

## РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ПЛОСКИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ НАПРУЖЕНОЮ АРМАТУРОЮ

О. Журавський, к. т. н., В. Тимошук, аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.041>

**Постановка проблеми.** Під час улаштування монолітних залізобетонних плоских перекриттів часто виникають проблеми, пов'язані з понаднормовими прогинами та появами тріщин. Вони можуть виникати як під час експлуатації, так і під час будівництва. До причин, що зумовлюють надмірні прогини, можна віднести: відхилення від технології виготовлення, помилки за проектування тощо. Для великих прольотів монолітних плит (понад 6 м) рекомендують використовувати попередньо напружену арматуру. Для підсилення залізобетонних плоских плит можна використовувати зовнішню напружену арматуру, яка буде слугувати зовнішнім армуванням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні 30-40 років у країнах Європи і США все більшого розвитку набуває використання попереднього напруження з натягом на бетон (постнапруження). У нашій країні ця технологія набула поширення в будівництві монолітних шляхопроводів і мостів, у цивільному ж будівництві її застосовують вкрай рідко. Частково це пов'язано з відсутністю норм і рекомендацій щодо розрахунку та конструювання таких конструкцій. У практиці сучасного будівництва все більше знаходять застосування попередньо напружені у двох напрямках залізобетонні плитні конструкції. Це – міжповерхові перекриття та покриття громадських і промислових будівель, стіни та покрівлі резервуарів.

Однак дослідження таких конструкцій, що працюють в умовах складного напруженого стану, не є вичерпними. Наявні норми теж не дають конкретних рекомендацій для розрахунку такого класу конструкцій. Уже встановлено, що в умовах двохосного стиску міцність бетону підвищується, повзучість – зменшується і, відповідно, зменшуються втрати напруження в попередньо напруженій арматурі. Ці чинники позитивно впливають на роботу двохосних попередньо напружених конструкцій.

**Постановка завдання.** Наше завдання – проведення теоретичних розрахунків можливості підсилення плоских залізобетонних плит зов-

нішньою напруженою арматурою та вивчення впливу такого підсилення на подальшу роботу плити під збільшеним навантаженням.

Подано розрахунок підсилення прямою арматурою, тобто арматурні стрижні будуть паралельні осям (рис. 1), для моделі плити в масштабі 1:6. Для розрахунку було застосовано програмний комплекс Ліра 9.6, створено чотири розрахункових моделі: 1 – лінійний розрахунок моделі без підсилення; 2 – лінійний розрахунок моделі з підсиленням прямою арматурою; 3 – нелінійний розрахунок моделі без підсилення; 4 – нелінійний розрахунок моделі з підсиленням.

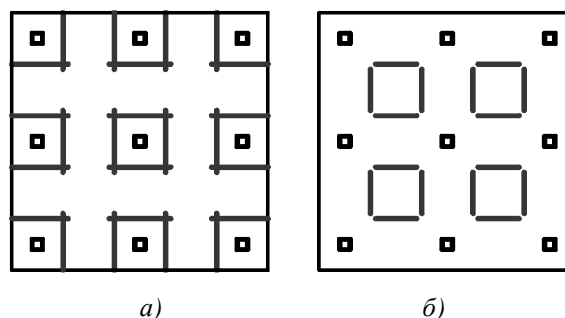


Рис. 1. Схема розташування зовнішньої арматури підсилення плити:  
а) по верхній грані плити; б) по нижній грані плити

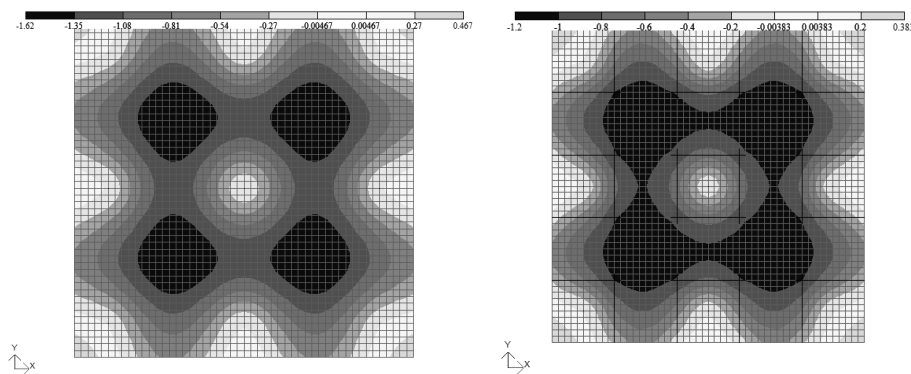
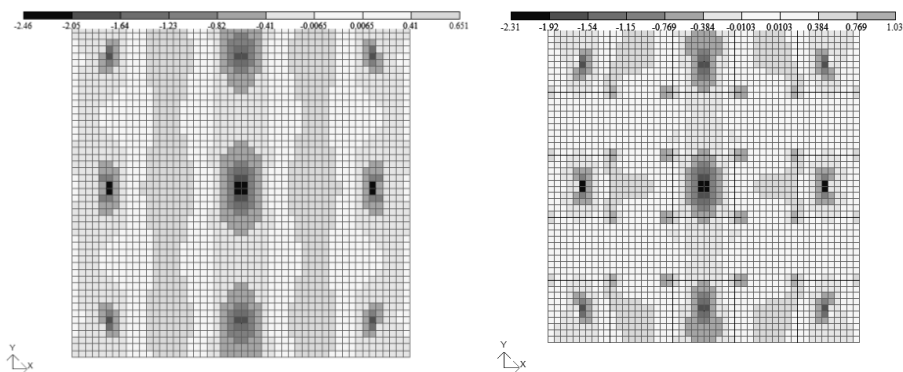
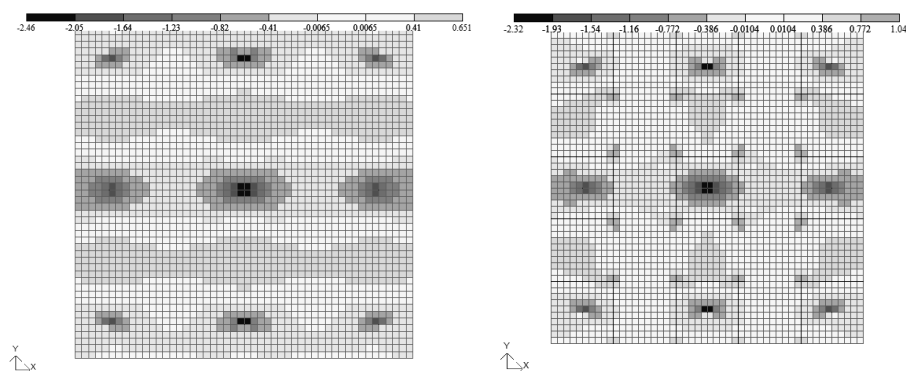
### Виклад основного матеріалу

**Лінійний розрахунок плоских залізобетонних плит, підсилених зовнішньою напруженою арматурою.** Для проведення розрахунків плоскої залізобетонної плити використовували програмний комплекс Ліра 9.6. Розмір плити 2500×2500 мм. Консоли 250 мм по периметру плити. Крок колон 1000 мм. Корисне навантаження, прикладене на плиту, становить 9,8 кН/м<sup>2</sup>, бетон плити класу С40, товщина плити 25 мм. У результаті лінійного розрахунку було отримано переміщення по осі Z плити та моменти  $M_x$ ,  $M_y$  до та після підсилення (табл. 1 та рис. 2–4).

Виходячи з наведених значень у табл. 1, можна сказати, що прогини у плиті підсиленою зовнішньою арматурою зменшилися на 25,9%. Також зменшилися моменти на опорах і у прольоті – на 6,97 та 26,0% відповідно.

Значення прогинів та моментів у плиті за лінійного розрахунку

Показник	До підсилення	Після підсилення
Переміщення ( $Z$ ), мм	-1,620	-1,200
Момент $M_x$ , кНм/м (-)	-2,481	-2,308
Момент $M_x$ , кНм/м (+)	0,645	0,477
Момент $M_y$ , кНм/м (-)	-2,481	-2,308
Момент $M_y$ , кНм/м (+)	0,645	0,477

Рис. 2. Ізополі переміщень по осі  $Z$ , до та після підсилення, ммРис. 3. Мозаїка моментів  $M_x$ , до та після підсилення, кНм/мРис. 4. Мозаїка моментів  $M_y$ , до та після підсилення, кНм/м

**Нелінійний розрахунок плоских залізо-бетонних плит, підсилені зовнішньою напруженою арматурою.** Для проведення нелінійного розрахунку було створено нову модель плоскої плити розмірами 2500×2500 мм, з кроком колон 1000 мм. Елементи плити задавали скінченними елементами типу 241 – фізично нелінійним універсальним прямокутним SE оболонки. Під час задання жорсткості було враховано фізичну нелінійність з урахуванням залежності « $\sigma$ - $\epsilon$ » [1].

У проведенні нелінійного розрахунку плити було враховано повзучість бетону у віці 365 діб. Отже, значення, отримані в результаті розрахунку, – реальне відображення роботи плити та зовнішньої арматури підсилення.

Корисне навантаження, прикладене на плиту, становить 9,8 кН/м<sup>2</sup>, бетон плити класу С40, товщина плити 25 мм.

У результаті нелінійного розрахунку було отримано прогини плити та моменти  $M_x$ ,  $M_y$  до та після підсилення (табл. 2, рис. 6–8).

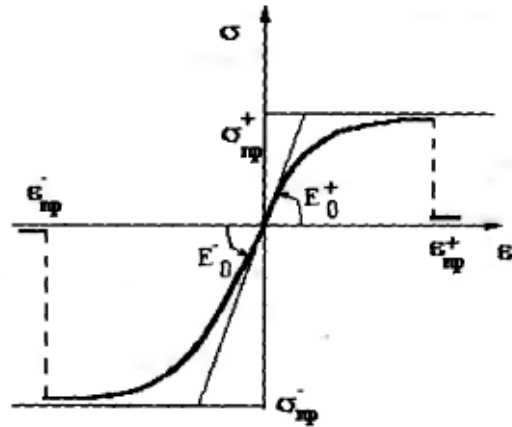


Рис. 5. Графік експоненціальної залежності для залізобетону

Виходячи з наведених значень у табл. 2, можна сказати, що прогини у плиті, підсиленій зовнішньою арматурою, зменшилися на 46,15%. Також зменшилися моменти на опорах і у прольоті – на 14,43 та 41,2% відповідно.

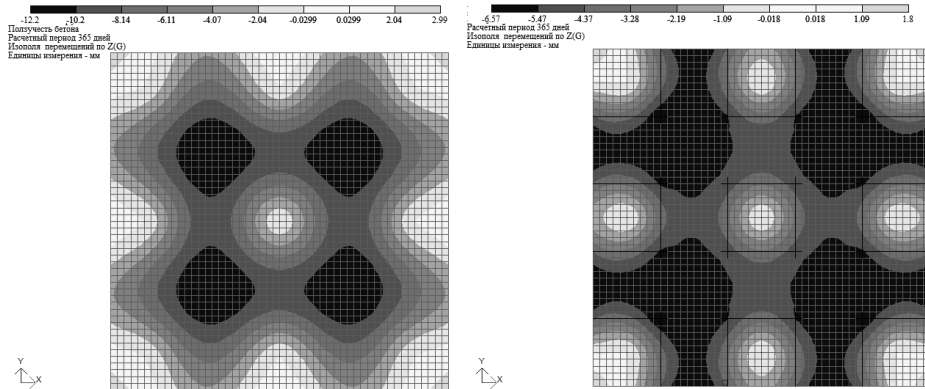


Рис. 6. Ізополя переміщень по осі Z, до та після підсилення, мм

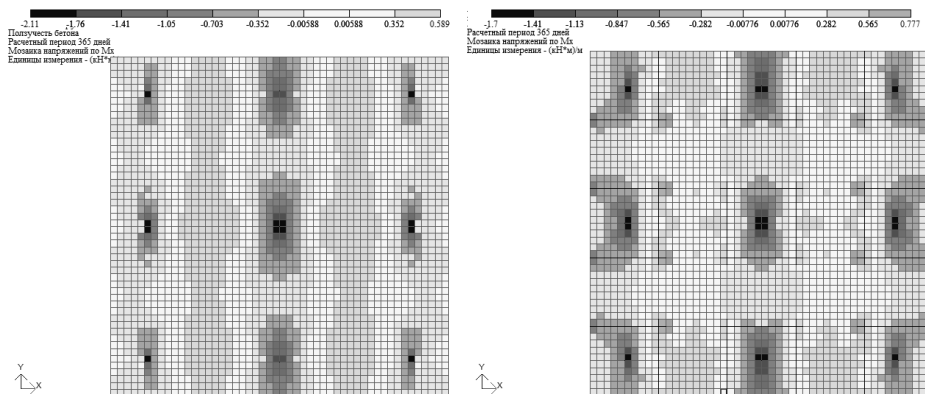
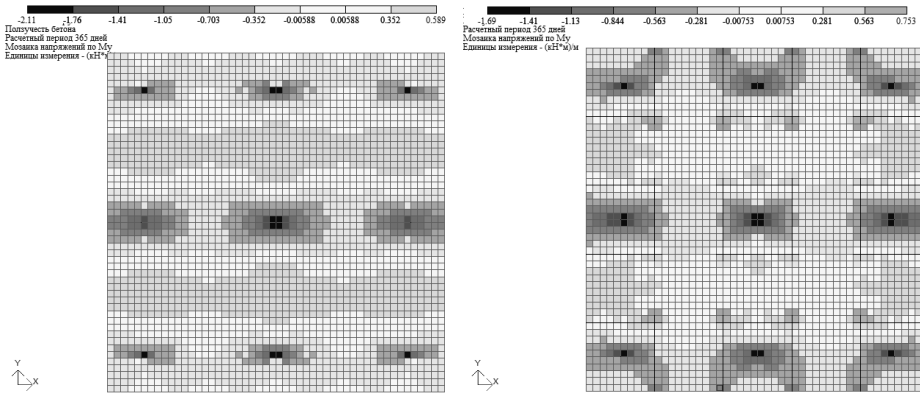


Рис. 7. Мозаїка моментів  $M_x$ , до та після підсилення, кНм/м

Рис. 8. Мозаїка моментів  $M_y$ , до та після підсилення, кНм/м

Таблиця 2

## Значення прогинів та моментів у плиті при нелінійному розрахунку

Показник	До підсилення	Після підсилення
Прогини, мм	- 12,200	- 6,570
Момент $M_x$ , кНм/м (-)	- 1,927	- 1,649
Момент $M_x$ , кНм/м (+)	0,597	0,351
Момент $M_y$ , кНм/м (-)	- 1,927	- 1,649
Момент $M_y$ , кНм/м (+)	0,597	0,351

**Висновки.** Проаналізувавши дані табл. 1 і 2, можна зазначити, що модель з урахуванням нелінійності роботи матеріалу показує пластичні деформації в бетоні, тоді як лінійний розрахунок показує тільки пружні. Тому прогини за нелінійного розрахунку значно більші, ніж за лінійного.

Для аналізу конструкцій перед підсиленням та розрахунку підсилення краще використовувати нелінійний метод розрахунку, оскільки він показує реальну роботу конструктивних залізобетонних елементів і дає змогу побачити повну картину деформацій, напружень та руйнувань в елементі.

Згодом доцільно виконати експериментальне дослідження та порівняння результату з теоретичним розрахунком.

## Бібліографічний список

1. Лира 9.4. Руководство пользователя. Основы: учеб. пособие / [Е. Б. Стрелец-Стрелецкий и др.]. Киев: ФАКТ, 2008. 164 с.
2. Глуховский А. Д. Железобетонные безбалочные бескапительные перекрытия для многоэтажных зданий. Москва, 1956. 62 с.
3. Михайлов В. В. Предварительно-напряженные железобетонные конструкции. Москва: Стройиздат, 1978. 383 с.
4. Леонгардт Ф. Напряженно-армированный железобетон и его практическое применение / пер. Житомирский В. К. Москва: Стройиздат, 1957. 588 с.
5. Журавський О. Д., Тимошук В. А. Розрахунок плоских залізобетонних плит, підсилених зовнішньою напруженою арматурою. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*: зб. наук. пр. Київ: КНУБА, 2017. Вип. 1. С. 193-198.

Журавський О., Тимошук В.

РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ПЛОСКИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ,  
ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ НАПРУЖЕНОЮ АРМАТУРОЮ

Під час улаштування монолітних залізобетонних плоских перекриттів часто виникають проблеми, пов'язані з понаднормовими прогинами та появами тріщин. Вони можуть виникати як під час експлуатації, так і під час будівництва. До причин, що зумовлюють надмірні прогини, можна віднести: відхилення від технології виготовлення, помилки за проектування тощо. Для великих прольотів монолітних плит (понад 6 м) рекомендують використовувати попередньо напружену арматуру. Для підсилення залізобетонних плоских плит можна використовувати зовнішню напружену арматуру, яка буде слугувати зовнішнім армуванням.

Проведено теоретичні розрахунки та експериментально підтверджено можливості зміцнення плоских залізобетонних плит із зовнішньою напруженою арматурою та вплив такого зміцнення на подальшу експлуатацію плити під збільшеним навантаженням.

Розраховано посилення прямого підкріплення, тобто підкріплення паралельно осям, для експериментальної моделі плити в масштабі 1: 6 для розрахунку використовуваного програмного комплексу Lira 9.6.

Було створено чотири моделі розрахунків: 1 – лінійний розрахунок моделі без посилення; 2 – лінійний розрахунок моделі з посиленням прямим підкріпленням; 3 – нелінійний розрахунок моделі без зміцнення; 4 – нелінійний розрахунок моделі після зміцнення. Для аналізу конструкцій перед підсиленням та розрахунку підсилення краще використовувати нелінійний метод розрахунку, оскільки він показує реальну роботу конструктивних залізобетонних елементів і дає змогу побачити повну картину деформацій, напружень та руйнувань в елементі. У майбутньому заплановано провести експериментальне дослідження та порівняти результати з теоретичним розрахунком.

Подано результати теоретичних досліджень розрахунку закріплення плоских залізобетонних плит за допомогою зовнішнього напруженого армування в лінійній та нелінійній постановці завдань та порівняно результати двох варіантів розрахунку.

**Ключові слова:** підсилення, плоска залізобетонна плита, зовнішня арматура, деформації, міцність.

**Zhuravskiy O., Tymoshchuk V.**

### **COMPUTATIONAL MODELS OF FLAT REINFORCED CONCRETE SLABS STRENGTHENED BY EXTERNAL STRESSED REINFORCEMENT**

During the arrangement of monolithic reinforced concrete flat roofs, problems with over-deflection and cracks occur. They can occur both during operation and during construction. The reasons that cause excessive deflections can be attributed to: deviation from manufacturing technology, design errors, etc. For large spans of monolithic plates (more than 6 m) it is recommended to use pre-stressed fittings. To reinforce reinforced concrete slabs you can use external tensile reinforcement, which will serve as external reinforcement.

The purpose of the dissertation research is to carry out theoretical calculations and the experimental confirmation of the possibility of strengthening the flat reinforced concrete slabs with external stressed reinforcement, and influence of such strengthening on the subsequent operation of the slab under the increased load.

The calculation strengthening of direct reinforcement was made, that is, the reinforcement were parallel to the axes, for the experimental model of the slab at a scale of 1: 6. To calculate used software suite Lira 9.6.

Four calculation models were created: 1– linear calculation of the model without strengthening; 2 – linear calculation of the model with strengthening by direct reinforcement; 3 – nonlinear calculation of the model without strengthening; 4 – nonlinear calculation of the model after strengthening. To analyze the structures before amplifying and calculating the gain, it is better to use a nonlinear calculation method, since it shows the actual work of the structural reinforced concrete elements and allows you to see the complete picture of deformations, stresses and fractures in the element. In the future, it is planned to carry out an experimental study and compare the result with the theoretical calculation.

The results of theoretical researches of the calculation of flat reinforced concrete slabs strengthening by external stressed reinforcement in linear and nonlinear formulation of problems are presented, and the results of two calculation variants are compared.

**Key words:** strengthening, flat reinforce concrete slab, external reinforcement, deformation, strength.

*Стаття надійшла 20.03.2018.*