В ПЛИТАХ
СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ И ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ИХ
РАСЧЕТУ**

**THE RESEARCH OF CONCRETE SHRINKAGE AND CREEP IN SLABS
WITH MIXED REINFORCEMENT AND PROPOSALS ON THEIR
CALCULATION**

Бова Я.О., асистент (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

Бова Я.А., ассистент (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Bova Y.A., assistant (Kyiv national university of construction and architecture)

**Наведено експериментальні дані усадки та повзучості бетону в плитах зі
різним коефіцієнтом змішаного армування та виконано теоретичні
порівняння згідно з європейськими нормами Eurocode 2.**

**Приведены экспериментальные данные усадки та ползучести бетону в
плитах с разным коэффициентом смешанного армирования и
выполнено теоретическое сравнение согласно европейским нормам
Eurocode 2.**

**There are presented the experimental results of concrete shrinkage and creep
in slabs with different mixed reinforcement coefficients and are completed the
theoretical comparison according to European standards Eurocode 2.**

Ключові слова:

армування, бетон, двохосне, змішане, коефіцієнт, напруження, усадка, повзучість, Eurocode 2 .

армирование, бетон, двухосное, смешанное, коэффициент, напряжение, усадка, ползучесть, Eurocode 2.

reinforcement, concrete, biaxial, mixed, coefficient, stress, shrinkage, creep, Eurocode 2.

Вступ. При розрахунку конструкції з попереднім напруженням основну частину втрат займає усадка та повзучість бетону. У двовісно напружених плитах зі змішаним армуванням це може впливати до перерозподілу внутрішніх зусиль, тому є необхідність більш точного врахування даного фактору. З огляду на прийняття нових будівельних норм із залізобетонних конструкцій, які в свою чергу базуються на європейських нормах, постало питання в перевірці теоретичної методики з отриманими експериментальними даними.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Під час аналізу останніх літературних джерел [1,2,3] було виявлено недостатність вивчення проблеми впливу усадки та повзучості бетону на втрати попереднього напруження у плоских плитах зі змішаним армуванням.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. При використанні змішаного армування в плитах з двовісним напруженням особливе значення слід віднести до впливу усадки та повзучості бетону на напружено-деформований стан залізобетонного елемента. Річ в тім, що в плитах зі змішаним армуванням при передачі зусилля натягу на напружену арматуру зменшується ступінь обтиску бетону і перешкоджає появі деформації усадки та повзучості за рахунок наявності ненапруженої арматури.

Постановка завдання. Для вирішення поставленої задачі виготовили 3 серії дослідних зразків для виявлення впливу змішаного армування на втрати попереднього напруження у двовіснообтиснених плитах, розміром 800×800×75 мм (рис.1). Кожну серію розділили за видом армування та класом арматури: серія П-1 – зі звичайним армуванням (ненапружена арматура А500С), серія П-2 – зі змішаним армуванням (ненапружена класу А500С та напружена А800С) та серія П-3 – з повністю попередньо напруженою арматурою (клас арматури А800С), а також за коефіцієнтом змішаного армування (табл.1).

Через 5-6 днів після бетонування на верхній відкритій поверхні зразків були наклеєні алюмінієві марки, які розміщалися в кутах квадрата зі стороною 200 мм (рис.2). Передача попереднього напруження на бетон у плитах серії П-2 та П-3 проводили на 16 добу після бетонування поступовим ослабленням фіксуючих гайок. Середня призмova міцність бетону на цей час дорівнювала $f_{cd} = 16,5$ МПа.

Таблиця 1

Об'єм та характеристики плит-зразків

№ серії та ширф зразка	Розміри плит-зразків, мм			Коефіцієнт змішаного армування K_p	Клас напруженої арматури	Клас ненапруженої арматури	Кількість зразків, шт.
	h	l	b				
П-1 (звич. арм.)	75	800	800	0	-	А500С	4
П-2 (зміш. арм.)	75	800	800	0,65	А800С	А500С	4
П-3 (попер. напр. арм.)	75	800	800	1	А800С	-	4

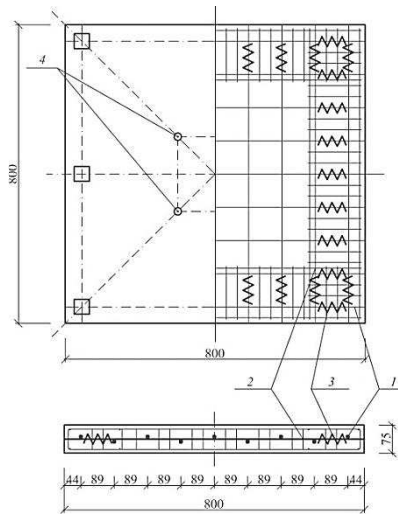


Рис. 1. Армування випробувальних плит-зразків:

- 1 – арматурні стержні; 2 – “П” – подібні арматурні сітки; 3 – спіралі;
4 – круглі марки.

У момент передачі зусилля були виміряні пружно миттєві деформації бетону й прогини плит, викликані випадковими ексцентриситетами в розташуванні арматур. Далі проводили відрізання кінців арматурних стрижнів за допомогою “болгарки”, після чого були наклеєні марки-репери з іншої сторони зразків, а самі зразки встановлено на стелажі (рис. 2). Одночасно з вимірюванням деформацій повзучості попередньо напружених плит, вимірювали усадочні деформації в ненапружених залізобетонних зразках. Для врахування впливу зовнішніх факторів на усадку та повзучість бетону у приміщенні були встановлені прилади для вимірювання вологості та температури повітря

а)



б)



Рис. 2. Розміщення випробувальних плит на стелажах (а) і вимірювання деформацій усадки та повзучості компаратором (б)

Основний матеріал і результати.

У результаті вимірювань отримали сумарні пружно-миттєві деформації і деформації повзучості зразків-плит серії П-2 та П-3, а також усадочні деформації зразків - плит серії П-1. Найбільші деформації повзучості бетону отримані у плитах серії П-3, за рахунок використання двовісного обтиску найбільші в напрямку осі Y.

Для порівняння отриманих експериментальних даних усадки бетону в плитах серії П-1 використана методика за Eurocode 2 [4]. Повна деформація усадки ϵ_{cs} згідно з Eurocode 2 складається з двох компонентів: деформації усадки при висиханні та деформації внутрішньої усадки. В результаті повна деформація усадки дорівнюватиме

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}, \quad (1)$$

де:

ϵ_{cs} - загальна деформація усадки;

ϵ_{cd} - деформація усадки при висиханні;

ϵ_{ca} - деформація внутрішньої усадки.

Для більш зручного порівняння отримані дані зображені у вигляді графіків (рис.3).

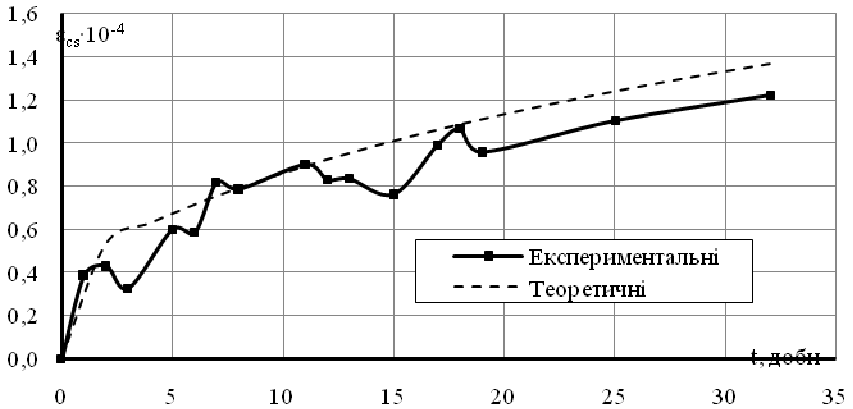


Рис. 3. Графіки відносних деформацій усадки бетону плити серії П-1 та порівняння з теоретичними даними

Згідно з Eurocode 2, якщо у результаті попереднього напруження арматури напруження стиску бетону у віці t_0 перевищують величину $0,45 f_{ck}(t_0)$ - повзучість треба розглядати як нелінійну і визначати за формулою

$$\varepsilon_{cc}(t_0, \infty) = \varphi_k(t_0, \infty) \cdot \left(\frac{\sigma_c}{E_c} \right), \quad (2)$$

В даному випадку з огляду на використання змішаного армування в двовісно напружених плитах вираз (2) необхідно переписати з врахуванням двох напрямків:

- вздовж осі X

$$\varepsilon_{cc,x}(t_0, \infty) = \varphi_{k,x}(t_0, \infty) \cdot \left(\frac{\sigma_{c,x}}{E_c} \right), \quad (3)$$

- вздовж осі Y

$$\varepsilon_{cc,y}(t_0, \infty) = \varphi_{k,y}(t_0, \infty) \cdot \left(\frac{\sigma_{c,y}}{E_c} \right), \quad (4)$$

Тоді граничний коефіцієнт нелінійної повзучості φ_k визначають за співвідношеннями:

- вздовж осі X

$$\varphi_{k,x}(t_0, \infty) = \varphi(t, t_0) \cdot \exp \left[1,5 \cdot (k_{\sigma,x} - 0,45) \right] \quad (5)$$

- вздовж осі Y

$$\varphi_{k,y}(t_0, \infty) = \varphi(t, t_0) \cdot \exp \left[1,5 \cdot (k_{\sigma,y} - 0,45) \right] \quad (6)$$

де $\varphi(t, t_0)$ - поточний коефіцієнт повзучості у час t зразка, завантаженого у у час t_0 ;

$k_{\sigma, x}, k_{\sigma, y}$ - співвідношення “напруження - міцність” відповідно до осей X та Y , що дорівнює:

$$k_{\sigma, x} = k_{\sigma, y} = \frac{\sigma_{c, x}(\sigma_{c, y})}{f_{cm}(t_0)}; \quad (7)$$

$\sigma_{c, x}, \sigma_{c, y}$ - напруження стиску бетону відповідно до осей X та Y , і визначають:

$$\sigma_{c, x} = \frac{N_{Ed, x}}{A_{c, x}} \eta_x, \quad (8)$$

$$\sigma_{c, y} = \frac{N_{Ed, y}}{A_{c, y}} \eta_y; \quad (9)$$

де $N_{Ed, x}, N_{Ed, y}$ - поздовжні зусилля від поперечного напруження в напрямку осей X і Y відповідно;

$A_{c, x}, A_{c, y}$ - площа бетону відповідно до зусилля від поперечного обтиску в напрямку осей X і Y відповідно;

η_x, η_y - коефіцієнти, що враховують вплив рівня обтискувальних напружень з урахування змішаного армування та розміщенням арматури в перерізі у часі t , і дорівнює

$$\eta_x = \eta_y = k_p \mu_{x(y)}^{-\lambda t} \quad (10)$$

де k_p - коефіцієнт змішаного армування; $\mu_{x(y)}$ - коефіцієнт, що враховує вплив розташованої арматури в перерізі на рівень бічного обтиску; $\lambda = 0,015$. Для зручності дані внесені до табл.2

Таблиця 2

Коефіцієнт впливу змішаного армування на зусилля попереднього обтиску бетону

Шифр зразка-плити	Коефіцієнт змішаного армування k_p	Коефіцієнт впливу змішаного армування μ відносно осей	
		X	Y
П-2	0,65	1,75	1,95
П-3	1,0		

Усі інші параметри прийняті згідно з Eurocode 2 [4]

Для співставлення результати порівняння експериментальних та теоретичних значень повзучості бетону наведені на графіках (рис.4 та 5). Розбіжність між теоретичними та практичними значення на перевищувала 15%.

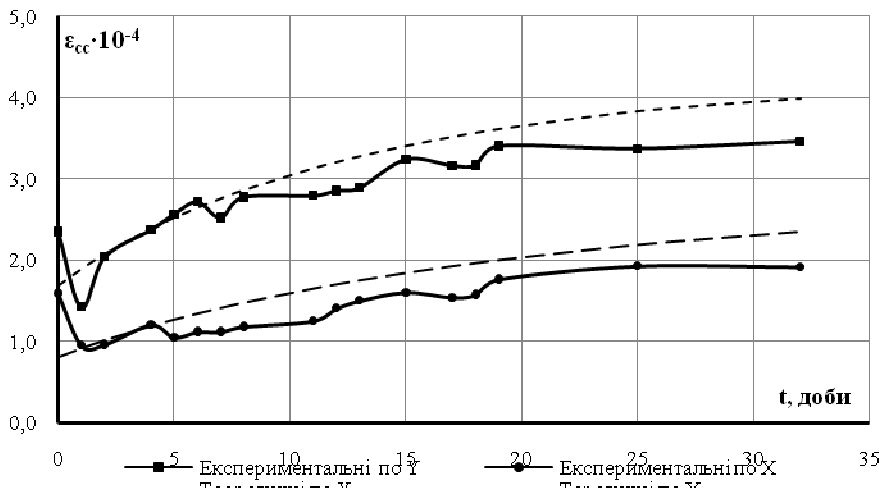


Рис.4. Усереднені графіки відносних пружно-миттєвих деформацій, деформації повзучості плит серії П-2та порівняння з теоретичними даними

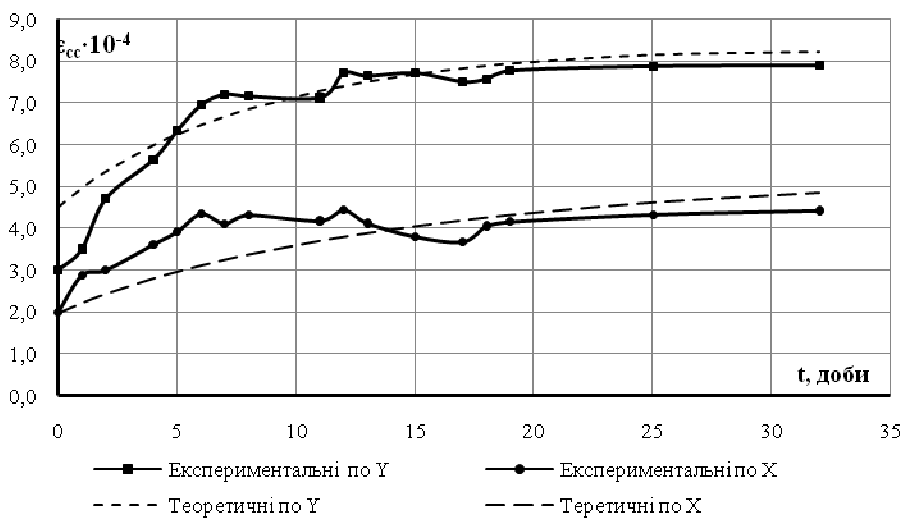


Рис. 5. Усереднені графіки відносних пружно-миттєвих деформацій, деформації повзучості плит серії П-3та порівняння з теоретичними даними

Висновки. Методика випробувань напружено-деформованого стану плит зі різним коефіцієнтом змішаного армування дала можливість визначати усадку та повзучість бетону внаслідок двовісного обтиску. Дослідження проведені в області лінійної і нелінійної повзучості бетону. Експериментально встановлено, що деформації повзучості в плитах зі змішаним армуванням, залежить від не тільки від рівня бічного обтиску, а й від розміщення арматури вздовж осей та наявності ненапруженої арматури. Слід зазначити, що у плитах зі змішаним армуванням зі збільшенням рівня бічного обтиску зменшується величина втрат за рахунок наявності ненапруженої арматури. Спосіб визначення усадки та повзучості бетону наведений у європейських нормах дозволяє більш точно визначити значення, але потребує деяких уточнень з огляду на використання змішаного армування.

1. Журавський О.Д. Напряженно-деформированное состояние железобетонных плит при двухосном предварительном обжатии // Автореферат. К. – 1988. – С. 25
2. Байрамуков С.Х. Потери предварительного напряжения в элементах со смешанным армированием от усадки и ползучести бетона // Бетон и железобетон. – 2000. – №5 – С. 11-14.
3. Арсланбеков М.М. Исследование прочности, трещиностойкости и жесткости железобетонных изгибаемых элементов со смешанным армированием // Дисс. канд. техн. наук. М. – 1983 – С. 166.
4. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, BS EN 1992-1-1. – 2004. – British Standard, CEN.