

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ У ДВОХ НАПРЯМКАХ

Більченко А.В., *к.т.н., проф.*

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Умова міцності і деформативності працюючих у двох напрямках залізобетонних плит із врахуванням кутів нахилу тріщин до стержнів прямокутної сітки, що армована різними діаметрами, розглядалась у роботі [1], а методика визначення деформацій детально викладена в роботі [2]. В подальшому автор декілька раз вертався у своїх роботах [3, 4, 5, 6] до цієї теми, але залишились питання які не були повністю дослідженими.

В плитах, що армовані під кутом до нормальної вісі, по якій діє момент, на деформативність арматури впливає її закріплення у вузлах сіток і довжина вільної арматури між вузлами в сітці, а кількість тріщин по полю плити, їх ширина і висота їх розвитку по товщині плити впливає на деформативність стиснутого бетону.

М.І. Карпенко [1] при розгляді цього питання в своїй теорії приводив її до одношарової за допомогою слідуючого методу: щоб компенсувати неточність, зв'язану із поєднанням шарів армування в один рівень необхідно при визначенні площі арматури записати:

$$f_{si} = \frac{A_{si}}{S_{si}}, \quad (1)$$

а потім помножити на коректуючий множник, який враховує різну висоту розміщення арматури за двома напрямками.

$$f_{si} = \frac{A_{si}}{S_{si}} \frac{h_i - 0,5X_m}{h_o - 0,5X_m}, \quad (2)$$

$$f'_{si} = \frac{A'_{si}}{S'_{si}} \frac{h_i - 0,5X_m}{h'_o - 0,5X_m}$$

Ця методика у плитах з різними діаметрами арматури по напрямкам не враховує закріплення стержнів у вузлах сітки, кроку арматури і величини розвитку тріщин за товщиною поперечного перерізу. Тому в плитах виникає питання додаткових впливів на деформативність арматури і бетону в стиснутій зоні. Крім того, на нашу думку, якщо зусилля

в арматурі розподіляються по вісям X , Y , то деформативність бетону буде близькою до середньої, так як вона буде збиратися і розподілятися бетоном по висоті і по довжині стиснутої зони.

Умову міцності плит, що працюють в двох напрямках в роботі [1] записується в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} A_{xx} \sin \alpha_m + A_{xy} \cos \alpha_m &= 0 \\ A_{yy} \cos \alpha_m + A_{xy} \sin \alpha_m &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} A_{xx} &= \sum \sigma_{mx} f_{sy} (h_x - 0,5X_m^m) \cos^2 \beta_i - M_x - 0,5N_x (h_x - X_m^m) \\ A_{yy} &= \sum \sigma_{my} f_{sy} (h_y - 0,5X_m^m) \sin^2 \beta_i - M_y - 0,5N_y (h_y - X_m^m) \\ A_{xy} &= \sum \sigma_{mx} f_{sx} (h_x - 0,5X_m^m) \sin \beta_i \cos \beta_i - M_{xy} - 0,5N_{xy} (h_x - X_m^m) \end{aligned} \quad (4)$$

Якщо виключити кут $\alpha_m = 0$, то прийдемо до звичайної умови пластичності

$$A_{xx} A_{xy} - A_{xy}^2 \geq 0 \quad (5)$$

де $A_{xx} \geq 0$, $A_{yy} \geq 0$, а величину A_{xy} приводимо до умови

$$\operatorname{tg} \alpha_m = \pm \frac{A_{yy}}{A_{xx}} \quad (6)$$

Тут знак \pm відноситься до зворотної величини A_{xy} .

Експерименти показали, що лінії текучості при $\alpha_m \neq 0$ не співпадають з початковим (у пружній стадії) нахилом тріщин α . У запропонованій теорії розрахунків плит, що армовані під кутом до діючих моментів [1], не достатньо вивченою величиною є висота стиснутої зони бетону X_m . Автор вирішив зробити спробу експериментально оцінити зміну висоти стиснутої зони в процесі навантаження до моменту руйнування елементу. Знаючи висоту стиснутої зони можна визначити епюру напруження. Методика експерименту детально описана в роботах автора і професора Карпенко М.І. [1, 2] і дозволяє, з одного боку, вивчити поведінку плит із тріщинами, що знаходяться під кутом до стержнів арматурної сітки (похилі тріщини), а з іншого – безпосередньо із експерименту визначити величини згинальних моментів.

Схема навантаження і армування плит показана на рис. 1. Плити прямокутні в плані 140x82см при товщині $h=6$ см. Клас бетону на момент випробування складав 30-38МПа. Арматура застосовувалась із вираженою горизонтальною площадкою текучості ($R_{sn}=350-400$ МПа).

Плити армовані прямокутними сітками (ортотропне армування), що розміщені біля розтягнутої при згині поверхні стержнями. діаметром 10, 8, 6мм. Армування виконувалось по серіям за слідуючими схемами (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристика плит

Марка плит	Кількість	Кут нахилу	Діаметр по осі «х» (по осі «t»)	Діаметр по осі «у»	Коефіцієнт армування M_n	R_{bn} МПа	R_{sn} МПа
П-1	4	45°	8	8	0,0156	32,3	398
П-4	4	45°	10	8	0,0158	29,8	350/398
П-8	2	45°	10	6	0,0148	37,1	350/405
П-11	2	60°	10	6	0,0153	32,9	350/405
П-12	2	60°	6	10	0,0150	38,9	405/350
П-9	2	0°	10	-	0,0154	30,4	350
П-10	2	0°	6	-	0,0154	30,8	405

Для визначення динаміки розвитку висоти стиснутої зони в зоні дії максимального моменту в середині зразка було розміщено закладну деталь із розмірами 50х30мм при товщині 15мм (рис. 1). Товщина плити, яка випробувалась дорівнює 60мм, тобто $x = 0,5h$, що відповідає пружним матеріалам і максимально наближеною величиною X . Закладна деталь виготовлялась із бетону того ж класу, що і плити і того ж складу. По висоті в середині закладної деталі розміщувались тензодатчики з базою 20 мм ізольованих водостійкими ізоляційними матеріалами. Для кращого зчеплення закладної бетонної деталі із бетоном плити на її бокові поверхні була нанесена сітка глибоких бороздок - рисок. Показники датчиків знімались за допомогою тензостанції ЦТМ-5.

Основним параметром для порівняння деформативності плит, крім геометричних розмірів і єдиної методики випробування [2], повинен бути однаковий коефіцієнт армування по осі прикладення навантаження «л» і однакові характеристики матеріалів.

Отримані результати наводяться на рис. 2 по серіям і по кожному зразку окремо. Однаковий коефіцієнт армування досягався зміною кроку арматури від 65 мм для плит армованих під кутом 0° і до 100 мм для плит, армованих під кутом 45° та 60° (табл.1).

Результати експериментальних даних, що представлені на рис.2 показали, що зміна кута нахилу арматури в межах 0°, 45°, 60° по різному впливає на динаміку і величину зміни висоти стиснутої зони при однакових навантаженнях. При 0° (тобто балочній плиті) вона змінюється

дуже мало, максимальна динаміка спостерігається при куті 45° і армуванні сіткою $\text{Ø}10 \times 6 \text{ мм}$ де вона змінюється більш інтенсивно. Максимальне зменшення висоти стиснутої зони спостерігається при куті нахилу 60° і армуванні сіткою $\text{Ø}10 \times 6 \text{ мм}$. При цьому майже у всіх випадках спостерігається стрибок при переході зусиль із нижньої арматури до верхньої.

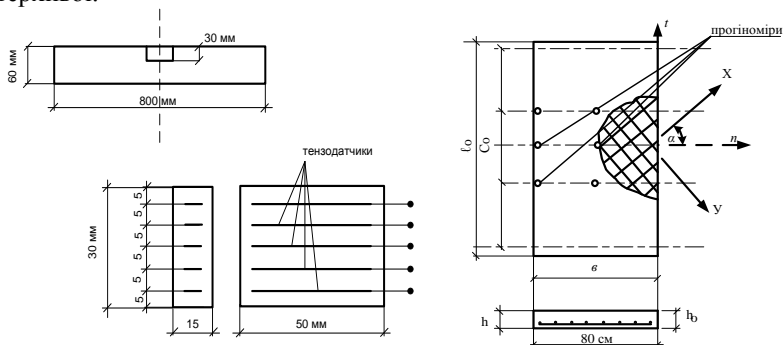


Рисунок 1 – До аналізу експериментів C_0 – зона дослідження, закладні деталі для вимірювання деформацій стисненого бетону плити по її висоті

Максимальна динаміка зміни висоти стиснутої зони спостерігалась при армуванні стержнями $\text{Ø}10 \times 8 \text{ мм}$ (кут 45°).

Звичайна багатофакторність впливу на деформативність плит не дає можливості точно визначити вплив кожного із факторів на зміну висоти стиснутої зони і епюри напружень, але на нашу думку поки що слід виділити декілька основних причин:

1) Вплив дії деформативності арматури, в якій завдяки кріпленню стержнів у вузлах сітки ми маємо об'ємну роботу навколо стержнів двох напрямків, тому в плитах армованих стержнями 8×8 під кутом 45° що на першій стадії вони включаються в роботу окремо, а далі працюють як балкова плита і висота стиснутої зони практично змінюється мало.

2) При куті нахилу стержнів 45° зменшення висоти стиснутої зони в плитах, що армовані стержнями $\text{Ø}10 \times 8 \text{ мм}$ починається пізніше і проходить більш стрімко ніж в плитах, що армовані стержнями $\text{Ø}8 \times 8 \text{ мм}$. Можливо це пов'язано із двома причинами: більшої міцності стержнів $\text{Ø}10 \text{ мм}$ на початку роботи і крутними моментами так як h_{i0} значно менша h_{iy} .

3) При порівнянні висоти стиснутої зони плит, що армовані стержнями $\text{Ø}10 \times 6 \text{ мм}$ при куті нахилу 45° картина зменшення висоти стисну-

тої зони у порівнянні із плитами, що армовані $\text{Ø}10 \times 8 \text{ мм}$ практично однакова, тільки зменшення висоти стиснутої зони більш повільне.

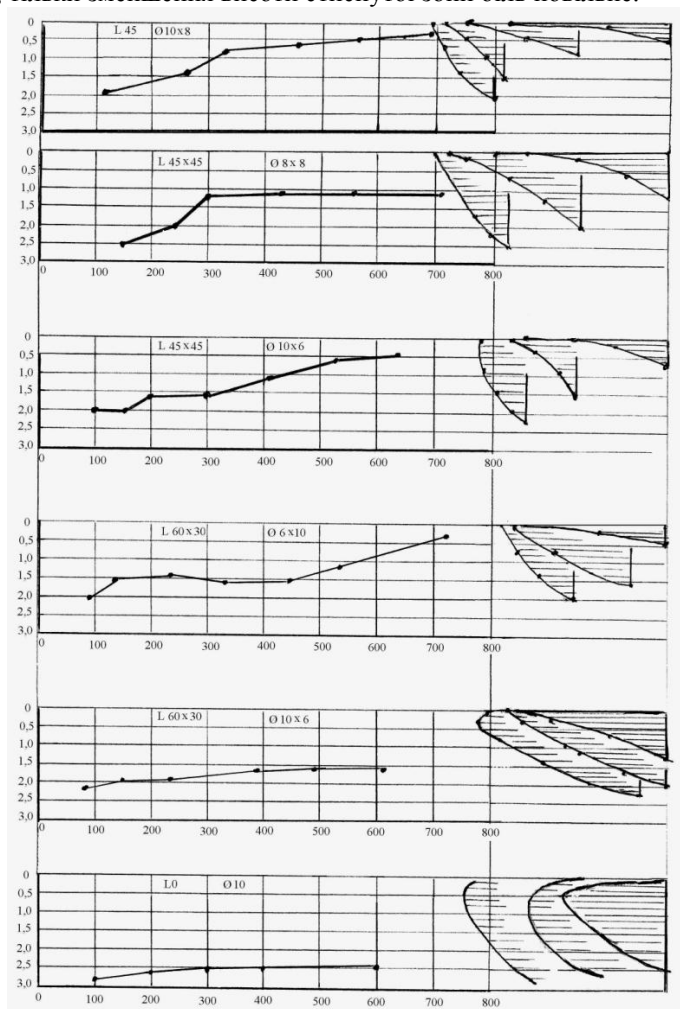


Рисунок 2 – Зміна висоти стиснутої зони та зміна епюри напруження в стиснутому бетоні плити

4) Зміна висоти стиснутої зони в плитах, що армовані стержнями $\text{Ø}6 \times 10 \text{ мм}$ показало, що зміна йде хвилюподібно, у початковій стадії в основному працює нижній стержень $\text{Ø}6 \text{ мм}$ по мірі виходу його із робо-

ти, підключається стержень $\varnothing 10\text{мм}$, але у зв'язку із великим нахилом у 60° впливає він мало і висота стрімко зменшується.

5) Завдяки кріпленню стержнів у вузлах прямокутної сітки на короткій довжині змінюється кількість тріщин і ширина їх розкриття при зміні діаметра стержнів у сітці. Зони роботи кожного стержня в двох напрямках перекриваються і міцність бетону використовується повністю.

6) Форма епюри напружень у стиснутій зоні бетону змінюється від випуклої на початку роботи плити до увігнутої з малою кривизною, що характеризує повне використання міцності бетону стиснутої зони.

7) Балочна плита (кут нахилу 0°) має звичайну форму епюри напружень і малу інтенсивність зміни висоти стиснутої зони.

8) Якщо стержень меншого діаметру має великий нахил, робота плити і епюри напружень наближаються до балочної плити.

Summary

The results of experimental data on the change in height of the compressed zone plates, which reinforced at an angle to the current moment.

1. Карпенко Н.И. Теория железобетона с трещинами. – М.:Стройиздат.1976.
2. Бильченко А.В. Экспериментальная проверка и исследования параметров теории деформирования железобетонных плит с трещинами, работающих в двух направлениях /Бильченко А.В., Карпенко Н.И./ В ст. НИИЖБ „Прочность и жесткость железобетонных конструкций.” – М.: Стройиздат. 1971.
3. Бильченко А.В. Экспериментальное исследование коэффициентов φ_{ax} и φ_{ay} в плитах, работающих в двух направлениях. Республиканская научно-техническая конференция «Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций и их внедрение в строительную практику. Полтава. 1989.
4. Бильченко А.В. Определение угла наклона трещин к арматуре в изгибаемых плитах. Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура №3. 1990. Новосибирск.
5. Бильченко А.В. Характер розвитку тріщин по полю залізобетонної плити. /Бильченко А.В., Краснов С.Н./ Журнал «Бетон і залізобетон в Україні №2, Полтава, 2002.