

УДК 624.012.464

А.Я. Барашков, д.т.н.,  
Я.О. Бова, КНУБА, Київ

## ПОВЗУЧІСТЬ БЕТОНУ В ПЛИТАХ ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇХ РОЗРАХУНКУ

### АНОТАЦІЯ

Наведено експериментальні дані про повзучість бетону в двовісно обтиснутих плитах зі змішаним та повністю напруженим армуванням та виконано теоретичні порівняння згідно з європейськими нормами Eurocode 2.

Ключові слова: армування, бетон, двовісне змішане напруження, повзучість, Eurocode 2.

**Вступ.** При розрахунку конструкції з попереднім напруженням основну частину втрат займає повзучість бетону. У двовісно напружених плитах зі змішаним армуванням це може впливати на перерозподіл внутрішніх зусиль, тому є необхідність більш точного врахування даного фактора. 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] була виявлена недостатність вивчення проблеми впливу 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 має вплив усадки та повзучості бетону на напружено-деформований стан залізобетонного елемента. Річ у тім, що в плитах зі змішаним армуванням при передачі зусилля натягу на напружену арматуру зменшується ступінь обтиску бетону, а це в свою чергу перешкоджає появі деформації повзучості за рахунок наявності ненапруженої арматури (рис. 1.).

**Постановка завдання.** Для вирішення поставленої задачі виготовили 3 серії дослідних зразків для виявлення впливу змішаного армування на втрати попереднього напруження у двовісно об-

тиснених плитах розміром 800x800x75 мм (рис.1). Кожну серію розділили за видом армуванням та класом арматури: серія П-1 – зі звичайним армуванням (ненапружена арматура А500С), серія П-2 – зі змішаним армуванням (ненапружена класу А500С та напружена А800С (рис.2)) та серія П-3 – з повністю попередньо напруженою арматурою (клас арматури А800С).

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. 3). Передача попереднього напруження на бетон у плитах серії П-2 та П-3 проводили на 16 добу після бетонування поступовим ослабленням фіксуючих гайок. Середня призмочна міцність бетону на цей час дорівнювала  $f_{cd} = 18,2$  МПа.

У момент передачі зусилля були виміряні пружно миттєві деформації бетону, викликані випадковими ексцентриситетами в розташуванні арматур. Далі відрізували кінці арматурних стержнів за допомогою "болгарки", після чого були наклеєні

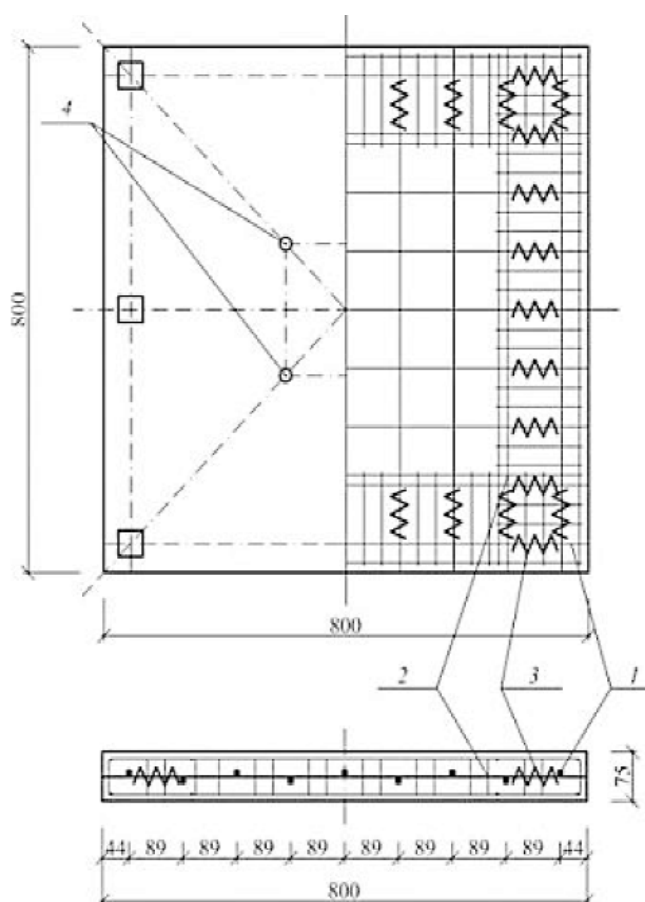


Рис. 1. Армування випробувальних плит-зразків: 1 – арматурні стержні; 2 – "П" – подібні арматурні сітки; 3 – спіралі; 4 – круглі марки.

Таблиця 1. Об'єм та характеристики плит-зразків

№ серії та шифр зразка	Розміри плит-зразків, мм			Коефіцієнт змішаного армування $K_y$	Клас напруженої арматури	Клас ненапруженої арматури	Кількість зразків, шт.
	h	l	b				
П-1 (звич.арм.)	75	800	800	0	-	A500C	4
П-2 (зміш.арм.)	75	800	800	0,65	A800C	A500C	4
П-3 (попер.напр.арм.)	75	800	800	1	A800C	-	4

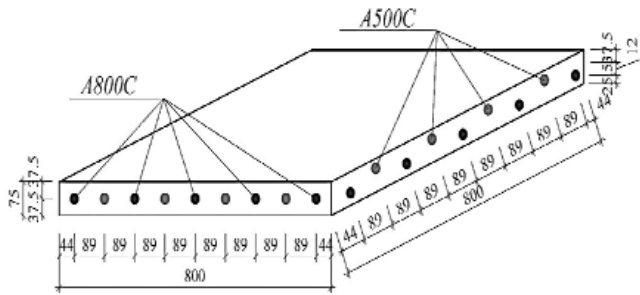


Рис. 2. Схема розміщення арматури вздовж двох осей у плитах серії П-2

марки-репери з іншої сторони зразків, а самі зразки розміщені на стелажах (рис. 3). 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

### 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. Найбільше відхилення деформації зразків-плит складає близько 14 %. Збільшення деформації повзучості спостерігали у перші 10...12 днів після передачі у напружень. Різкі коливання на графіках повзучості бетону в зразках-плитах свідчать про вплив зовнішніх факторів, таких як температура та вологість у приміщенні

Найбільші деформації повзучості бетону отримані у плитах серії П-3. За рахунок використання двовісного обтиску в зразках виникають напруження стиску в напрямку осі Y.

Для порівняння отриманих експериментальних даних розрахунок виконали згідно з Eurocode 2. Згідно з нормативним документом, якщо у результаті попереднього напруження арматури напру-



а



б

Рис. 3. Розміщення випробувальних плит на стелажах (а) і вимірювання деформацій усадки та повзучості компаратором (б)

ження стиску бетону у віці  $t_0$  перевищують величину  $0,45f_{ck}(t_0)$ , повзучість треба розглядати як нелінійну і визначати за формулою

$$\varepsilon_{cc}(t_0, \infty) = \varphi_k(t_0, \infty) \cdot \left( \frac{\sigma_c}{E_c} \right), \quad (1)$$

В даному випадку з огляду на використання змішаного армування в двовісно напружених плитах вираз (1) необхідно переписати з врахуванням двох напрямків:

– вздовж осі X

$$\varepsilon_{cc,x}(t_0, \infty) = \varphi_{k,x}(t_0, \infty) \cdot \left( \frac{\sigma_{c,x}}{E_c} \right), \quad (2)$$

– вздовж осі Y

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

Тоді граничний коефіцієнт нелінійної повзучості  $\varphi_k$  визначають за співвідношеннями:

– вздовж осі X

$$\varphi_{k,x}(t_0, \infty) = \varphi(t, t_0) \cdot \exp\left[1,5 \cdot (k_{\sigma,x} - 0,45)\right], \quad (4)$$

– вздовж осі Y

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

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

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

$$k_{\sigma,x} = \frac{\sigma_{c,x}}{f_{cm}(t_0)}, \quad (6)$$

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

$\sigma_{c,x}, \sigma_{c,y}$  – 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;

$\eta_x, \eta_y$  – коефіцієнти, що враховують вплив рівня обтискувальних напружень з урахуванням змішаного армування та розміщення 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.

Усі інші параметри прийняті згідно з Eurocode 2 [4]

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

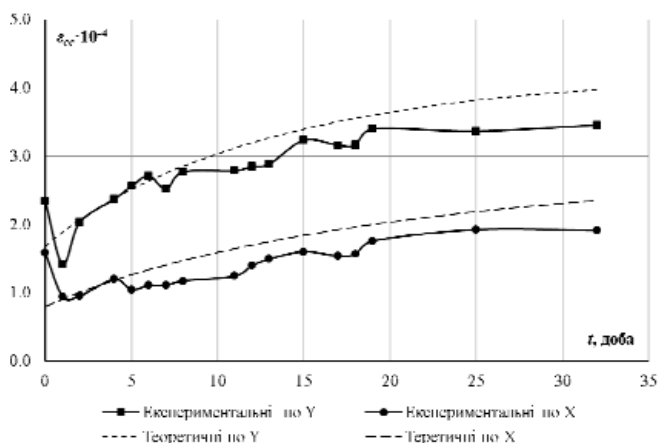


Рис. 4. Усереднені графіки відносних пружно-миттєвих деформацій, деформації повзучості плит серії П-2 та порівняння з теоретичними даними

Таблиця 2. Коефіцієнт впливу змішаного армування на зусилля попереднього обтиску бетону

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

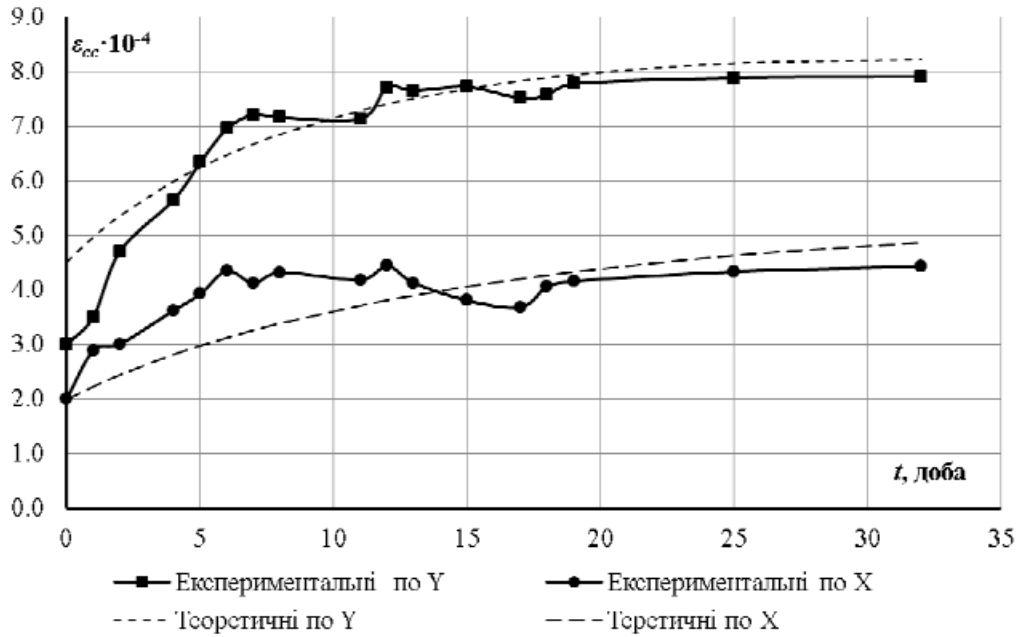


Рис. 5. Усереднені графіки відносних пружно-миттєвих деформацій, деформації повзучості плит серії П-3 та порівняння з теоретичними даними

**Висновки.** Методика випробувань напружено-деформованого стану плит із 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 залежать 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 повзучості бетону, наведений у європейських нормах, дозволяє більш точно отримати дані, але потребує уточнень з огляду на використання змішаного армування.

#### ЛІТЕРАТУРА

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.

#### АННОТАЦИЯ

Приведены экспериментальные данные ползучести бетона в двухосно обжатых плитах с напряженным и смешанным армированием и выполнено теоретическое сравнение согласно европейским нормам Eurocode 2.

Ключевые слова: армирование, бетон, двухосное смешанное напряжение, ползучесть, Eurocode 2.

#### ANNOTATION

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.

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