

УДК 004.942:624.015

*А.В. Гасенко, к.т.н., доцент  
В.А. Кириченко, к.т.н., доцент  
О.А. Крупченко, к.т.н., доцент*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РЕБРИСТИХ ПЛИТ ПОКРИТТЯ**

*Наведено результати чисельного дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних ребристих плит покриття промислової будівлі розміром в плані 3×6 м. Досліджено вплив руйнування бетонного тіла основного поздовжнього ребра та поперечних ребер на несучу здатність конструкції. Зроблено висновки щодо доцільності підсилення плит сталевими профілями.*

**Ключові слова:** бетон, арматура, плити покриття, пошкодження, підсилення.

УДК 004.942:624.015

*А.В. Гасенко, к.т.н., доцент  
В.А. Кириченко, к.т.н., доцент  
А.А. Крупченко, к.т.н., доцент*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РЕБРИСТЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЙ**

*Приведены результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния поврежденных железобетонных ребристых плит покрытия промышленного здания. Исследовано влияние степени повреждения бетона основного продольного ребра и поперечных ребер на несущую способность конструкций. Сделаны выводы о целесообразности усиления плит стальными профилями.*

**Ключевые слова:** бетон, арматура, плиты покрытия, повреждения, усиление.

UDC 004.942:624.015

*A. Gasenko, PhD, Associate Professor  
V. Kyrychenko, PhD, Associate Professor  
A. Krupchenko, PhD, Associate Professor  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **NUMERICAL RESEARCHES OF STRESS-STRAIN STATE OF THE DAMAGED REINFORCE-CONCRETE RIDGE PLATES OF COVERINGS**

*Results of numerical research intense the stress-strain state of the damaged reinforce-concrete ridge plates of a covering of the industrial building are given. Influence of a damage rate of concrete of the main longitudinal edge and cross edges on bearing ability of designs is investigated. It is made conclusions about expediency of strengthening of plates steel profiles.*

**Keywords:** concrete, armature, plates of a covering, damages, strengthening.

**Вступ.** Аналіз сучасної матеріально-технічної бази народного господарства показує, що в багатьох випадках відновити виробництво, підвищити його ефективність можна за умови реконструкції існуючих будівель та споруд [1]. З іншого боку, неправильна експлуатація існуючих будівель може призвести до зниження (нижче від допустимого рівня) несучої здатності конструкцій. В обох випадках найчастіше проблему розв'язують шляхом підсилення несучих конструкцій.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій** [2, 3, 4] показав, що пошкоджені залізобетонні конструкції, як правило, підсилюються сталевими елементами (влаштуванням сталевих обойм, введенням у роботу прокатних профілів, влаштуванням шпренгельних затяжок тощо).

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** На сьогодні існує мало даних про сумісну просторову роботу сталевих конструкцій підсилення із залізобетонними конструкціями, тому вони зазвичай працюють «із запасом», тому що в більшості випадків влаштовуються конструктивно [5].

**Метою статті** є викладення результатів чисельного дослідження напружено-деформованого стану (НДС) пошкоджених ребристих залізобетонних плит покриття на предмет доцільності й ефективності їх підсилення сталевими профілями залежно від величини та місця пошкодження ребер плит.

**Основний матеріал і результати.** Чисельне моделювання НДС конструкцій було виконано в системі NASTRAN (NAsa STRuctural ANalysis) Femap 10.1.1 SC 32bit / 64 bit [6, 7] з використанням навчальної демо-версії SDRC-FEMAP 8/1a S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000. Для створення геометрії моделі спочатку створювався плоский поперечний переріз досліджуваної залізобетонної конструкції плити за допомогою прямих, що задавалися координатами вузлових точок. Об'ємна модель формувалася шляхом видовження утвореної завчасно за заданими прямими плоскої граничної поверхні на необхідну довжину моделі. Для задавання арматурних стержнів спочатку виділяли напрямні лінії розташування їх у твердому тілі (бетоні). Для цього тверде тіло різалося площинами, на перетині яких утворювалися прямі для послідовного розташування на них арматурних стержнів відповідних діаметрів.

Бетонне тіло було розбито на гексаедри зі стороною 50 мм. У бетоні виділено лінії для задавання стержнів арматури – робочої арматури поздовжніх ребер діаметром 25 мм, арматури поперечних ребер діаметром 8 мм та арматури плити діаметром 4 мм з кроком 300×300 мм.

Матеріали моделі задавалися окремо як ізотропні, а всі властивості матеріалів – у вигляді скалярних величин. Значення фізико-механічних характеристик матеріалів (модуль пружності Юнга  $E$  і коефіцієнт поперечних деформацій  $\nu$ ) та закону деформування ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) бралися згідно з

діючими нормативними документами. Третя константа – модуль зсуву  $G$  – визначалася автоматично за відомим співвідношенням між  $E$  та  $\nu$ .

Під час моделювання конструкцій плити передбачалося, що вони будуть працювати в пружно-пластичній стадії. Тому при задаванні характеристик бетону використовували криволінійну залежність «навантаження-деформації». Діаграма роботи сталі задавалася спрощеною, за допомогою діаграми Прандтля. Вважалося, що критичні руйнівні деформації бетону виникають раніше, ніж ділянка зміцнення сталі. Тому діаграма роботи сталі обривалася на ділянці текучості.

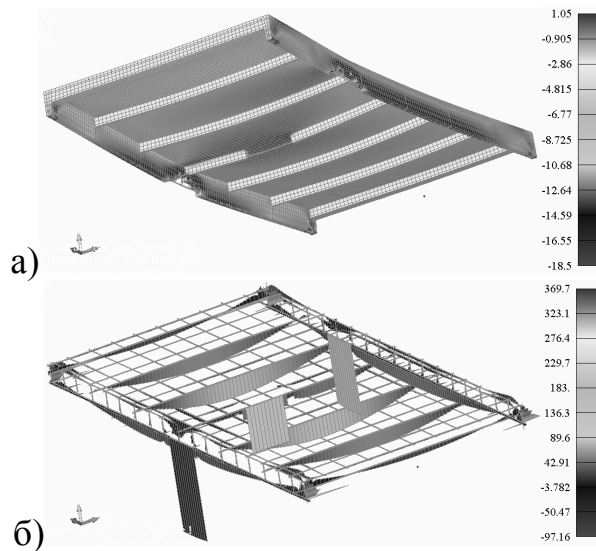
Задавання граничних умов (ступенів вільності) – в'язей, що прикладаються до конструкції. Відповіддю конструкції на прикладені навантаження є опорні реакції в точках її закріплення, де накладені граничні умови у формі фіксування певних степенів вільності моделі. До зразків прикладалися розподілені по площині граничні умови, а саме на поздовжніх ребрах плити виділялися ділянки довжиною 150 мм.

Навантаження на плиту прикладалося рівномірно розподілене по площині верхньої полицки. У збір навантажень включено тимчасове снігове навантаження, власну вагу плит покриття, шарів покрівлі й утеплення.

Виконавши розбиття моделі плити на скінченні елементи із задаванням їх індивідуальних властивостей та об'єднавши вузли арматурних стержнів з бетоном, які збігаються, спочатку було проведено чисельний розрахунок залізобетонної плити покриття без пошкодження із врахуванням нелінійної роботи матеріалів. Аналізуючи отримані розподіли напружень, можна відзначити місця концентрації напружень. Так для бетону максимальні зусилля розтягу виникають у нижній частині поздовжніх ребер посередині прольоту; максимальні зусилля стиску – в бетонній полицці посередині прольоту (близько 10 МПа); максимальні напруження розтягу у арматурні – у стержнях, розташованих у поперечних ребрах (близько 156 МПа).

Наступним етапом було моделювання напружено-деформованого стану пошкодженої плити покриття. Базуючись на результатах численних досліджень, виявили, що основним пошкодженням плити покриття було відлущування й розтріскування бетонного каменю, оголення та корозійні враження арматурних стержнів. Відповідні пошкодження змодельовані: пошкодження бетону поздовжнього ребра посередині прольоту на висоту до 150 мм з оголенням і кородуванням на 50% робочої арматури; пошкодження бетону поздовжнього ребра на відстані 1,5 м від опори на висоту до 120 мм з оголенням і кородуванням на 50% робочої арматури; пошкодження бетону поперечного ребра посередині його прольоту на всю висоту до полицки з оголенням і кородуванням на 50% робочої арматури.

Результати моделювання – напружено-деформований стан пошкодженої плити покриття – зображено на рисунку 1.



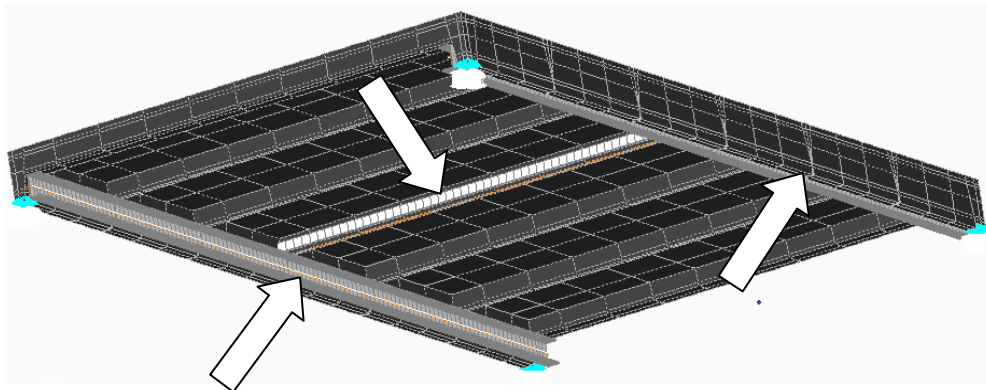
**Рис. 1. Розподіл напружень (МПа) на бетоні плити (а) та в арматурних стержнях (б) при пошкодженнях бетону ребер у розтягнутій зоні**

Як видно з наведених розподілів напружень, по довжині зменшення діаметра арматурних стержнів виникають значні, майже в чотири рази більші за загальні, концентрації напружень, що сягають межі текучості сталі 370 МПа (див. рис. 1, б). За рахунок цього в бетоні у місцях пошкодження розтягнута зона заходить майже до верху перерізу плити – до полицки (рис. 1, а), що свідчить про фактичне загальне руйнування плити покриття.

Наступним етапом роботи було розроблення моделі пошкодженої плити покриття з підсиленням. Конструкція підсилення поздовжніх ребер являла собою встановлення додаткових прокатних швелерів № 14 площиною максимальної жорсткості у створі згину паралельно поздовжніх ребер із внутрішньої їх сторони, а підсилення поперечних ребер – установлення прокатних швелерів № 10 площиною мінімальної жорсткості у створі згину. Порядок проведення підсилення такий:

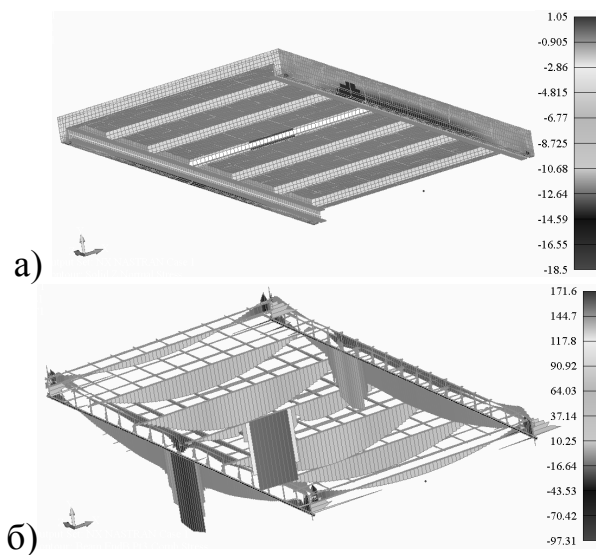
- з боків суміжних поздовжніх ребер двох сусідніх плит підводяться швелери № 14, довжина яких відповідає довжині плити, їх кінці спираються на кроквяні конструкції;
- до торців швелерів приварюються пластини, котрі повинні об'єднати обидва швелери і щільно прилягати до торців поздовжнього ребра;
- під поздовжніми ребрами до швелерів приварюються пластини;
- під поперечні ребра підводяться швелери № 10 та їх кінці заводяться на швелери № 14 підсилення поздовжніх ребер;
- опорні місця швелерів № 10 підклинюються сталевими пластинами для включення в роботу.

Розроблену модель пошкодженої плити з конструкцією підсилення показано на рисунку 2. Темним кольором виділено плиту покриття, а світлим – профілі підсилення.



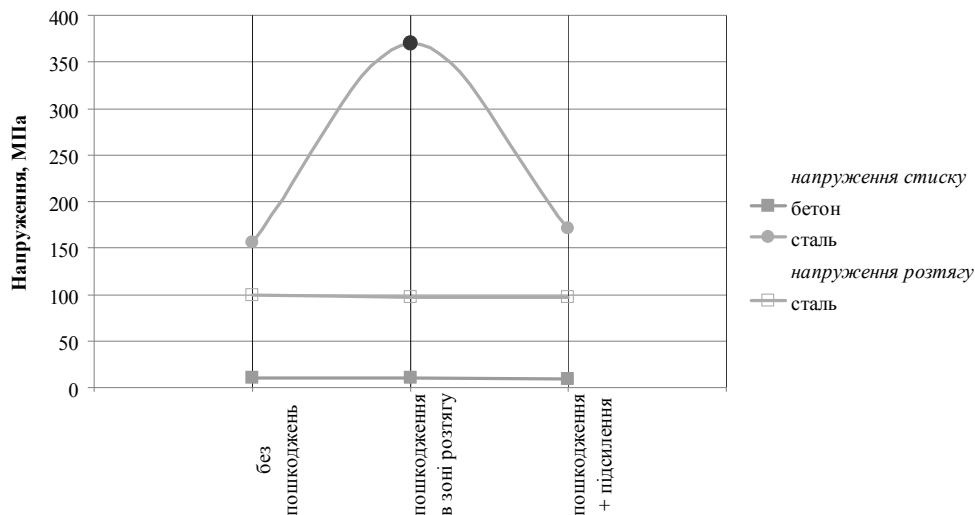
**Рис. 2. Конструкція підсилення пошкодженої плити покриття**

Результати моделювання напружено-деформованого стану пошкодженої плити з конструкцією підсилення показано на рисунку 3.



**Рис. 3. Розподіл напружень (МПа) на бетоні (а) та в арматурних стержнях (б) підсиленої плити**

За наведеними на рисунку 3 діаграмами розподілу напружень видно, що бетонна поличка плити повністю стиснута з напруженнями до 10 МПа. Максимальні напруження розтягу в арматурі дорівнюють 172 МПа. Це доводить можливість подальшої безаварійної роботи підсиленої плити перекриття. При цьому слід відмітити, що вага сталі такого підсилення становить близько 200 кг. На рисунку 4 наведено графік різкого збільшення напружень у плиті з корозійними пошкодженнями арматури та виколами бетону.



**Рис. 4. Зміна напружень у плиті з різними пошкодженнями чи підсиленнями**

**Висновки.** У результаті проведення чисельного дослідження НДС пошкодженої плити перекриття встановлено, що виколи бетону в ребрах плити, оголення та кородування до 50% площі робочої арматури приводять до концентрованого збільшення напружень розтягу в арматурі до межі текучості, а також недопустимого переміщення нульової лінії в поличку плити. Улаштування підсилення сталевими профілями дозволяє розвантажити пошкоджену робочу арматуру та доводить можливість подальшої безаварійної роботи підсиленої плити перекриття.

#### Література

1. Реконструкція сільськогосподарських зданий і споруджень: справочник / [Вахненко П.Ф., Вахненко В.П., Гармаш Ю.Д. і др.], под ред. П.Ф. Вахненко. – К.: Урожай, 1993. – 280 с.
2. Залізобетонні конструкції / П.Ф. Вахненко, А.М. Павліков, О.В. Горик, В.П. Вахненко. – К.: Вища школа, 2000. – 508 с.
3. ДБН В 1.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих та огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд (затверджено наказом Держбуду України від 02.12.2002 № 85). – К.: НДІБВ Держбуду України, 2003. – 164 с.
4. Клименко, Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд / Є.В. Клименко. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 304 с.
5. Клименко, Ф.Е. Внешнее армирование железобетонных элементов полосовой арматурой гладкого и периодического профиля / Ф.Е. Клименко // Изв. вузов. Сер.: Строительство и архитектура, 1981. – С. 25 – 29.
6. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошной среды / О.С. Зенкевич, И. Чанг. – М.: Недра, 1974. – 238 с.
7. Мусинова В.Ц. MSC/NASTRAN. Руководство пользователя – The MacNeal-Schwendler Corp, 1995. – 188 с.

Надійшла до редакції 16.09.2013

© А.В. Гасенко, В.А. Кириченко, О.А. Крупченко