

## РОБОТА МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ З ПОСТНАПРУЖЕНОЮ АРМАТУРОЮ

© Журавський О.Д., Мельник І.В., 2013

Наведено результати теоретичних досліджень монолітних залізобетонних плит до та після підсилення постнапруженою арматурою.

**Ключові слова:** підсилення залізобетонних конструкцій, монолітні залізобетонні конструкції, попередньо напружені монолітні конструкції, перекриття; пост напруження, арматура, канатна арматура, напружений елемент, натягуваний на затужавіший бетон.

The results of theoretical tests of in-situ reinforced concrete plates before and under strengthened by post-tensioning steel bars are given.

**Key words:** strengthening of concrete structures, in-situ reinforced concrete constructions, post-tensioned construction, floor, prepost tensioning, steel (reinforcement of concrete elements), strand, wire-rope fittings, post-tensioning tendon.

### Вступ

У практиці будівництва монолітних залізобетонних плоских перекриттів часто виникають проблемами, які пов'язані з понаднормативними прогинами таких перекриттів та появи тріщин. Вони можуть виникати як під час експлуатації, так і під час будівництва. До причин, що викликають надмірні прогини можна зарахувати недотримання технології виготовлення, помилки в проектуванні тощо. За великих прольотів монолітних плит (>6 м) рекомендують використовувати попередньо напружену арматуру. Як альтернативу традиційному армуванню у цих випадках можна використовувати постнапружену арматуру.

### Розрахунок монолітних плит, підсиленних постнапруженою арматурою

Принципово технологія підсилення полягає в улаштуванні арматурних стержнів підсилення після виготовлення монолітної плити перекриття. Стержні підсилення проектуються у приопорній зоні над плитою перекриття, а у прольоті – під плитою. Анкеруються стержні у чвертях прольоту. Так загальна схема підсилення співвідноситься із епюрою моментів у плиті.

Перед експериментальними дослідженнями виконано розрахунки дослідних плит за допомогою програмного комплексу SCAD.

Теоретичною основою комплексу SCAD є метод скінченних елементів (МСЕ) у формі методу переміщень. Вибір цієї форми пояснюється простотою алгоритмізації та фізичної інтерпретації, можливістю створення єдиних методів побудови матриць жорсткості та векторів навантажень для різних типів скінченних елементів, можливістю урахування довільних граничних умов та складної геометрії конструкції, яку розраховують.

Напружено-деформований стан кожної матеріальної точки  $x$  скінченного елемента, який має об'єм  $V$  та поверхню  $S$ , описується векторами напружень  $s(x)$  та деформацій  $e(x)$ , які для лінійної задачі теорії пружності виражаються через вектор переміщень  $u(x)$ :

$$s = Me, \quad e = Bu, \quad (1)$$

де  $B$  – лінійний матричний диференціальний оператор;  $M$  – симетрична, додатно визначена матриця пружності закону Гука, яка залежить тільки від жорсткісних характеристик матеріалу конструкції.

Повна потенційна енергія елемента визначається за формулою

$$\Pi^{(e)} = \frac{1}{2} \int_v \mathbf{e}^T M \mathbf{e} dV - \int_v \mathbf{u}^T \mathbf{p} dV - \int_v \mathbf{u}^T \mathbf{q} dS, \quad (2)$$

де  $\mathbf{p}$  та  $\mathbf{q}$  – вектори об’ємних та поверхнісних сил відповідно.

Переміщення  $u(x)$  довільної точки елемента наближено подаються через невідомі зміщення вузлів  $Z$  виразами виду

$$u(x) = \sum_i j_i(x) Z_i = \Phi(x) Z_e, \quad (3)$$

де  $j_i(x)$  – інтерполяційні функції, які називають функціями форми;  $\Phi(x)$  – матриця інтерполяційних функцій;  $Z_e$  – вектор усіх невідомих зміщень вузлів елемента.

Підстановкою (1) та (3) в (2) отримуємо

$$\Pi^{(e)} = \frac{1}{2} Z_e^T \left( \int_v (B\Phi)^T M B \Phi dV \right) Z_e - \left( \int_v \mathbf{p}^T \Phi dV + \int_v \mathbf{q}^T \Phi dS \right) Z_e \quad (4)$$

Вираз (4) можна подати так

$$\Pi^{(e)} = \frac{1}{2} Z_e^T K_{(e)} Z_e - f_e^T Z_e, \quad (5)$$

де  $K_{(e)} = \int_v (B\Phi)^T M B \Phi dV$  – матриця жорсткості елемента;  $f_e^T = \int_v \mathbf{p}^T \Phi dV + \int_v \mathbf{q}^T \Phi dS$  – вектор приведених вузлових сил.

Повна потенційна енергія системи отримується сумою усіх її елементів

$$\Pi = \sum_e \Pi^{(e)}, \quad (6)$$

а її мінімізація дає систему рівнянь МСЕ

$$KZ = f \quad (7)$$

з глобальною матрицею жорсткості  $K$  та вектором вузлових сил  $f$ , отриманих через додавання відповідних членів матриці жорсткості  $K_{(e)}$  та векторів  $f_{(e)}$  окремих скінченних елементів, що є перевагою цього підходу.

Розглядалися два способи розташування постнапруженої арматури: вздовж осей (пряма арматура) та діагональна арматура (рис. 1). Плити моделювались плоскими 4-кутними скінченними елементами оболонки. Напружена арматура моделювалась просторовим стержневим елементом. Зусилля попереднього напруження в стержнях моделювалось температурним навантаженням. Розрахунок плити виконувався в два етапи. На першому етапі розрахунок виконувався без постнапруженої арматури, а на другому етапі – з постнапруженою арматурою.

У результаті розрахунку отримані переміщення (прогини) плит до та після підсилення постнапруженою арматурою (рис. 2–4). Максимальні прогини в прольотах зменшились на 43,3 % у разі підсилення прямою арматурою та на 50,2 % в разі підсилення діагональною арматурою (таблиця). Це означає, що підсилення діагональною арматурою має кращий ефект, ніж підсилення прямою арматурою.

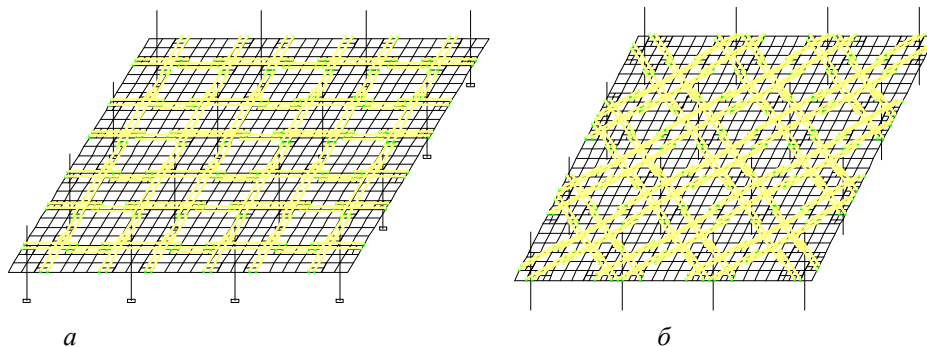
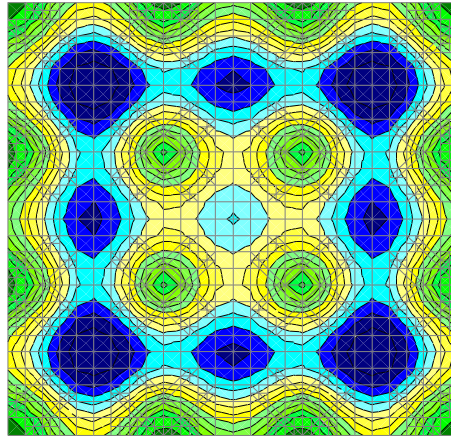


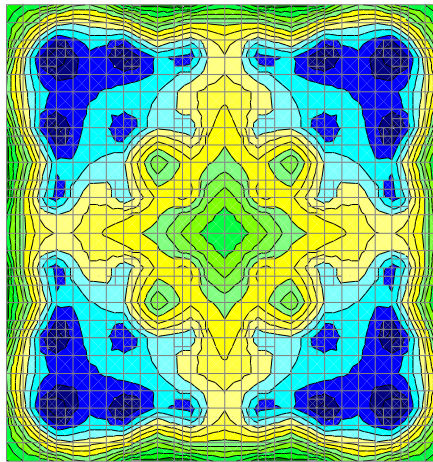
Рис. 1. Розрахункові моделі плит з постнапруженою арматурою: а – з прямою арматурою; б – з діагональною арматурою

Експериментальні дослідження планують виконувати на моделі плити в масштабі 1:6 (рис. 5). Матеріал дослідної плити: бетон класу С12/15, армування плити – арматурна сітка для армоцементу, підсилення постнапруженою канатною арматурою. Запропоновано також два типи анкетування арматури у плиті: за допомогою анкерів та пропуском напруженої арматури через плиту під кутом 45°.



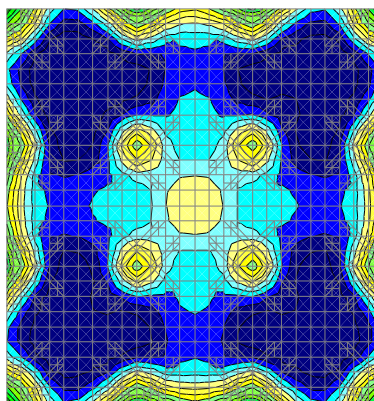
Перемещення Z (мм). Комбинация 1 ((L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1)

Рис. 2. Прогини до підсилення



Перемещення Z (мм). Комбинация 2 ((L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1+(L4)\*1)

Рис. 3. Прогини після підсилення прямою арматурою



Перемещение Z (мм). Комбинация 2 ((L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1+(L4)\*1)

Рис. 4. Прогини після підсилення діагональною арматурою

**Порівняльна таблиця максимальних прогинів, мм**

Прогини	Без напруження	Підсилення прямою арматурою	Підсилення діагональною арматурою
Максимальні в прольотах	-13,98	-7,93	-6,96

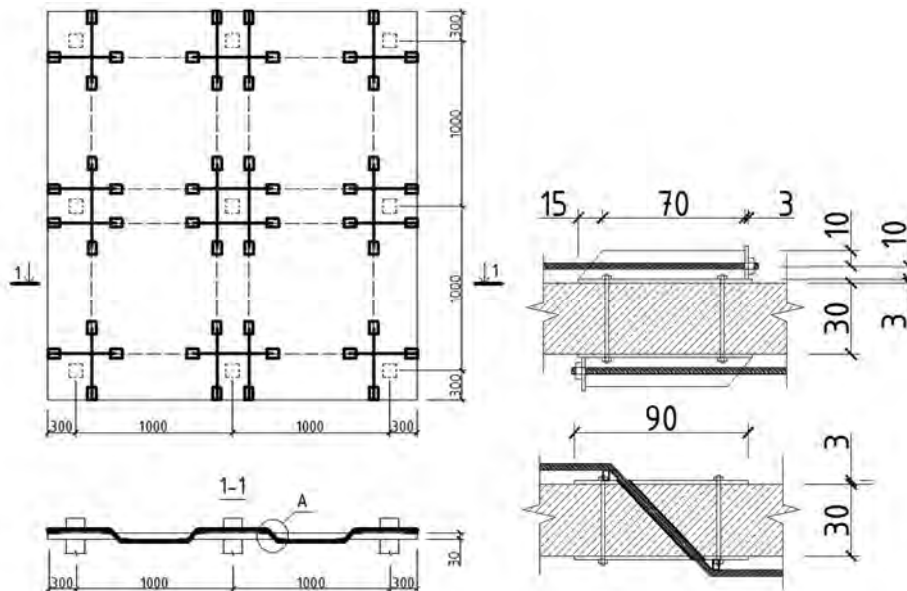


Рис. 5. Дослідний зразок монолітної плити з постнапруженою арматурою

1. SCAD для пользователя / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер, А.Н. Трофимчук. – К.: ВВП «Компас», 2000. –332 с. 2. Портаев Д.В. Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий: Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 248 с. 3. Кишиневская Е. В. Усиление строительных конструкций с помощью постнапряженного железобетона. – СПб.: диссертация магистерская: 05.23.01 – 2009.