

# Чисельне моделювання процесу руйнування залізобетонних балок монолітного огороження та його посилення вуглецевими матеріалами

Володимир Чирва<sup>1</sup>, Тетяна Чирва<sup>2</sup>, Олександр Панченко<sup>3</sup>,  
Андрій Савченко<sup>4</sup>, Катерина Романенко<sup>5</sup>

<sup>1,4</sup>ТОВ «Придніпров'я»

[vlad.chyryva@gmail.com](mailto:vlad.chyryva@gmail.com)

[pridnepr.pr@gmail.com](mailto:pridnepr.pr@gmail.com)

<sup>2,3</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури

31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

[tetyana.chyryva@gmail.com](mailto:tetyana.chyryva@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-6657-5443>

<sup>3</sup>ТОВ «Сіка Україна»

9 Б, вул. Смольна, Київ, Україна, 03022

[panchenko.aleksandr@ua.sika.com](mailto:panchenko.aleksandr@ua.sika.com), <http://orcid.org/0000-0003-16340715>

<sup>5</sup>Криворізький національний університет

11, вулиця Віталія Матусевича, Кривий Ріг, Дніпропетровська область, Україна, 50027

[renkr83@gmail.com](mailto:renkr83@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-2861-5595>

DOI: 10.32347/2522-4182.6.2020.34-41

**Анотація.** На стадії будівництва багатопверхового будинку в м. Київ на залізобетонних балках монолітного огороження були виявлені тріщини. Причина їх виникнення не була з'ясована забудовником. Тому авторами були висунуті й змодельовані в програмному комплексі "ЛИРА 2013" деякі припущення щодо їх появи.

Метою досліджень було визначення напружено-деформованого стану (ширини розкриття тріщин та прогинів конструкцій), порівняння отриманих результатів з фактичними даними та надання рекомендацій щодо ремонтних заходів.

Аналізуючи можливі причини виникнення дефектів та дійсних прогинів балок авторами було зроблено припущення, що підпірні стойки опалубки ригелів були зняті до бетонування парапетів та набору міцності бетону, а проектну міцність бетон набрав після отримання прогинів та утворення тріщин.

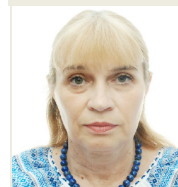
Отримані розрахункові результати звірені з фактичними даними та підтверджують наведену вище гіпотезу і дозволяють визначити необхідні місця установки елементів підсилення із вуглепластикових ламелей.

Виходячи із аналізу напружено-деформованого стану (ширини розкриття тріщин та прогинів конструкцій) авторами статті



**Володимир Чирва**

Інженер  
к.т.н., доцент



**Тетяна Чирва**

доцент кафедри архітектури  
к.т.н., доцент



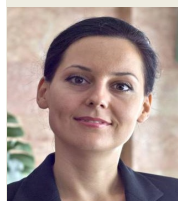
**Олександр Панченко**

Директор ТОВ «Сіка Україна»,  
асистент кафедри  
залізобетонних та кам'яних  
конструкцій  
к.т.н.



**Андрій Савченко**

Головний інженер



**Катерина Романенко**

старший викладач кафедри  
прикладної механіки та загальноінженерних дисциплін  
к.т.н.

рекомендовано виконати посилення розтягнутих зон балок, колони та парапетів наклеюванням вуглепластикових ламелей із попереднім надійним закриттям тріщин методом ін'єктування тиксотропними епоксидними смолами.

**Ключові слова.** Обстеження, руйнування, моделювання, розрахунок, підсилення.

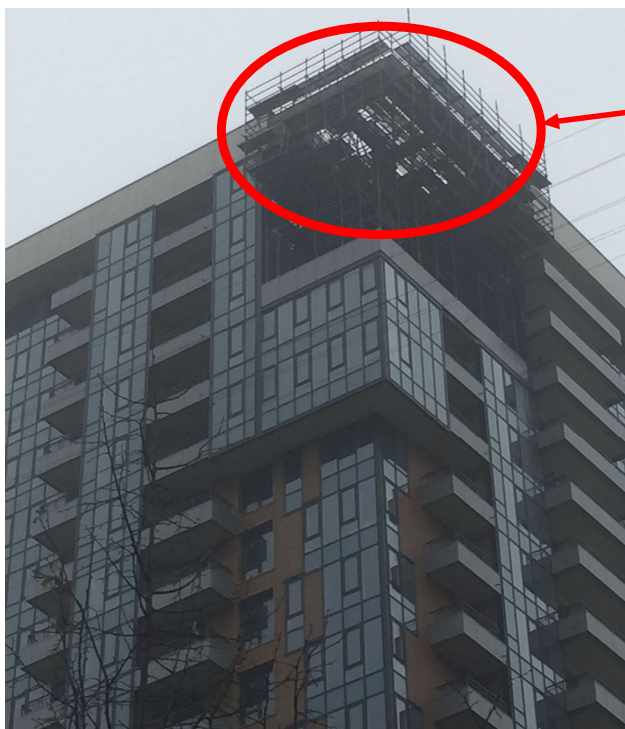
## ВСТУП

В конструктивних елементах нетипового архітектурного рішення багатоповерхового житлового будинку (див. рис. 1) у вигляді залізобетонних консольних перекресних балок на стадії будівництва виникли дефекти і пошкодження. З'ясуванню причин виникнення тріщин в бетоні, а також чисельне моделюванню багатьох процесів, які до цього призво-

дять присвячені роботи багатьох науковців світу [1-16]. Виявлені авторами представленої статті дефекти в подальшому впливатимуть на міцність і довговічність будівельної конструкції - саме тому актуальність питання їх усунення не викликає сумнівів.

Пошкодження представлені у вигляді нормальних і похилих тріщин локалізованих більшою мірою в розтягненій зоні конструкції (див. рис. 2-3), а також поверхневого розтріскування на конструкціях парапетів.

Слід зауважити, що причина виникнення тріщин не була з'ясована забудовником. Тому актуальним постає питання виявлення факторів, які цьому сприяли а також надання рекомендацій щодо підсилення балок.



Обстежувані балки

**Рис. 1.** Загальний вигляд ділянки обстеження.  
**Fig. 1.** General view of the survey area.



**Рис. 2.** Поверхнє розтріскування залізобетонної балки.  
**Fig. 2.** Surface cracking of reinforced concrete beam.



**Рис. 3.** Вертикальні та похилі тріщини в консольних балках.  
**Fig. 3.** Vertical and inclined cracks in cantilever beams.

## МЕТА І МЕТОДИ

Метою досліджень було визначення напружено-деформованого стану (ширини розкриття тріщин та прогинів конструкцій), порівняння отриманих результатів з фактичними даними та надання рекомендацій щодо ремонтних заходів. Напружено-деформований стан визначався в комплексі “ЛИРА 2013” та як цей багатофункціональний програмний комплекс, орієнтований на проектування й розрахунок будівельних конструкцій різного призначення на статичні й динамічні навантаження, надає візуалізацію на кожному етапі розрахунку.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Авторами представленої статті виконаний аналіз причин виникнення дефектів і пошкоджень та висунуті наступні гіпотези щодо їх появи:

- передчасне зняття опалубки до набрання бетоном нормативної міцності;
- передчасне зняття тимчасових підтримуючих стоек;
- навантаження конструкції консольних балок конструкціями монолітного парапету до набрання ними проектної міцності;
- порушення технології бетонування в зимових умовах;

- недостатня жорсткість (висота поперечного перетину консольних балок) під фактичне навантаження.

Аналізуючи можливі причини виникнення дефектів, дійсних прогинів балок зроблено припущення, що підпірні стойки опалубки ригелів були зняті до бетонування парапетів та набору міцності бетону, а проектну міцність бетон набрав після отримання прогинів та утворення тріщин. Швидкість набору міцності та швидкість росту модуля пружності бетону однакові, але на момент утворення тріщин та надлишкових прогинів міцність та, відповідно, значення модуля пружності невідоме. Для подальшого моделювання з метою визначення напружено-деформованого стану

прийнято 15% значення модуля пружності від нормативного.

В результаті розрахунку отримані наступні значення переміщень.

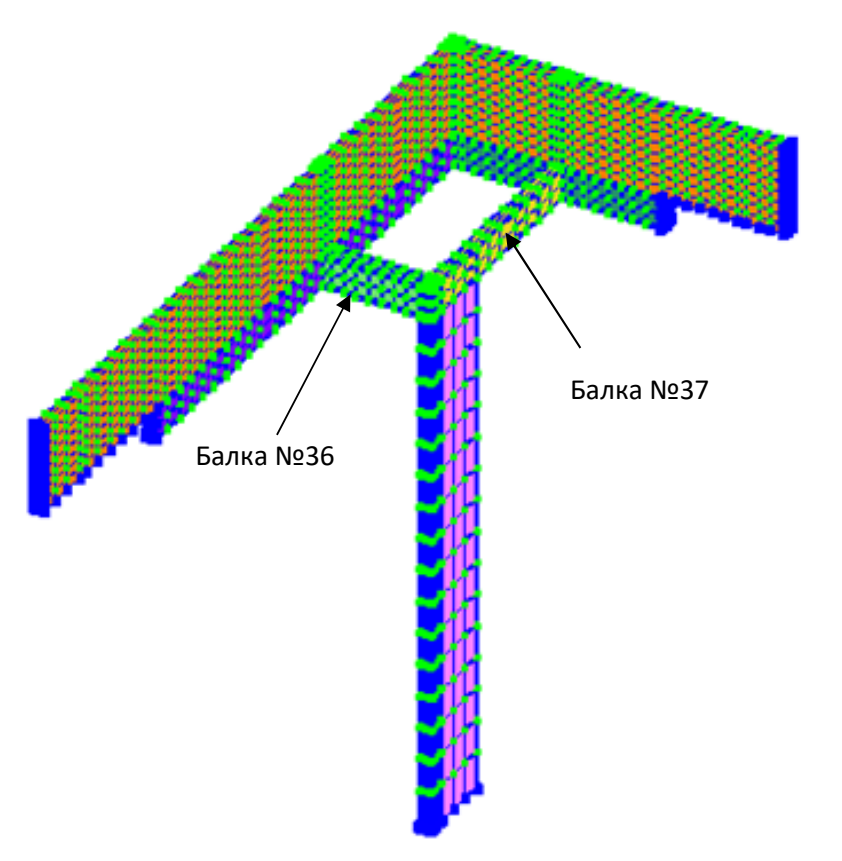
Край балки №36  $\Delta_{\text{верт}} = -14.2727$  мм.

Край балки №37  $\Delta_{\text{верт}} = -8.27138$  мм.

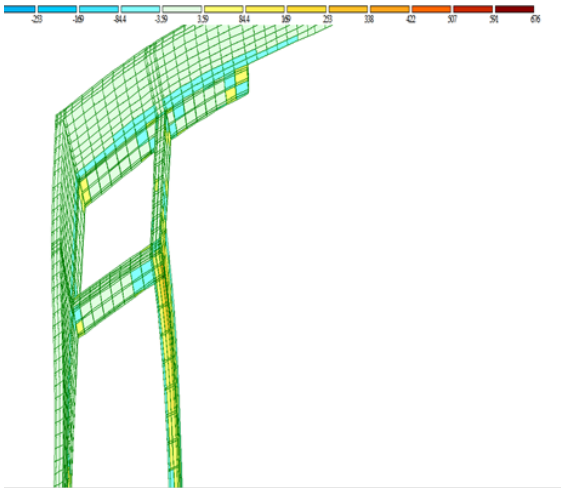
Отримані результати підтверджують наведену вище гіпотезу і дозволяють визначити необхідні місця установки елементів підсилення із вуглепластикових ламелей.

Розрахункова модель приведена на рис. 4.

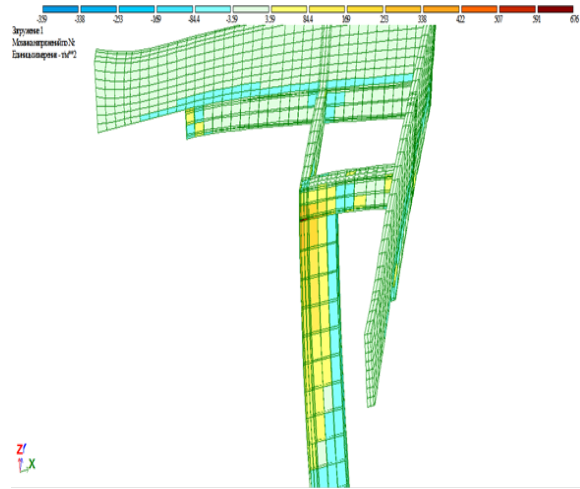
Напруження в елементах конструкцій архітектурних деталей показані на рисунках 5÷10.



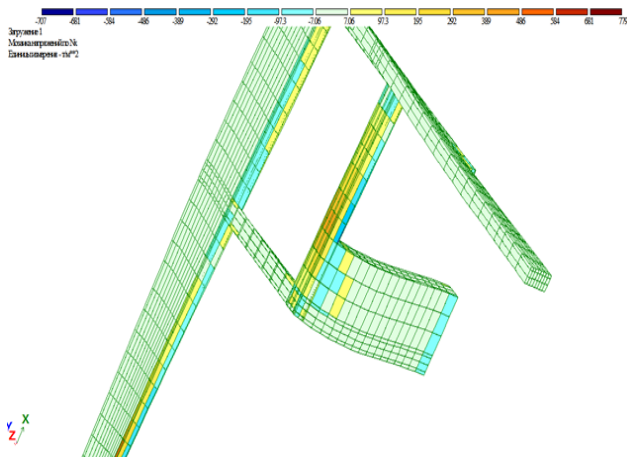
**Рис. 4.** Розташування елементів при моделюванні.  
**Fig. 4.** The location of the elements in the simulation.



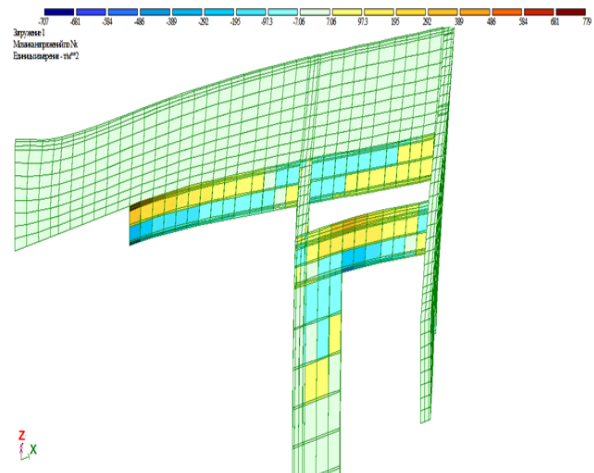
**Рис. 5.** Нормальні напруження колони по осі Z (коротка сторона).  
**Fig. 5.** Normal stress in the column axis Z (short side).



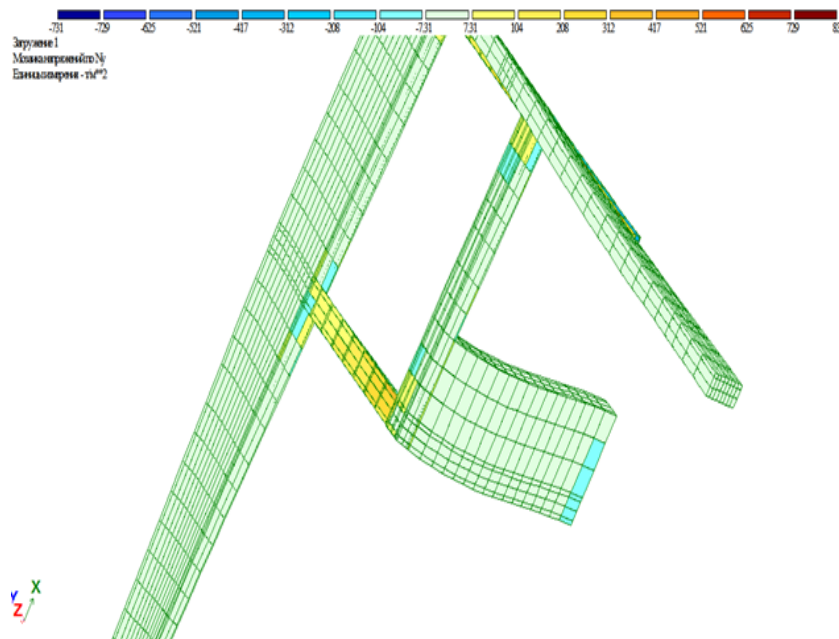
**Рис. 6.** Нормальні напруження колони по осі Z (довга сторона).  
**Fig. 6.** Normal stress in the column axis Z (long side).



**Рис. 7.** Нормальні напруження в балці B37 по осі X (верх балки).  
**Fig. 7.** Normal stresses in the beam B37 along the X axis (upper beams).

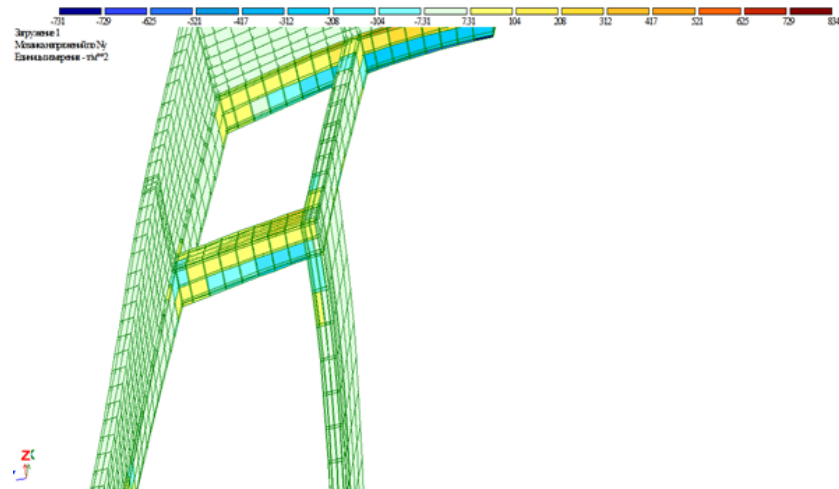


**Рис. 8.** Нормальні напруження в балці B37 по осі X (бокова сторона балки).  
**Fig. 8.** Normal stresses in the beam B37 along the X axis (side of the beam).



**Рис. 9.** Нормальні напруження в балці Б36 по осі Y (верх балки).

**Fig. 9.** Normal stresses in the beam B36 along the Y axis (upper beams).



**Рис. 10.** Нормальні напруження в балці Б36 по осі Y (бічна сторона балки).

**Fig. 10.** Normal stresses in the beam B36 along the Y axis (side of the beam).

### ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Виходячи із аналізу напружено-деформованого стану (ширини розкриття тріщин та прогинів конструкцій) рекомендується виконати посилення розтягнутих зон балок, колони та парапетів на-

клеюванням вуглепластикових ламелей із попереднім надійним закриттям тріщин методом ін'єктування тиксотропними епоксидними смолами.

Подальшою роботою авторів представленої статті має бути розробка проекту підсилення досліджуваної конструкції.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Lee Y, Kim J-K.**, (2009). Numerical analysis of the early age behavior of concrete structures with a hydration based micro plane model. *Comput Struct. Vol. 87. № 17- 18. Pp. 1085–1101.*
2. **Wu S., Huang D., Lin F.-B., Zhao H., Wang P.**, (2011). Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis. *J Therm Anal Calorim. Vol. 105. Pp. 171–186.*
3. **Cui W., Chen W., Wang N.**, (2015) Thermo-hydro-mechanical coupling analysis of early-age concrete with behavioral changes considered and its application. *China Civil Engineering Journal. Vol 48. № 2. Pp. 44–53.*
4. **Holt E., Leivo M.**, (2004). Cracking risks associated with early age shrinkage. *Cement and Concrete Composites. Vol. 26. № 5. Pp. 521–530.*
5. **Yuan Y., Wan Z.L.**, (2002). Prediction of cracking within early-age concrete due to thermal, drying and creep behaviour. *Cement and Concrete Composites. Vol. 32. № 7. Pp. 1053–1059.*
6. **Van Breugel K., Koenders E.**, (2001) Effect on solar radiation on the risk of cracking in young concrete. *Delft University of Technology. BE96-3843. 180 p.*
7. **De Schutter G.**, (2002). Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws. *Comput. Struct. Vol. 80. Pp. 2035–2042.*
8. **Klemczak B., Batog M., Pilch M., Zmij A.**, (2017). Analysis of Cracking Risk in Early Age Mass Concrete with Different Aggregate Types. *International Conference on Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures AMCM 2017. Vol. 193. Pp. 234–241.*
9. **Sprince A., Pakrastinsh L.**, (2013). Case study on early age shrinkage of cement-based composites. *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources.. № 2. Pp. 79–84.*
10. **Sprince A., Pakrastinsh L., Vatin N.**, (2016). Crack Formation in Cement-Based Composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 123(1). art. no. 012050. DOI: 10.1088/1757-899X/123/1/012050.*

11. **Rahimi A, Noorzai J.**, (2011). Thermal and Structural Analysis of Roller Compacted Concrete Dams by Finite Element Code. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences. Vol. 5. № 12. Pp. 2761–2767.*
12. **Noorzai J., Bayagoob K.H., Abdulrazeg A.A., Jaafar M.S., Mohammed T.A.**, (2009). Three dimensional nonlinear temperature and structural analysis of roller compacted concrete dam. *CMES. Vol. 47. № 1. Pp. 43–60.*
13. **Zhou M.R., Shen Q.F., Zhang Z.N., Li H.S., Guo Z.Y., Li Z.B.**, (2013). Based on MIDAS/CIVIL the Anchorage of Mass Concrete Temperature Field and Stress Field Simulation Analysis. *Advanced Materials Research. Vol. 724- 725. Pp. 1482–1488.*
14. **Nguyen D.H., Dao V., Lura P.**, (2016). Early-age thermal cracking in concrete structures – the role of zero-stress temperature. *ADM-1 Analytical and Design Methods.. Vol.1. Pp. 692–698.*
15. **Nguyen Q.H.**, (2009). Stress analysis of roller compacted concrete in the process of construction. *Journal of Water Resources and Environmental Sciences. Vol. 22. № 7. Pp. 23–28.*
16. **Ho Ngoc Khoa, Vu Chi Cong.**, (2012). Analysis of temperature and heat stress in mass concrete structures by finite element method. *Journal of Building Science and Technology. Vol. 14. № 12. Pp. 17–27.*

#### REFERENCES

1. **Lee Y, Kim J-K.**, (2009). Numerical analysis of the early age behavior of concrete structures with a hydration based micro plane model. *Comput Struct. Vol. 87. № 17- 18. Pp. 1085–1101.*
2. **Wu S., Huang D., Lin F.-B., Zhao H., Wang P.**, (2011). Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis. *J Therm Anal Calorim. Vol. 105. Pp. 171–186.*
3. **Cui W., Chen W., Wang N.**, (2015) Thermo-hydro-mechanical coupling analysis of early-age concrete with behavioral changes considered and its application. *China Civil Engineering Journal. Vol 48. № 2. Pp. 44–53.*
4. **Holt E., Leivo M.**, (2004). Cracking risks associated with early age shrinkage. *Cement and Concrete Composites. Vol. 26. № 5. Pp. 521–530.*
5. **Yuan Y., Wan Z.L.**, (2002). Prediction of cracking within early-age concrete due to thermal, drying and creep behaviour. *Cement and*

*Concrete Composites. Vol. 32. № 7. Pp. 1053–1059.*

6. **Van Breugel K., Koenders E.,** (2001) Effect on solar radiation on the risk of cracking in young concrete. *Delft University of Technology. BE96-3843. 180 p.*
7. **De Schutter G.,** (2002). Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws. *Comput. Struct. Vol. 80. Pp. 2035–2042.*
8. **Klemczak B., Batog M., Pilch M., Zmij A.,** (2017). Analysis of Cracking Risk in Early Age Mass Concrete with Different Aggregate Types. *International Conference on Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures AMCM 2017. Vol. 193. Pp. 234–241.*
9. **Sprince A., Pakrastinsh L.,** (2013). Case study on early age shrinkage of cement-based composites. *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources.. № 2. Pp. 79–84.*
10. **Sprince A., Pakrastinsh L., Vatin N.,** (2016). Crack Formation in Cement-Based Composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 123(1). art. no. 012050. DOI: 10.1088/1757-899X/123/1/012050.*
11. **Rahimi A., Noorzai J.,** (2011). Thermal and Structural Analysis of Roller Compacted Concrete Dams by Finite Element Code. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences. Vol. 5. № 12. Pp. 2761–2767.*
12. **Noorzai J., Bayagoob K.H., Abdulrazeg A.A., Jaafar M.S., Mohammed T.A.,** (2009). Three dimensional nonlinear temperature and structural analysis of roller compacted concrete dam. *CMES. Vol. 47. № 1. Pp. 43–60.*
13. **Zhou M.R., Shen Q.F., Zhang Z.N., Li H.S., Guo Z.Y., Li Z.B.,** (2013). Based on MIDAS/CIVIL the Anchorage of Mass Concrete *Temperature Field and Stress Field Simulation Analysis. Advanced Materials Research. Vol. 724- 725. Pp. 1482–1488.*
14. **Nguyen D.H., Dao V., Lura P.,** (2016). Early-age thermal cracking in concrete structures – the role of zero-stress temperature. *ADM-1 Analytical and Design Methods.. Vol.1. Pp. 692–698.*
15. **Nguyen Q.H.,** (2009). Stress analysis of roller compacted concrete in the process of construction. *Journal of Water Resources and Environmental Sciences. Vol. 22. № 7. Pp. 23–28.*
16. **Ho Ngoc Khoa, Vu Chi Cong.,** (2012). Analysis of temperature and heat stress in mass concrete structures by finite element method. *Jour-*

*nal of Building Science and Technology. Vol. 14. № 12. Pp. 17–27.*

## NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF DESTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS OF MONOLITHIC FENCING AND ITS REINFORCEMENT BY CARBON MATERIALS

*Volodymyr Chyrva, Tatyana Chyrva, Alexander Panchenko, Andriy Savchenko, Kate Romanenko*

**Summary.** At the stage of construction of a multi-story building in Kiev, concrete walls of the monolithic fencing were cracking cracks. The reason for their occurrence was not determined by the developer. Therefore, some of the assumptions about their appearance were put forward and simulated in the program complex "LIRA 2013".

The purpose of the research was to determine the stress-strain state (width of the crack opening and structural deflection), compare the results with actual data and provide recommendations for repair measures.

By analyzing the possible causes of defects and actual deflection of beams, the authors assumed that the retaining posts of the formwork of the bolts were removed to the concrete concreting of the parapets and the strength of the concrete, and the design strength of the concrete was collected after receiving deflections and the formation of trishin.

The estimated results obtained with the actual data are confirmed and confirm the above hypothesis and allow us to determine the necessary places for installing reinforcement elements from carbon fiber lamellae.

Based on the analysis of the stress-strain state (width of the crack opening and deflection of structures), the authors of the article recommended to increase the stretched zones of beams, columns and parapets by gluing the carbon-fiber lamellae with the preliminary reliable cracking of the cracks by the injection method with thixotropic epoxy resins.

**Keywords.** Inspection; demolition; modeling; calculation; reinforcement.