

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.012.44-044.923:519.872

О. Г. ФЕНКО<sup>1\*</sup>, В. А. КИРИЧЕНКО<sup>2</sup>, А. М. ПАЩЕНКО<sup>3</sup>, О. А. КРУПЧЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011, тел. +38 (097) 359 06 18, ел. пошта fenko.aleksey@gmail.com, ORCID 0000-0002-3175-2892

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011, ORCID 0000-0001-9018-842X

<sup>3</sup> Кафедра будівельної та теоретичної механіки, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011, ORCID 0000-0002-6562-0046

<sup>4</sup> Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», вул. Преображенська, 5/2, м. Київ, Україна, 03037, ORCID 0000-0002-6075-5937

### СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОШКОДЖЕНЬ БАЛОК НА ЗАГАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ СТАН МОНОЛІТНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ

**Мета.** Виконати моделювання задля оцінки впливу корозійних пошкоджень арматури балок монолітного залізобетонного перекриття на несучу здатність перекриття одиничної ширини та перекриття загалом. **Методика.** Дослідженню підлягало вбудоване монолітне залізобетонне перекриття котельні із габаритними розмірами 12×12 м. Сітка колон – 6×6 м. Досліджувалося пошкодження у вигляді повного руйнування захисного шару бетону однієї з 12 другорядних балок та корозійні пошкодження до 30 % її несучих арматурних стержнів. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій виконано в учбовій версії системи NASTRAN Femap 10.1.1 SC 32bit. Проведено два типи розрахунку: 1) розрахунок плити одиничної ширини (згідно діючих нормативних документів); 2) розрахунок всього залізобетонного перекриття (із врахуванням його сумісної роботи). **Результати.** Визначено наступне: розрахунок № 1 доводить необхідність влаштування підсилення пошкодженої другорядної балки монолітного залізобетонного перекриття. Після влаштування підсилення обоймою з кутиків другорядної балки зменшуються напруження як в бетоні, так і в арматурних стержнях до рівня напружень в непошкодженій плиті. Розрахунок № 2 показує, що підсилення обоймою з кутиків другорядної балки із пошкодженими корозією арматурними стержнями із врахуванням сумісної роботи всієї плити не є потрібним. **Наукова новизна.** Виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану залізобетонної плити одиничної ширини із врахуванням пошкодження та всієї монолітної залізобетонної плити, а також проаналізовано отримані результати. **Практична значимість.** Наведено короткий порядок створення моделей залізобетонних конструкцій та їх скінченно-елементного аналізу.

**Ключові слова:** монолітне залізобетонне перекриття; корозійні пошкодження арматурних стержнів; чисельне моделювання методом скінченних елементів

#### Вступ

У процесі обстежень будівельних конструкцій можуть бути виявлені дефекти – небажані відхилення конструктивної форми, властивостей матеріалу, геометричних розмірів і т.д. від проектною чи нормативною документації; а також пошкодження, які з'явилися на стадії виробництва (проекування, виготовлення, транспортування і монтажу) та на стадії експлуатації [2].

Перевірочний розрахунок конструкцій з врахуванням впливу дефектів та пошкоджень виконується з метою встановлення [3]:

- можливості подальшої експлуатації конструкцій без будь-яких обмежень;
- необхідності підсилення конструкцій;
- можливості обмежень експлуатації конструкцій до планових ремонтно-поновлюваних робіт;
- необхідності зупинки експлуатації для ліквідації аварійної ситуації.

Комп'ютерне моделювання за допомогою пакетів комерційних програм (ANSYS, NASTRAN, SCAD, Cosmos, ASKA, ЛИРА, МОНОМАХ і ін.) призначене для чисельного дослідження на електронно-обчислювальних машинах напружено-деформованого стану,

стійкості конструкцій в цілому і їх елементів та виявлення небезпечних місць концентрації напружень. Таке комп'ютерне дослідження дозволяє моделювати реальну роботу будівельних конструкцій із врахуванням їх пошкоджень [1].

### Аналіз останніх досліджень

Одними із основних будівельних матеріалів пострадянських будівель є бетон та арматура [5]. На протязі багатьох років сумісне використання цих матеріалів дозволило швидко та надійно проводити спорудження будівель і споруд різного характеру й призначення [4].

Сьогодні значна частина будівельних робіт виконується під час реконструкції чи капітального ремонту будівель та споруд. Проведення таких робіт пов'язано із фізичним або моральним старінням конструктивних елементів.

Одним з основних видів пошкоджень залізобетонних конструкцій є порушення цілісності захисного шару бетону та, як наслідок, враження корозією стержнів арматурного каркасу конструкцій (рис. 1) [10].



Рис. 1. Корозія арматури балки монолітного перекриття

### Постановка проблеми

Недостатньо дослідженим є вплив перерозподілу напружень між балками часторебристого монолітного залізобетонного перекриття під час пошкоджень однієї з них на його загальну несучу здатність.

### Мета

Виконати моделювання задля оцінки впливу корозійних пошкоджень арматури балок монолітного залізобетонного перекриття на несучу

здатність перекриття одиничної ширини та перекриття загалом.

### Методика

Дослідженню підлягало вбудоване монолітне залізобетонне перекриття котельні із габаритними розмірами 12×12 м. Загальний вигляд перекриття показаний на рисунку 2. Сітка колон – 6×6 м. Досліджувалося пошкодження у вигляді повного руйнування захисного шару бетону однієї з 12 другорядних балок та корозійні пошкодження до 30 % її несучих арматурних стержнів (див. рис. 1).

Чисельне моделювання напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій було виконано в системі NASTRAN (Nasa STRuctural ANalysis) Femap 10.1.1 SC 32bit / 64 bit. Використовувалася учбова демо-версія SDRС-FEMAP 8/1a S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000. Ця програма скінченно-елементного аналізу розроблена компанією MacNealSchwendler Software – MSC. Software Corporation, що являється визнаним лідером у даному напрямку. У результаті великого попиту щодо інструкцій по користуванню даної програми, було опубліковано ряд книг, статей і рекомендацій [6, 7].

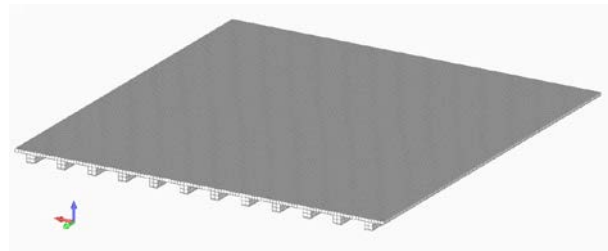


Рис. 2. Загальний вигляд монолітного залізобетонного перекриття

Одним із основних факторів, що впливають на точність та збіжність отриманих результатів розрахунку, а також на час створення об'ємної скінченно-елементної моделі та необхідний дисковий простір для проведення ПК NASTRAN розрахунку, є тип та розміри скінченних елементів. Порівняння ефективності розміру та типу скінченних елементів наведених на рисунку 3.

За результатами аналізу для створення об'ємної скінченно-елементної сітки зразків було прийнято використовувати трьохвимірні об'ємні елементи типу solid у формі гексаєдрів з розміром сторони 10 мм.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

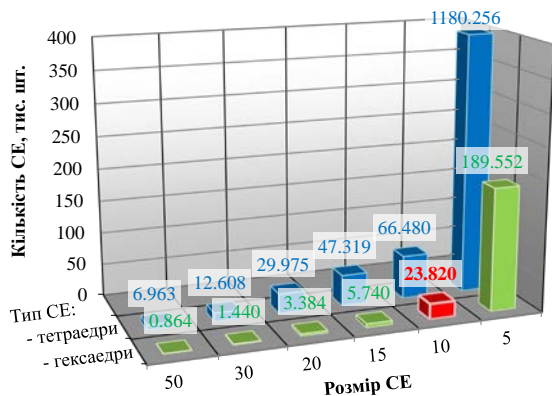


Рис. 3. Порівняння ефективності розмірів і типу скінченних елементів

Серед фізико-механічних характеристик матеріалів – сталі та бетону – обов'язковими були модуль пружності Юнга  $E$  і коефіцієнта поперечних деформацій  $\nu$ , а також закон деформування  $\sigma$ - $\epsilon$ .

Після проведення розрахунку були отримані діаграми розподілу напружень та деформацій, по яким виконувався аналіз напружено-деформованого стану досліджуваних моделей.

### Результати

Спочатку було проведено чисельний розрахунок залізобетонної плити одиничної ширини без пошкодження. Розрахункова схема такої плити показана на рисунку 4.

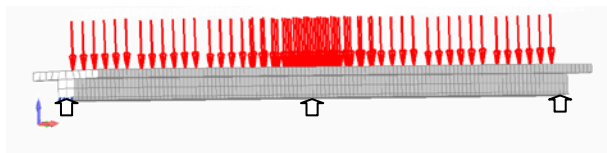


Рис. 4. Схема завантаження та закріплення моделі залізобетонної плити одиничної ширини

За результатами розрахунку отримано, що найбільші напруження в стиснутій зоні бетону рівні  $-7,0$  МПа; найбільші напруження у розтягнутих стержнях арматури –  $+61,55$  МПа, у стиснутих –  $-76,24$  МПа (рис. 5). Максимальний прогин при цьому посередині прольоту рівний  $3,58$  мм.

Наступним етапом було моделювання пошкодження другорядної балки плити перекриття у вигляді “збитого” бетону на глибину до  $50$  мм та оголення і враження корозією робочої поздовжньої арматури на довжині  $1000$  мм

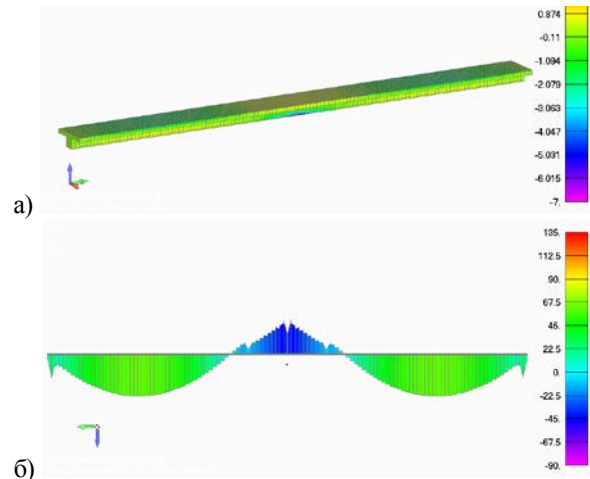


Рис. 5. Розподіл нормальних до поздовжньої осі напружень (МПа) у бетоні (а) та еюра напружень (МПа) у робочій поздовжній арматурі (б) для плити одиничної ширини без пошкодження

За результатами даного розрахунку отримано, що найбільші напруження в стиснутій зоні бетону рівні –  $8,95$  МПа; найбільші напруження у розтягнутих стержнях арматури –  $+134$  МПа, у стиснутих –  $-113,5$  МПа (рис. 6). Максимальний прогин при цьому посередині прольоту рівний  $6,87$  мм.

Далі було виконано моделювання підсилення пошкодженої другорядної балки – влаштування обойми по кутам балки із рівнополичкових кутників, які скріплювалися за допомогою горизонтальних накладок. За результатами даного розрахунку отримано, що найбільші напруження в стиснутій зоні бетону рівні –  $6,66$  МПа; найбільші напруження у розтягнутих стержнях арматури (із врахуванням підсилення) –  $+62,4$  МПа, у стиснутих –  $-83,2$  МПа. Максимальний прогин при цьому посередині прольоту рівний  $3,66$  мм.

Під час розрахунку несучої здатності **всього залізобетонного перекриття**, спочатку було проведено чисельний розрахунок залізобетонної плити без пошкодження. За результатами розрахунку отримано, що найбільші напруження в стиснутій зоні бетону рівні –  $7,65$  МПа; найбільші напруження у розтягнутих стержнях арматури –  $+62,5$  МПа, у стиснутих –  $-78,6$  МПа (рис. 7). Максимальний прогин при цьому посередині прольоту рівний  $3,77$  мм.

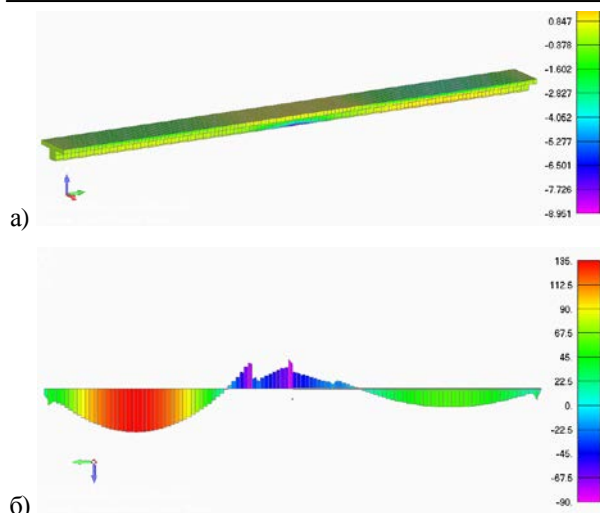


Рис. 6. Розподіл нормальних до поздовжньої осі напружень (МПа) у бетоні (а) та епюра напружень (МПа) у робочій поздовжній арматурі (б) для плити одиничної ширини з корозійними пошкодження робочої арматури

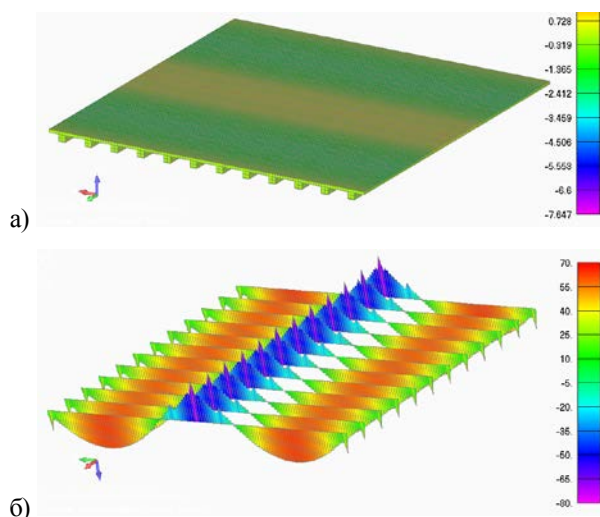


Рис. 7. Розподіл нормальних до поздовжньої осі напружень (МПа) у бетоні (а) та епюра напружень (МПа) у робочій поздовжній арматурі (б) для всієї плити перекриття без пошкодження

Наступним етапом було моделювання пошкодження *однієї* другорядної балки плити перекриття у вигляді «збитого» бетону на глибину до 50 мм та оголення і враження корозією робочої поздовжньої арматури на довжині 1000 мм. За результатами даного розрахунку отримано, що найбільші напруження в стиснутій зоні бетону рівні  $-7,67$  МПа; найбільші напруження у розтягнутих стержнях арматури –  $+67,8$  МПа, у стиснутих –  $-79,3$  МПа (рис. 8).

Максимальний прогин при цьому посередині прольоту рівний  $3,99$  мм.

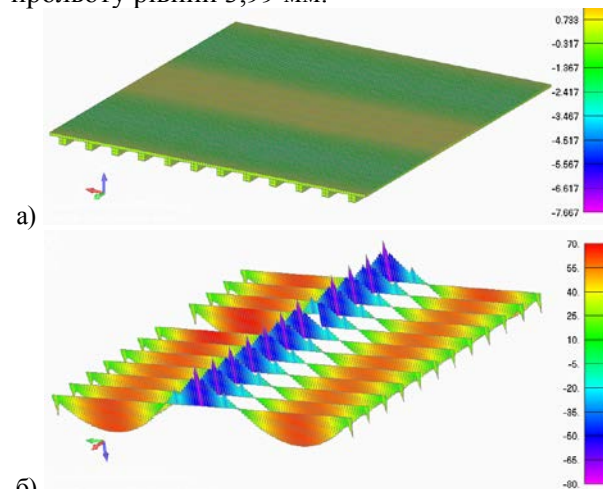


Рис. 8. Розподіл нормальних до поздовжньої осі напружень (МПа) у бетоні (а) та епюра напружень (МПа) у робочій поздовжній арматурі (б) для всієї плити перекриття з корозійними пошкодження робочої арматури однієї балки

#### Наукова новизна та практична значимість

Аналізуючи розподіли напружень у бетоні трьох описаних вище моделей плити одиничної ширини, можна зазначити, що корозійні пошкодження робочої арматури приводять до збільшення напружень в бетоні на 22%. При цьому значення напружень ( $8,95$  МПа) перевищують розрахунковий опір бетону класу С15 ( $8,5$  МПа). Це доводить необхідність влаштування підсилення пошкодженої другорядної балки монолітного залізобетонного перекриття. Після влаштування підсилення напруження у бетоні ( $6,66$  МПа) знаходяться в допустимих межах.

Аналізуючи розподіли напружень у робочій поздовжній арматурі, можна зазначити, що корозійні пошкодження робочої арматури приводять до збільшення напружень в ній у 2,2 раза. Після влаштування підсилення напруження у арматурі зменшуються практично до значень напружень у плиті без пошкоджень.

Зміна прогинів для трьох модельованих варіантів плит аналогічна до зміни напружень: із врахуванням пошкодження арматурних стержнів прогини збільшуються у 1,9 раза, а після влаштування підсилення практично рівні прогинам плити без пошкоджень.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Аналізуючи розподіли напружень у бетоні із **врахуванням сумісної роботи всього перекриття**, можна зазначити, що корозійні пошкодження робочої арматури приводять до збільшення напружень в бетоні на 0,26 %. При цьому значення напружень у пошкодженій балці (7,67 МПа) не перевищують розрахунковий опір бетону класу С15 (8,5 МПа). Це доводить непотрібність влаштування підсилення пошкодженої другорядної балки монолітного залізобетонного перекриття.

Аналізуючи розподіли напружень у робочій поздовжній арматурі, можна зазначити, що корозійні пошкодження робочої арматури приводять до збільшення напружень в ній на 7,82 %.

Зміна прогинів для двох модельованих варіантів плит аналогічна до зміни напружень: із врахуванням пошкодження арматурних стержнів прогини збільшуються на 5,52 %.

## Висновки

У результаті проведення чисельного дослідження напружено-деформованого стану залізобетонної плити одиначної ширини із врахуванням пошкодження виявлено, що значення напружень в бетоні (8,95 МПа) перевищують розрахунковий опір бетону класу С15 (8,5 МПа). Це доводить необхідність влаштування підсилення пошкодженої другорядної балки монолітного залізобетонного перекриття. Після влаштування підсилення обіймою з кутиків другорядної балки зменшують напруження як в бетоні, так і в арматурних стержнях до рівня напружень в непошкодженій плиті.

У результаті проведення чисельного дослідження напружено-деформованого стану всієї монолітної залізобетонної плити із врахуванням пошкодження з'ясовано, що влаштування підсилення обіймою з кутиків другорядної балки із корозійно пошкодженими арматурними стержнями із врахуванням сумісної роботи всієї плити не є потрібним.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гасенко, А. В. Прогнозування напружено-деформованого стану стиснутих залізобетонних елементів шляхом комп'ютерного моделювання [Текст] / А. В. Гасенко, П. А. Юрко // Вісник СНАУ. Серія: Будівництво. – Суми, 2014. – Вип. 10 (18). – С. 85-90.

2. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. [Текст]. – Надано чинності 2017-01-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. – 80 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Текст]. – Надано чинності 2017-01-04. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
4. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь. – 600 с.
5. Перельмутер, А. В. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні [Текст] / А. В. Перельмутер, В. М. Гордєєв, Є. В. Горохов. – Київ : Сталь, 2002. – 166 с.
6. Рычков, С. П. MSC visual NASTRAN для Windows [Текст] / С. П. Рычков. – Москва : ИТ Пресс, 2004. – 552 с.
7. Семко, О. В. Особливості моделювання напружено-деформованого стану легких сталевих тонкостінних конструкцій [Текст] / О. В. Семко, А. В. Гасенко, Д. М. Лазарєв, Ю. О. Авраменко // Вісник ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 39. – С. 191-194.
8. Bowmen, E. T. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice [Text] / E. T. Bowmen, R. J. Fannin // Proc. of the 18th Inter. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovation in Geotechnics. – Paris, France : Press and Ponts Publ., 2013. – pp. 2137-2144.
9. Dębski, H. Application of fem in the analysis of the structure of a trailer supporting frame with variable operation parameters [Text] / H. Dębski, G. Kozalka, M. Ferdynus // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. 2012. – Vol. 14, № 2 – pp. 107-114. DOI: dx.doi.org/10.17531/ein.
10. Hasenko, A. V. Typical damages of the polyhedral void reinforced concrete poles for yard overhead transmission lines [Text] / A. V. Hasenko, V. N. Rozhko // Collection of scientific papers by materials of IX International Scientific and Practical Conference “Problems and prospects of development of academic and university science” 7–9 December 2016. – Poltava : PoltNTU, 2016. – pp. 263-267.
11. Kluchnik, S. V. Stress-strain state of beam staged connection point of the railway bridge track-way [Text] / S. V. Kluchnik, K. I. Hladka, N. P. Bocharova // Science and Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University

- of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – Dnepr, 2017. – Vol. 3 (69). – P. 160-170. – Access Mode: DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/104762>
12. Kovalenko, V. V. The causes study of the premature destruction of the concrete sleepers on the znamenka track of the if10 of the odessa railway [Text] / V. V. Kovalenko, Y. L. Zayats, P. O. Pshinko // Science and Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – Dnipropetrovsk, 2015. – Vol. 6 (60). – pp. 149-163. – Access Mode: DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/57100>
13. Marinichenko, O. H. Dynamic behavior of two-span continuous concrete bridges under moving of high-speed trains [Text] / O. H. Marinichenko // Science and Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – Dnepr, 2017. – Vol. 5 (71). – pp. 124-130. – Access Mode: DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/115385>

А. Г. ФЕНКО<sup>1\*</sup>, В. А. КИРИЧЕНКО<sup>2</sup>, А. Н. ПАЩЕНКО<sup>3</sup>, А. А. КРУПЧЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011 тел. +38 (097) 359 06 18, эл. почта [fenko.aleksey@gmail.com](mailto:fenko.aleksey@gmail.com), ORCID 0000-0002-3175-2892

<sup>2</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011, ORCID 0000-0001-9018-842X

<sup>3</sup> Кафедра строительной и теоретической механики, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011, эл. почта [ram\\_docent@ukr.net](mailto:ram_docent@ukr.net), ORCID 0000-0002-6562-0046

<sup>4</sup> Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», ул. Преображенская, 5/2, г. Киев, Украина, 03037, ORCID 0000-0002-6075-5937

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ БАЛОК НА ОБЩЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

**Цель.** Выполнить моделирование для оценивания влияния коррозионных повреждений арматуры балок монолитного железобетонного перекрытия на несущую способность перекрытия единичной ширины и перекрытия в целом. **Методика.** Исследованию подлежало встроенное монолитное железобетонное перекрытие котельной с габаритными размерами 12×12 м. Сетка колон – 6×6 м. Исследовалось повреждение в виде полного разрушения защитного слоя бетона одной из 12 второстепенных балок и коррозионного повреждения до 30 % ее несущих арматурных стержней. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций выполнено в учебной версии системы NASTRAN Femap 10.1.1 SC 32bit. Проведено два типа расчета: 1) расчет плиты единичной ширины (в соответствии с действующими нормативными документами); 2) расчет всего железобетонного перекрытия (с учетом его совместной работы). **Результаты.** Выявлено следующее: расчет № 1 доказывает необходимость обустройства усиления поврежденной второстепенной балки монолитного железобетонного перекрытия. После устройства усиления обоймой из уголков второстепенной балки уменьшается напряжение как в арматуре, так и в арматурных стержнях до уровня напряжений в неповрежденной плите. Расчет № 2 показывает, что обустройство усиления обоймой из уголков второстепенной балки с поврежденными от коррозии арматурными стержнями с учетом совместной работы всей плиты не нужен. **Научная новизна.** Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонной плиты единичной ширины с учетом повреждений и всей монолитной железобетонной плиты, а также проанализированы полученные результаты. **Практическая значимость.** Приведен коротко порядок создания моделей железобетонных конструкций и их конечно-элементный анализ.

**Ключевые слова:** монолитное железобетонное перекрытие; коррозионные повреждения арматурных стержней; численное моделирование методом конечных элементов

А. G. FENKO<sup>1\*</sup>, V. A. KIRICHENKO<sup>2</sup>, A. N. PASHCHENKO<sup>3</sup>, A. A. KRUPCHENKO<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Department of Reinforced Concrete and Stone Structures and Resistance of Materials, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Pervomaisky Avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, tel. +38 (097) 359 06 18, e-mail fenko.aleksey@gmail.com, ORCID 0000-0002-3175-2892

<sup>2</sup> Department of Reinforced Concrete and Stone Structures and Resistance of Materials, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Pervomaisky Avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, ORCID 0000-0001-9018-842X

<sup>3</sup> Department of Construction and Theoretical Mechanics, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Pervomaisky Avenue, 24, Poltava, Ukraine, 36011, e-mail pam\_docent@ukr.net, ORCID 0000-0002-6562-0046

<sup>4</sup> State Enterprise State Research Institute of Building Structures, Preobrazhenskaya str., 5/2, Kyiv, Ukraine, 03037, ORCID 0000-0002-6075-5937

## FINITE-ELEMENTAL ANALYSIS OF INFLUENCE OF DAMAGES OF BEAMS ON THE GENERAL TECHNICAL CONDITION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE

**Purpose.** To perform a simulation to estimate the impact of corrosion damage to the reinforcement of monolithic reinforced concrete flooring on the bearing capacity of a unit width of overlap and overlap in general. **Methodology.** The integral monolithic reinforced concrete overlay of the boiler house with overall dimensions of  $12 \times 12$  m was to be investigated. The grid of the column was  $6 \times 6$  m. The damage in the form of complete destruction of the protective layer of concrete of one of the 12 secondary beams and corrosion damage to 30% of its bearing reinforcing bars was investigated. Numerical simulation of stress-strain state of reinforced concrete structures was performed in the training version of the NASTRAN Femap 10.1.1 SC 32bit system. Two types of calculation are carried out: 1) calculation of a plate of unit width (in accordance with current regulatory documents); 2) calculation of the entire reinforced concrete floor (taking into account its joint work). **Findings.** The following is revealed: calculation № 1 proves the necessity of arrangement of strengthening of damages of a secondary beam of monolithic reinforced concrete floor. After the device is strengthened by the cage from the corners of the secondary beam, the stress is reduced both in the reinforcement and in the reinforcing bars to the stress level in the undamaged slab. Calculation № 2 shows that the arrangement of reinforcement of the clip from the corners of the secondary beam with cored reinforcing bars, taking into account the joint work of the whole plate, is not needed. **Originality.** Numerical modeling of the stressed-deformed state of reinforced concrete slab of unit width taking into account damages and the entire monolithic reinforced concrete slab is carried out, and the obtained results are analyzed. **Practical value.** The order of creation of models of reinforced-concrete designs and their finite element analysis is briefly given.

**Key words:** monolithic reinforced concrete overlap; corrosion damage of reinforcing bars; numerical simulation by the finite element method

### REFERENCES

1. Hasenko A. V., Yurko P. A. Prohnozuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu stysnutykh zalizobetonnykh elementiv shlyakhom komp'yuternoho modelyuvannya [Forecasting of strained-deformed state of compressed reinforced concrete elements by computer simulation]. *Visnyk SNAU. Seriya: Budivnytstvo – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Construction*, 2014, issue 10 (18), pp. 85-90.
2. DSTU B V.2.6-210:2016. *Otsinka tekhnichnoho stanu stalevykh budivelnykh konstrukttsii, shcho ekspluatuiutsia*. Kyjiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2017. 80 p.
3. DSTU-N B V.1.2-18:2016. *Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu*. [Guidelines for the inspection of buildings and structures for the determination and evaluation of their technical condition]. Kyjiv, DP «UkrNDNTs» Publ., 2017. 44 p.
4. Perel'muter A. V., Slivker V. I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost' ih analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis]. Kiev, Stal' Publ. 600 p.
5. Perel'muter A. V., Hordyeyev V. M., Horokhov YE. V. Stan ta zalyshkovyy resurs fondu budivel'nykh metalevykh konstrukttsiy v Ukrayini [Status and the residual life of the fund of building metal constructions in Ukraine]. Kyjiv, Stal' Publ., 2002. 166 p.
6. Rychkov S.P. *MSC visualNASTRAN dlya Windows* [MSC visualNASTRAN for Windows]. Moscow, 2004, 552 p.
7. Semko O. V., Hasenko A. V., Lazaryev D. M., Avramenko YU. O. Osoblyvosti modelyuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu lehkyykh stalevykh tonkostinnykh konstrukttsiy [Features of the simulated stress-strain state of light steel thin-walled structures]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho*

- transportu imeni akademika V. Lazariana – Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2011, issue 39. pp. 191-194.
8. Bowmen E. T., Fannin R. J. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice. Proc. of the 18th Inter. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovation in Geotechnics. – Paris, France, Press and Pons Publ., 2013. pp. 2137-2144.
  9. Dębski H., Koszałka G., Ferdynus M. Application of fem in the analysis of the structure of a trailer supporting frame with variable operation parameters. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2012, Vol. 14, № 2. pp. 107-114. DOI: [dx.doi.org/10.17531/ein](https://doi.org/10.17531/ein)
  10. Hasenko A. V., Rozhko V. N. Typical damages of the polyhedral void reinforced concrete poles for yard overhead transmission lines. Collection of scientific papers by materials of IX International Scientific and Practical Conference “Problems and prospects of development of academic end university science”, 7-9 December, 2016. Poltava, PoltNTU Publ., 2016. pp. 263-267.
  11. Kluchnik S. V., Hladka K. I., Bocharova N. P. Stress-strain state of beam staged connection point of the railway bridge track-way. *Science and Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. Dnepr, 2017. Vol. 3 (69). pp. 160-170. Access Mode: DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/104762>
  12. Kovalenko V. V., Zayats Y. L., Pshinko P. O. The causes study of the premature destruction of the concrete sleepers on the znamenka track of the if10 of the odessa railway. *Science and Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. Dnipropetrovsk, 2015. Vol. 6 (60). pp. 149-163. Access Mode: DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/57100>
  13. Marinichenko O. H. Dynamic behavior of two-span continuous concrete bridges under moving of high-speed trains. *Science and Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. Dnepr, 2017. Vol. 5 (71). pp. 124-130. Access Mode: DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/115385>

Надійшла до редколегії 19.10.2018.

Прийнята до друку 26.11.2018.