

УДК 624.012.464

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ДВОВІСНО НАПРУЖЕНИХ ПЛИТ ЗІ  
ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗГІНІ**

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДВУХОСНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ  
СО СМЕШАННИМ АРМИРОВАНИЕМ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ**

**BEARING CAPACITY OF BIAxIAL STRAINED SLABS WITH MIXED  
REINFORCEMENT THE CROSS BENDING**

**Бова Я.О., к.т.н., асистент** (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

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

**Bova Y.A., Candidate of technical Science, assistant** (Kyiv national university of construction and architecture)

**Наведено експериментальні дані несучої здатності плит з різним коефіцієнтом змішаного армування та виконано теоретичні порівняння згідно з європейськими нормами Eurocode 2.**

**Приведены экспериментальные данные несущей способности плит с разным коэффициентом смешанного армирования и выполнено теоретическое сравнение согласно европейским нормам Eurocode 2.**

**There are presented the experimental results of slabs bearing capacity with different mixed reinforcement coefficients and theoretical comparison are completed according to the European standards.**

**Ключові слова:** армування, бетон, двовісне, змішане, коефіцієнт, напруження, несуча здатність, Eurocode 2.

**Ключевые слова:** армирование, бетон, двухосное, смешанное, коэффициент, напряжение, несущая способность, Eurocode 2.

**Keywords:** reinforcement, concrete, biaxial, mixed, coefficient, stress, bearing capacity, Eurocode 2.

**Вступ.** Стрімкий розвиток будівництва у світі, і в Україні у тому числі, спонукає до створення нових архітектурних форм та конструкцій,

конструктивних схем та нових видів будівельних конструкцій. Це в свою чергу впливає як на розрахунок, так і на виготовлення таких конструкцій. Щоб досягти розмірів та об'ємів приміщень, які б задовольнили сучасні потреби, необхідно збільшувати крок колон (у деяких випадках сітка колон може досягати розмірів  $15 \times 15$  м), а це в свою чергу впливає на розміри та види плит перекриття.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Аналіз останніх літературних джерел [1,2,3,4,5] виявив недостатність вивчення впливу змішаного армування на несучу здатність плоских двовісно напружених плит при поперечному згині.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** До найбільш економічних, і тому найбільш перспективних, відносять конструкції зі змішаним армуванням. Вони зберігають переваги попередньо напружених і ненапружених елементів. Тому виникло питання: як вплине змішане армування на несучу здатність при поперечному згині у двовісно напружених плитах.

**Постановка завдання.** Для вирішення поставленої задачі виготовили 3 серії дослідних зразків плоских безбалкових плит середньої товщини, розміром  $800 \times 800$  мм та товщиною 75 мм (рис. 1). Кожну серію розділили за коефіцієнтом змішаного армування (табл. 1).

Так в плитах серії П-1 – з ненапруженою арматурою класу А500С; серія П-2 – зі змішаним армуванням, використали клас ненапруженої арматури А500С та напружену класу А800С; серія П-3 – з повністю попередньо напруженою арматурою, використали клас арматури А800С.

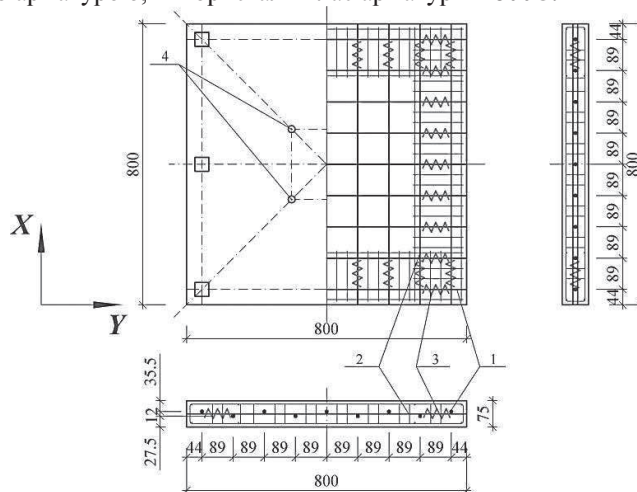


Рис. 1 Армування випробувальних плит-зразків:  
1 – арматурні стержні; 2 – “П” – подібні арматурні сітки; 3 – спіралі;  
4 – круглі марки.

Таблиця 1

## Об'єм та характеристики плит-зразків

№ серії та шифр зразка	Розміри плит-зразків, мм			Коефіцієнт змішаного армування $K_p = \frac{A_{sp}}{A_{s,tot}}$	Клас напруженої арматури	Клас ненапруженої арматури	Кількість зразків, шт.
	<i>h</i>	<i>l</i>	<i>b</i>				
П-1 (ненапр. 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

Для проведення експериментальних досліджень зразків-плит при короточасному поперечному згині запроєктовано та виготовлено устаткування. Стенд, що імітує роботу плит при поперечному згині зображено на рис. 2.

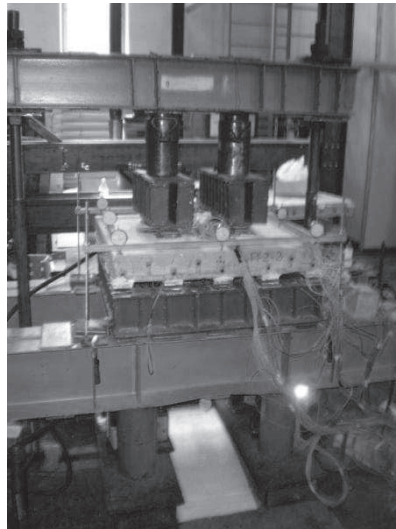


Рис. 2. Загальний вигляд устаткування для випробування плит на поперечний згин

Зразки-плити опиралися по контуру на 16 шарнірів згідно з рекомендаціями ДСТУ [6], які розташовані на жорсткій металевій рамі. Навантаження на зразки-плити передавали за допомогою двох гідравлічних домкратів через траверси у відповідності до схеми (рис. 3). Траверса, в свою чергу, з'єднана з двома опорами, що закріплені до силового полу.

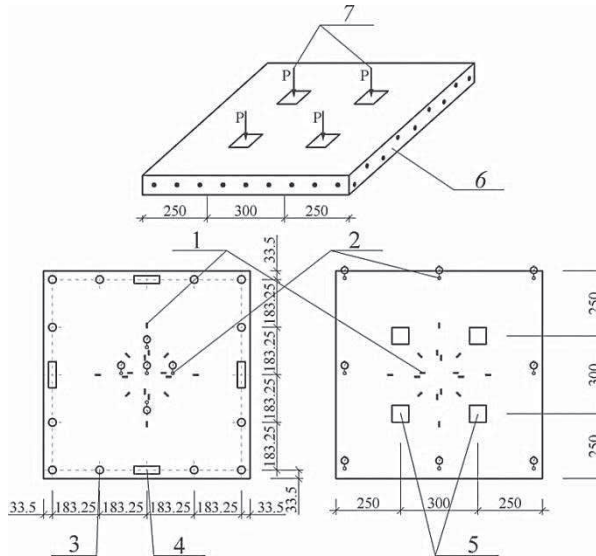


Рис. 3. Схема навантаження плити та розміщення вимірювальних приладів:  
 1 – тензодатчики; 2 – індикатори часового типу; 3 – сферичні опори;  
 4 – шарнірні опори; 5 – точки прикладання зусилля; 6 – зразок-плита;  
 7 – зусилля від домкратів  $P$

Фактична потужність кожного з двох гідравлічних домкратів складала 250 кН. Навантаження на зразки-плити прикладали ступенями з кроком  $P = 19,61$  кН та витримкою по 5 хв для вимірювання деформації і прогинів.

**Основний матеріал і результати.** В процесі випробування експериментальні зразки-плити доведені до руйнування. Випробування проводили у віці від 245 до 274 діб від початку їх виготовлення. Руйнування зразків відбувалося внаслідок роздрібнення бетону в стиснутій зоні та значним розкриттям тріщин у розтягнутій зоні в центрі прольоту плити між зосередженими силами. Руйнування носило раптовий характер. Розриву поздовжньої арматури не було. В результаті отримано класичну форму руйнування плити при продавлюванні.

Після випробувань отримали наступні дані: плити серії П-1 зруйнувалися при навантаженні в середньому 79,1 кН, плити серії П-2 – при 90,0 кН та плити серії П-3 – при навантаженні в 98,3 кН. Результати випробувань для кожної плити наведені в табл. 2.

З отриманих експериментальних даних видно, що міцність зразків-плит при продавлюванні збільшується в залежності від рівня попереднього напруження. Це можна пояснити двовісним обтиском за рахунок напруженої арматури. Досліджувані плити мали відношення товщини ( $h$ ) до прольоту ( $l$ ) в межах  $\frac{h}{l} \approx \frac{1}{10}$ , що відносить їх до плит середньої товщини. Крім

того, розміщення арматури в середині перерізу, практично центральний обтиск і великий відсоток армування  $\rho = 0,017\%$  суттєво підвищують жорсткість плити.

Таблиця 2

Результати випробування плит на короткочасне поперечне навантаження

Шифр зразка	Номер серії	Руйнуючі зусилля $P_u$ , кН	
		однієї плити	середнє
П-1	1	79,7	79,1
	2	82,0	
	3	80,1	
	4	74,5	
П-2	1	85,3	90,0
	2	93,1	
	3	93,4	
	4	88,2	
П-3	1	94,4	98,3
	2	106,6	
	3	95,6	
	4	96,8	

Розглядаючи дані отримані внаслідок експерименту та характер руйнування можна зробити висновок, що зразки-плити оперті по контуру, працюють на продавлювання (рис. 4).

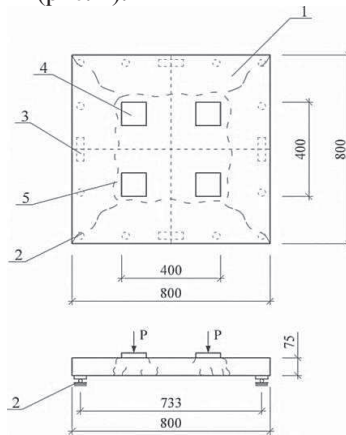


Рис. 4. Розрахункова схема при продавлюванні та характер утворення тріщин:  
1 – тіло плити; 2 – кулькова опора; 3 – шарнірна опора; 4 – жорсткий штамп; 5 – лінії продавлювання

Для забезпечення міцності при продавлюванні плит зі змішаним армування за Eurocode 2 [7] повинна виконуватись умова:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}, \quad (1)$$

де  $V_{Ed}$  – максимальні напруження зрізу при продавлюванні, що діють на плиту;

$V_{Rd,c}$  – допустимі напруження зрізу при продавлюванні для плити, що розглядається.

Допустимі напруження зрізу при продавлюванні визначають за формулою наведеною у Eurocode 2 [7]:

$$V_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \geq (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}), \quad (2)$$

де  $f_{ck}$  – міцність бетону на стиск у віці 28 діб;

$k$  – коефіцієнт, що враховує вплив масштабного фактору і розраховують за формулою:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0; \quad (3)$$

$d$  – робоча висота поперечного перерізу;

$\rho_l$  – розрахунковий коефіцієнт армування плити визначають:

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0,02; \quad (4)$$

$\rho_{lx}; \rho_{ly}$  – коефіцієнти армування відповідно у напрямку осей  $X$  і  $Y$ , і дорівнюють:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{s,x}}{ud}; \quad (5)$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{s,y}}{ud}, \quad (6)$$

де  $A_{s,x}, A_{s,y}$  – площі поздовжньої арматури відповідно у напрямку осей  $X$  і  $Y$ ;

$d$  – середня робоча товщина плити, яку можна приймати  $(d_x + d_y)/2$ , мм;

$u$  – довжина контрольного периметру, що розглядається;

$\gamma_c$  – коефіцієнт надійності за матеріалом і дорівнює 1,15;

$k_1$  – коефіцієнт впливу обтиску на міцність перерізу при продавлюванні, що приймають з національних додатків, і дорівнює 0,1;

$\sigma_{cp}$  – розрахункове значення напружень, що виникають у плиті внаслідок попереднього напруження, дорівнює:

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{c,x} + \sigma_{c,y}) / 2, \quad (7)$$

де  $\sigma_{c,x}$  і  $\sigma_{c,y}$  – нормальні напруження у бетоні контрольного перерізу в напрямку осей  $X$  і  $Y$ , що дорівнюють:

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

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

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;

$V_{min}$  – мінімальне значення напружень зрізу при продавлюванні визначається співвідношенням:

$$V_{min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Максимальні напруження зрізу при продавлюванні визначаємо за формулою Eurocode 2 [7]:

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{ud}; \quad (11)$$

$V_{Ed,red}$  – значення поперечного зусилля, що діє на плиту.

Результати порівняння експериментальних та теоретичних даних наведені в таблиці 3. Різниця між експериментальними та теоретичними даними не перевищила 10%.

Таблиця 3

Співставлення експериментальних та теоретичних значень напружень зрізу при продавлюванні зразків-плит

Шифр зразка	Значення напружень зрізу отримане з експерименту $V_{Ed}$ , МПа	Теоретичне значення напружень зрізу $V_{Rd,c}$ , МПа
П-1	2,77	2,68
П-2	3,16	3,15
П-3	3,44	3,41

**Висновки.** Розрахунок несучої здатності при продавлюванні наведений у європейських нормах дає можливість розраховувати плоскі безбалочні плити не тільки при звичайному армуванні, але при наявності змішаного чи попередньо напруженого армування. При цьому не має необхідності вводити поправочні коефіцієнти з огляду на використання двовісного обтіску. В нових нормах із розрахунку залізобетонних конструкції вплив напружень вздовж двох осей від попереднього обтіску врахований при розрахунку на продавлювання.

1. Арсланбеков М.М. Исследование прочности, трещиностойкости и жесткости железобетонных изгибаемых элементов со смешанным армированием // Дисс. канд. техн. наук. М. – 1983 – С.166.
2. Журавський О. Д. Напряжено – деформированное состояние железобетонных плит при двухосном предварительном обжатий// Автореферат. Киев, 1988 – с. 25.
3. Карчемский М. Ю. Железобетонные плиты, предварительно напряженные в двух направлениях/ М.Ю. Карчемский. – К.: Госстройиздат, 1958 – с. 121.
4. Лисицин Б. М. Теоретическое и экспериментальное исследование предварительно напряженных в двух направлениях железобетонных плит и шатровых панелей: автореф. канд. дисс. /Б.М.Лисицин// – Киев, 1961 – с. 20.
5. Бабич С. М. Залізобетонні балки і плити зі змішаним армуванням/ С.М. Бабич, О.П. Борисюк, П.П.Коцбчук // Вид-во – Рівне, 1998 – с. 134.
6. ДСТУ Б В.2.6-7-95 Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості// Вид-во – ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ – Київ, 1997.
7. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, BS EN 1992-1-1.-2004. – British Standard, CEN.