DOI: 10.32347/2076-815x.2023.84.171-180
УДК 539.3

к.т.н., доцент **Кошевий О.П.,**
koshevyi.op@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7796-0443,
к.т.н., доцент **Кошева В.О.,**
kosheva.vo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6178-8837,
к.т.н., доцент **Левківський Д.В.,**
levkivskyi.dv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2964-1605,
Янсонс М.О., iansons.mo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6174-0403,
Чубарев А.Г., chubarev_ah@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6620-639X,
Марчук О.С., marchuk.os@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2497-1405,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ ШЛЯХОПРОВОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ НА ОСНОВІ ОБСТЕЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРАХУНКОВОГО КОМПЛЕКСУ LIRA

Приведено результати чисельного моделювання побудованої просторової моделі залізобетонного шляхопроводу №11а ПАТ «МК «Азовсталь» у м. Маріуполь, що створена на основі його обстеження за допомогою BIM технологій, для дослідження та аналізу напружено-деформованого стану, міцності і стійкості його елементів та конструкції в цілому. Чисельне дослідження міцності та жорсткості просторової моделі шляхопроводу використовується для подальшого прийняття оптимальних рішень по вибору варіантів проєктних рішень для подальшого відновлення та реконструкції об'єкта і значно прискорює проєктні роботи. Наведені результати створення комплексної чисельної просторової моделі реконструкції шляхопроводу в розрахунковому комплексі LIRA ,проведений аналіз НДС, міцності та стійкості споруди та запропоновані варіанти оптимальних проєктних рішень для реконструкції шляхопроводу. Зроблені висновки щодо подальшої розробки проєкту реконструкції.

Ключові слова: комплексні просторові моделі; комп'ютерне моделювання; розрахунковий комплекс LIRA; напружено-деформований стан; міцність; стійкість; реконструкція та відновлення об'єктів; оптимальний варіант проєкту.

При побудові комплексної чисельної моделі дослідження НДС, міцності та стійкості шляхопроводу, після обстеження його стану в цілому та всіх конструктивних елементів, для вибору раціональної форми представлення та

комп'ютерного моделювання будівництва нового, або реконструкції та відновлення існуючого шляхопроводу, проведений чисельний аналіз НДС існуючого шляхопроводу з використанням розрахункових комплексів LIRA. По результатам проведеного обстеження встановлено, що конструкції шляхопроводу знаходяться в експлуатаційному стані – 4 обмежено працездатний, а також враховано, що в умовах безперервного виробництва не можливе перекриття роботи залізничної гілки, яка проходить під шляхопроводом [1,2,3,4,7]. Тому для побудови комплексної чисельної моделі була вибрана концепція повної реконструкції у вигляді побудови нового шляхопроводу, що буде спроєктований повністю не залежним від конструкції існуючого, але в процесі його зведення конструкція існуючого шляхопроводу використовується в якості підтримуючої опалубки для створення нового шляхопроводу.

Конструкція нового шляхопроводу передбачається повністю незалежною від існуючого, опирається на нові фундаменти стовбчастого типу, на які опираються три ряди несучих колон, що слугують опорою для конструкції несучих головних і другорядних балок та конструкції плити перекриття шляхопроводу [12,13]. Три головні балки виступають над плитою перекриття та в подальшому будуть використані для встановлення відбійників на шляхопроводі. В конструкції нового шляхопроводу також передбачені пішохідні тротуари у вигляді консольних частин плити перекриття рис. 1.

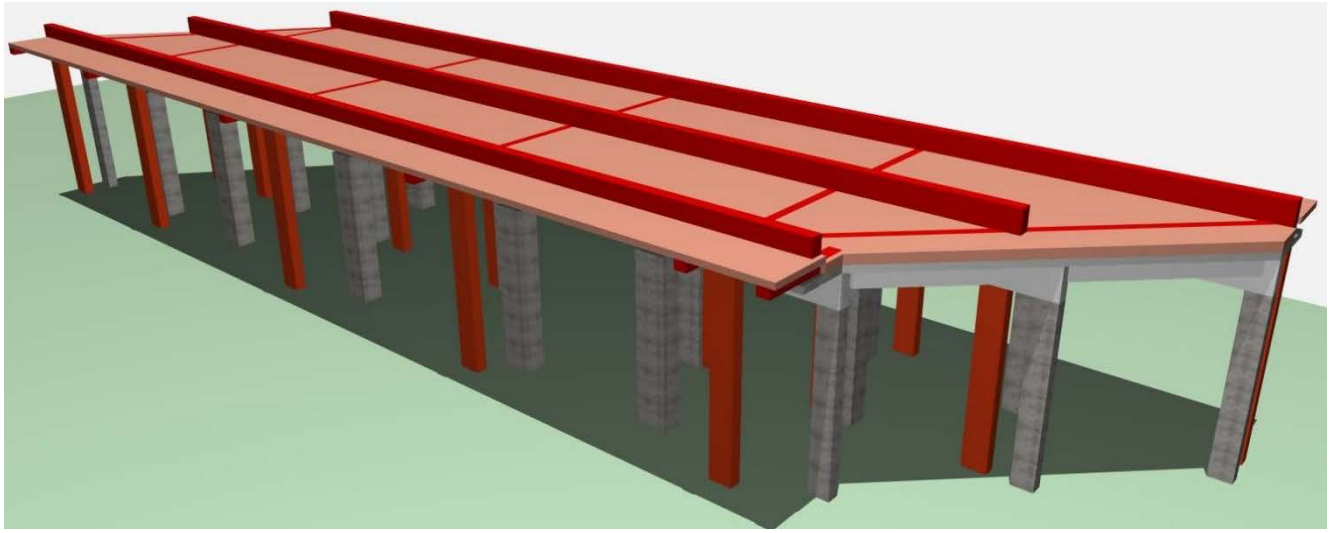

Рис. 1. Загальний вигляд моделі варіанту нового шляхопроводу

Для визначення напружено-деформованого стану проєктуємого шляхопроводу в розрахункових програмних комплексах LIRA була розроблена його розрахункова схема на основі методу скінчених елементів, що враховує всі

конструктивні особливості елементів шляхопроводу [5,6,7,8] та технологічні можливості їх виготовлення (рис.2).

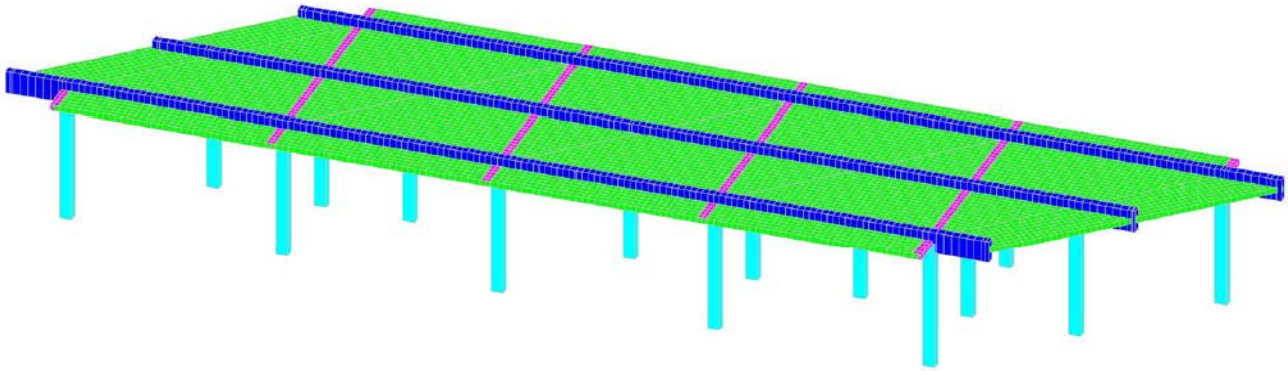

Рис. 2. Розрахункова схема шляхопроводу

Визначені всі можливі зовнішні навантаження на шляхопровід та їх комбінації з урахуванням технологічних вимог виробництва і умов експлуатації в межах даного підприємства. В розрахунках були враховані навантаження та їх комбінації: - від власної ваги конструкцій; - снігового та вітрового навантаження; - навантаження від дорожнього покриття та оснащення проїзної частини шляхопроводу, тротуарів та огороджень; - корисне навантаження від рухомого транспорту по всьому шляхопроводу , а також окремо по кожному з його прольотів в найбільш несприятливих комбінаціях; - температурне технологічне навантаження в районі залізничної колії; - навантаження від руху пішоходів [9,10,11]. На рис. 3 представлена комбінація навантажень від власної ваги конструкцій, снігового, вітрового та корисного навантажень в одному з варіантів проведеного розрахунку з урахуванням дії температури в районі проходження залізничної колії.

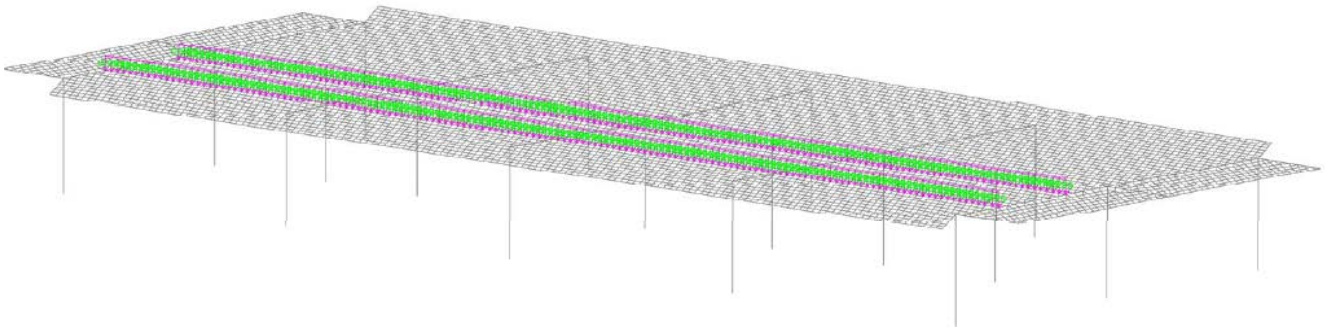

Рис.3. Комбінація зовнішніх навантажень на шляхопровід

У результаті комп’ютерного моделювання визначено величини внутрішніх зусиль, нормальних та дотичних напружень, переміщень та деформацій, які виникають в споруді шляхопроводу при всіх можливих

комбінаціях зовнішніх навантажень. Результати розрахунків сформовані в табличному вигляді для кожної комбінації зовнішніх навантажень та побудовані ізолінії розподілення внутрішніх зусиль, напружень та деформацій по всім конструкціям шляхопроводу, що дає можливість визначити найбільші їх значення. На рис. 4,а представлено розподіл поздовжніх сил N в несучих елементах шляхопроводу, максимальне значення поздовжньої сили N виникає в колонах середнього ряду Nmax = 2326 кН.

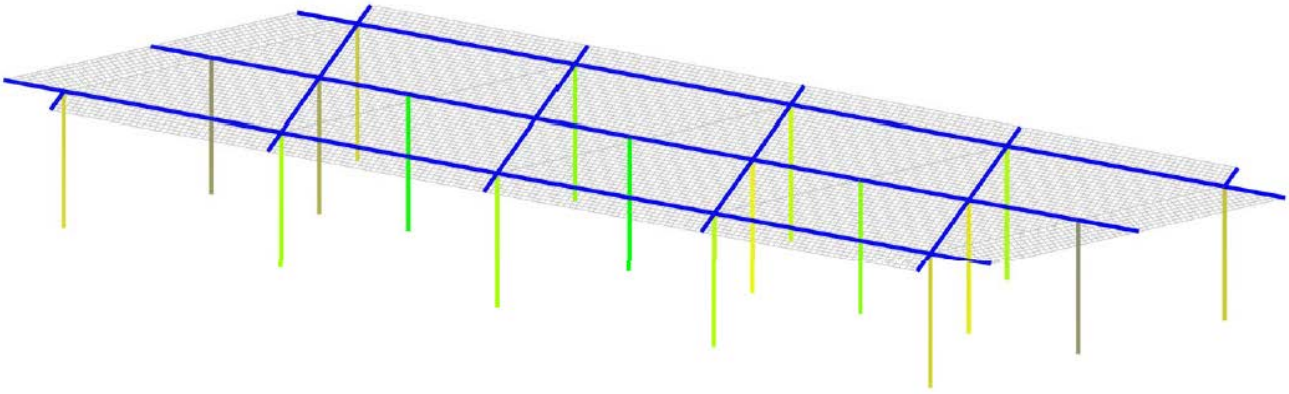

Рис. 4,а. Поздовжні сили N в несучих елементах шляхопроводу

На рис. 4.б представлено розподіл згинальних моментів My в несучих елементах шляхопроводу, максимальні значення згинального моменту My виникає в місцях опирання головних та другорядних балок на колони (My min = -1050 кН*м) і по центру прольотів балок (My max = +828 кН*м).

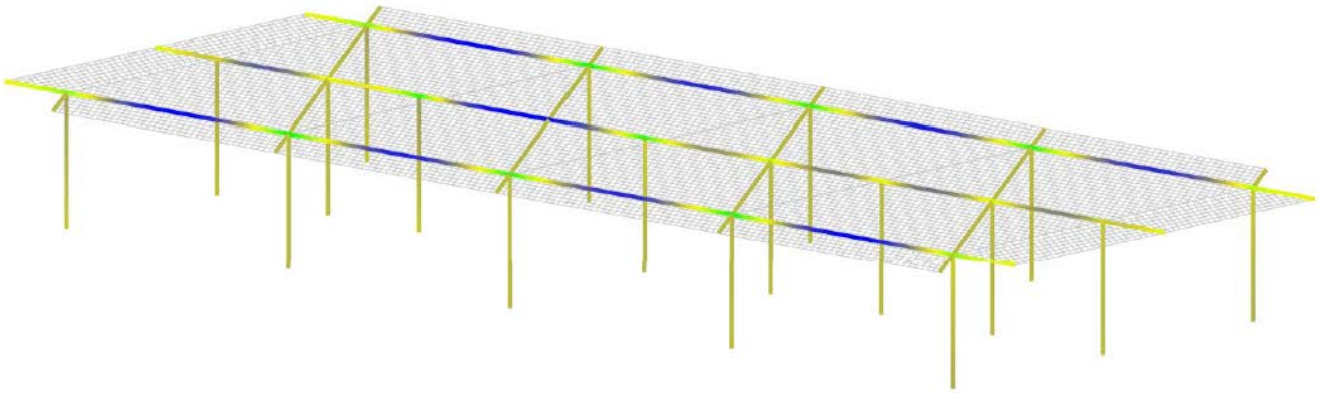

Рис. 4,б. Згинальні моменти My в несучих елементах шляхопроводу

На рис. 4,в представлено розподіл нормальних напружень σy , що виникають в несучій плиті шляхопроводу при найбільше невигідній комбінації зовнішніх навантажень, максимальні значення напружень σy max = 10,1 МПа виникають в центрі прольотів плити шляхопроводу.

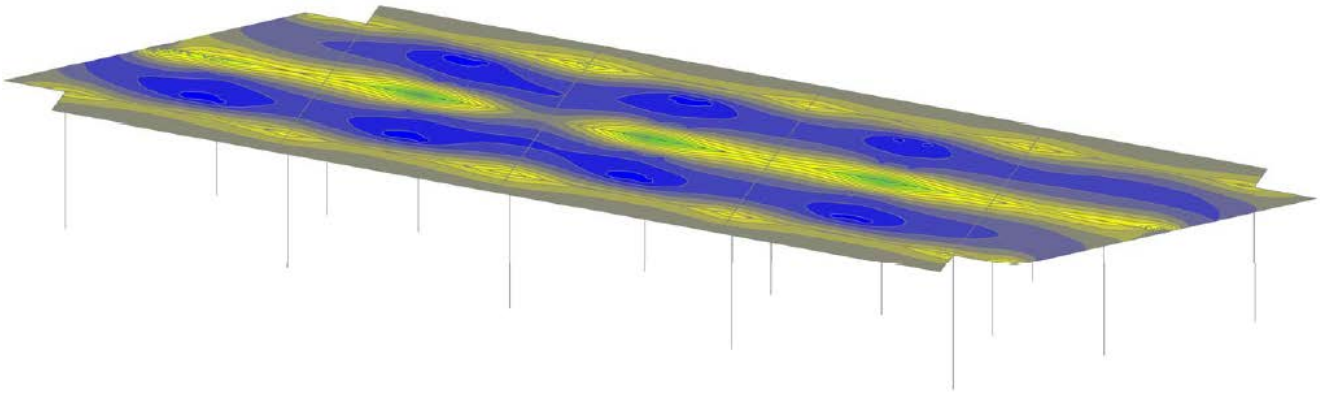

Рис. 4,в. Розподіл нормальних напружень σy в несучій плиті шляхопроводу

На рис. 4,г представлено розподіл нормальних напружень σx , що виникають в несучій плиті шляхопроводу при найбільше невигідній комбінації зовнішніх навантажень, максимальні значення напружень σx max = 6,4 МПа виникають в центрі прольотів плити шляхопроводу та в місцях проходження залізничної колії.

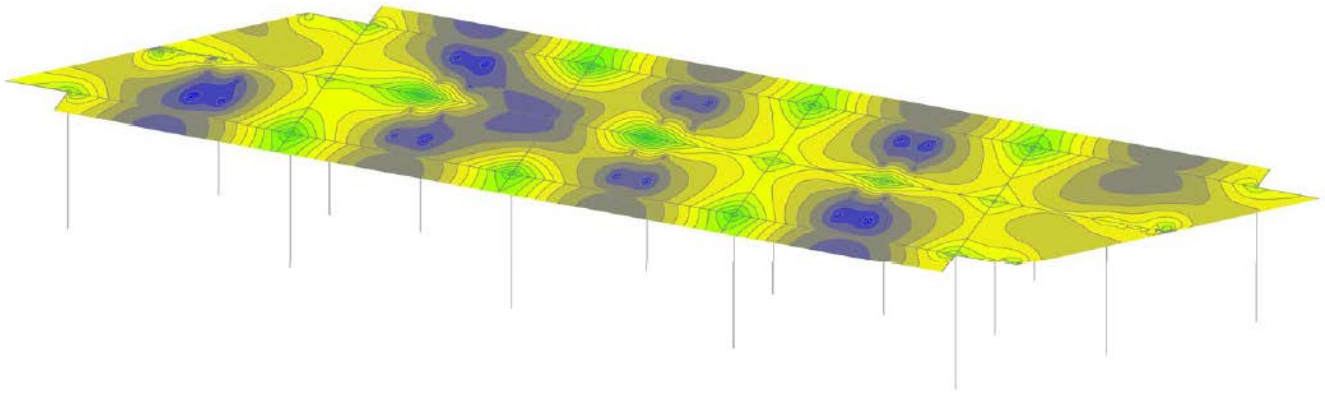

Рис. 4,г. Розподіл нормальних напружень σx в несучій плиті шляхопроводу

На рис. 4,д представлено розподіл переміщень по осі z, що виникають в несучій плиті шляхопроводу при найбільше невигідній комбінації зовнішніх навантажень, максимальне переміщення по осі z виникає по середені прольотів плити Uz max = 6,5 мм.

За результатами комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану елементів конструкції шляхопроводу було визначено найбільше невигідні комбінації зовнішніх навантажень, при яких в несучих елементах шляхопроводу виникають найбільші внутрішні сили, нормальні та дотичні напруження, переміщення та деформації, що дало можливість оцінити міцність, жорсткість та стійкість конструкції шляхопроводу в цілому а також окремих його конструктивних елементів.

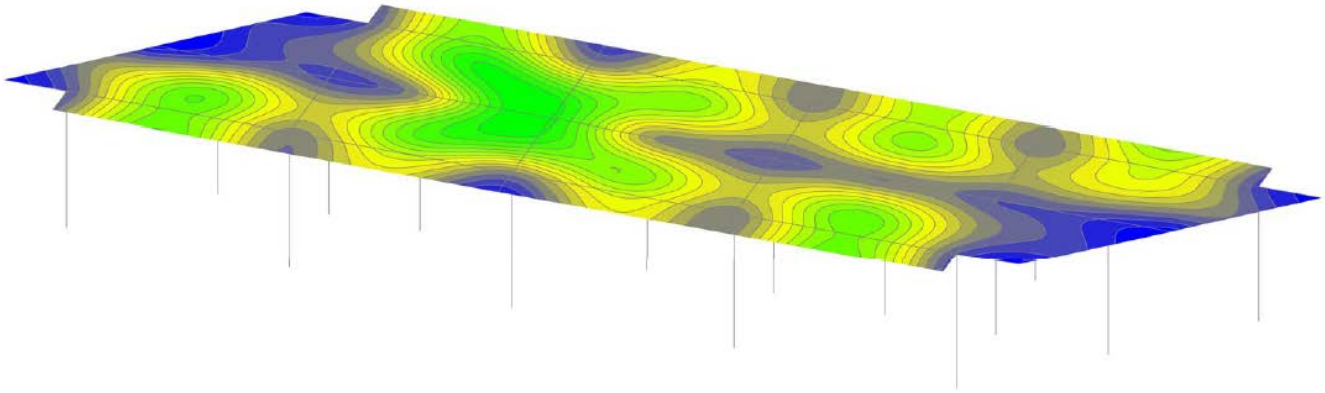

Рис. 4,д. Розподіл переміщень Uz в плиті шляхопроводу

Отримані результати були використані для вибору оптимального варіанту при реконструкції шляхопроводу [13,14,15], подальших розрахунків елементів конструкцій та розробці робочого проекту реконструкції шляхопроводу. В проекті виконання робіт по реконструкції шляхопроводу необхідно враховувати технологічні особливості виробництва підприємства ПАТ «МК «Азовсталь» поряд з висновками та рекомендаціями даної публікації.

Література

1. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Levkivskyi D.V., Morzharovskyi A.S. Computer modeling and optimization of energy efficiency potentials in civil engineering/_Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”.Issue 106. – Kyiv: KNUCA, 2021. – p. 274-281.

ISSN 2410-2547

2. Кошевий О.П., Кошева В.О., Тробюк О.М. Системно графічно-інтерпретовані моделі створення енергоефективних будівель / Н.т. збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. Випуск 100. Відповідальний редактор Ванін В. В. – Київ : КНУБА, 2021 р. – 230 с. 172-181.

3. Кошевий О.П., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ В МАСИВНИХ ТІЛАХ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДА ПРЯМИХ// Н. т. збірник «Містобудування та територіальне планування», випуск № 82, КНУБА 2023, - с.185-197.

4. Звіт з обстеження та оцінки технічного стану будівельник конструкцій шляхопроводу №11а ЧАО «АЗОВСТАЛЬ» РХО ХЦ // НДІ «Укрекспертпроект» - м. Запоріжжя- 2016 р. – 83 с.

5. ДБН В.1.2-15: 2009 / Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи.

6. ДБН В.2.3-6: 2009 / Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування.

7. Кошева В.О., Гетун Г.В., Левківський Д.В. Побудова комплексної моделі енергооснащеності районів будівництва України // Н.т. збірник «Містобудування та територіальне планування», випуск № 73, КНУБА 2020, - С. 78-82.

8. Кошевий О.П., Левківський Д.В., Чубарев А.Г., Янсонс М.О. Модифікований метод прямих в статичних задачах вісесиметричних нетонких пластин/ Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”.Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – p. 342-358. ISSN 2410-2547.

9. Іванченко Г.М., Кошевий О.О., Кошевий О.П. Чисельна реалізація багатокритеріальної параметричної оптимізації оболонки мінімальної поверхні на квадратному контурі при термосиловому навантаженні/ Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”.Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – p. 50-65. ISSN 2410-2547

10. В.К. Чибіряков, А.М. Станкевич, О.П. Кошевий Д.В. Левківський, А.О. Краснеєва, Д.В. Пошивач, А.Г.Чубарев, О.А. Шорін, М.О. Янсонс, Ю.В. Сович Чисельна реалізація модифікованого методу прямих // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 74. – Київ, КНУБА, 2020. – С. 341-359.

11. Чибіряков В.К., Станкевич А.М, Кошевий О.П., Краснеєва А.О., Пошивач Д.В., Чубарев А.Г., Шорін О.А., Янсонс М.О., Сович Ю.В. Модифікований метод прямих, алгоритм його застосування, можливості та перспективи. / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 70. – Київ, КНУБА, 2019. – С. 633-655.

12. Кошевий О.П., Кошева В.О., Левківський Д.В., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. ПОБУДОВА КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ШЛЯХОПРОВОДУ НА ОСНОВІ ОБСТЕЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ // Н. т. збірник «Містобудування та територіальне планування», випуск № 83, КНУБА 2023, - с.143-155.

13. Кошевий О.О., Кошевий О.П., Григор’єва Л.О. Чисельна реалізація багатокритеріальної параметричної оптимізації оболонки мінімальної поверхні на прямокутному контурі при термосиловому навантаженні // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник. – К.: КНУБА, 2021. – Вип. 108. – С. 309–324.

14. Іванченко Г.М., Кошевий О.О., Кошевий О.П. Чисельна реалізація багатокритеріальної параметричної оптимізації оболонки мінімальної поверхні на квадратному контурі при термосиловому навантаженні // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник. – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 109. – С. 50-65.

15. Іванченко Г.М., Кошевий О.О., Кошевий О.П., Григор'єва Л.О. Чисельне дослідження параметричної оптимізації вимушених частот коливання оболонки мінімальної поверхні на трапецевидному контурі при термосиловому навантаженні // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 110. – С. 430-446.

Ph.D in technical science, Associate Professor **Koshevyi Oleksandr,**
Ph.D in technical science, Associate Professor **Kosheva Victoria,**
Ph.D in technical science, Associate Professor **Levkivskyi Dmytro,**
Iansons Marina, Chubarev Anton, Marchuk Olexandr,
Kyiv national university of construction and architecture

NUMERICAL MODELING OF THE SPATIAL MODEL OF AN OVERPASS FOR STRENGTH AND STIFFNESS ASSESSMENT BASED ON SURVEY USING THE LIRA CALCULATION COMPLEX

The paper presents the results of numerical simulation of the constructed spatial model of the reinforced concrete overpass № 11a of PAT "MK "Azovstal" in Mariupol. The model is based on inspection of a overpass and its preliminary design using BIM technologies, that allowed further study and analyze the stress-strain state, strength, and stability of its elements and the structure as a whole. The numerical investigation of the strength and rigidity of the spatial model of the overpass is used for further decision-making on the selection of design options for subsequent reconstruction of the object, that significantly accelerating future design work. The results of creating a comprehensive numerical spatial model of reconstruction of the overpass using the computational suite LIRA are provided. An analysis of the stress-strain state, strength, and stability of the structure was conducted, and optimal design solutions for the reconstruction of the overpass were proposed. Conclusions were made regarding further project development for reconstruction.

Keywords: complex spatial models; computer simulation; computational suite LIRA; stress-strain state; strength; stability; reconstruction and restoration of objects; optimal project option.

REFERENCES

1. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Levkivskyi D.V., Morzharovskyi A.S. Computer modeling and optimization of energy efficiency potentials in civil engineering// Scientific-and-technical collected articles "Strength of materials and theory of structures". Issue 106. – Kyiv: KNUCA, 2021. – p. 274-281. ISSN 2410-2547. {in English}.

2. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Trobyuk O.M. Systemno hrafichno-interpretovani modeli stvorennya enerhoefektyvnykh budivel′ (System graphically interpreted models of creating energy-efficient buildings) // N.t. zbirnyk “Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika”. Vol. 100. Vidpovidal′nyy redaktor Vanin V. V. – Kyiv: KNUBA, 2021. – 230 s. 172-181 p. {in Ukrainian}

3. Koshevyi O.P., Iansons M.O., Chubarev A.H., Marchuk O.S. Modelyuvannya temperaturnykh vplyviv v masyvnykh tilakh za dopomohoyu modyfikovanoho metoda pryamykh (Simulation of temperature influences in massive bodies using the modified line method) // N.t. zbirnyk «Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya», Vol. 82, KNUBA 2023, 185-197 p. {in Ukrainian}

4. Zvit z obstezhennya ta otsinky tekhnichnoho stanu budivel′nyk konstruktsiy shlyakhoprovodu (Report on the inspection and evaluation of the technical condition of the construction builder of the overpass) №11a CHAO «AZOVSTAL′» RKHO KHTS // NDI «Ukrekspertproekt» - m. Zaporizhzhya - 2016. – 83 s. {in Ukrainian}

5. DBN V.1.2-15: 2009 / Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennya i vplyvy (Transport structures. Bridges and pipes. Loads and influences). {in Ukrainian}

6. DBN V.2.3-6: 2009 / Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennya ta vyprobuvannya (Transport structures. Bridges and pipes. Surveys and tests). {in Ukrainian}

7. Kosheva V.O., Hetun H.V., Levkivskyi D.V. Pobudova kompleksnoyi modeli enerhoosnashchenosti rayoniv budivnytstva Ukrayiny (Designing of a complex model of the energy supply of the construction districts of Ukraine) // N. t. zbirnyk «Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya», Vol. 73, KNUBA 2020, - 570 s.78-82 p. {in Ukrainian}

8. Koshevyi O.P., Levkivskyi D.V., Chubarev A.H., Iansons M.O. Modyfikovanyi metod pryamykh v statychnykh zadachakh visesymetrychnykh netonkykh plastyn (Modified method of direct lines in static problems of axisymmetric thin plates) // Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”. Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – p. 342-358. ISSN 2410-2547 {in Ukrainian}

9. Ivanchenko H.M., Koshevyi O.O., Koshevyi O.P. Chysel′na realizatsiya bahatokryterial′noyi parametrychnoyi optymizatsiyi obolonky minimal′noyi poverkhni na kvadratnomu konturi pry termosylovomu navantazhenni (Numerical implementation of multi-criteria parametric optimization of the shell of the minimum surface on a square contour under thermoforce loading) // Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”. Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – p. 50-65. ISSN 2410-2547 {in Ukrainian}

10. V.K. Chybiryakov, A.M. Stankevych, O.P. Koshevyi, D.V. Levkivskyi, A.O. Krasneyeva, D.V. Poshyvach, A.H. Chubarev, O.A. Shorin, M.O. Iansons, YU.V. Sovych Chysel′na realizatsiya modyfikovanoho metodu pryamykh (Numerical implementation of the modified method of straight lines) // Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 74. – Kyiv, KNUBA, 2020. – p. 341-359. {in Ukrainian}

11. Chybiryakov V.K., Stankevych A.M, Koshevyi O.P., Krasneyeva A.O., Poshyvach D.V., Chubarev A.H., Shorin O.A., Iansons M.O., Sovych YU.V. Modyfikovanyy metod pryamykh, alhorytm yoho zastosuvannya, mozhlyvosti ta perspektyvy (The modified straight line method, its application algorithm, possibilities and prospects) // Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 70. – Kyiv, KNUBA, 2019. – p. 633-655. {in Ukrainian}

12. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Levkivskyi D.V., Iansons M.O., Chubarev A.H., Marchuk O.S. Pobudova kompleksnoyi modeli rekonstruktsiyi shlyakhoprovodu na osnovi obstezhennya z vykorystannyam bim-tekhnolohiy (Designing a comprehensive model for the reconstruction of an overpass based on a survey using bim-technologies) // N. t. zbirnyk «Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya», Vol. 83, KNUBA 2023, - p.143-155. {in Ukrainian}

13. Koshevyi O.O., Koshevyi O.P., Grigoryeva L.O. Chysel′na realizatsiya bahatokryterial′noyi parametrychnoyi optymizatsiyi obolonky minimal′noyi poverkhni na pryamokutnomu konturi pry termosylovomu navantazhenni (Numerical implementation of multi-criteria parametric optimization of the shell of the minimum surface on a rectangular contour under thermoforce loading) // N. t. zbirnyk «Opir materialiv i teoriya sporud» – K.: KNUBA, 2021. – Vol. 108. – p. 309–324. {in Ukrainian}

14. Ivanchenko H.M., Koshevyi O.O., Koshevyi O.P. Chysel′na realizatsiya bahatokryterial′noyi parametrychnoyi optymizatsiyi obolonky minimal′noyi poverkhni na kvadratnomu konturi pry termosylovomu navantazhenni (Numerical implementation of multi-criteria parametric optimization of the shell of the minimum surface on a square contour under thermoforce loading) // Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”. Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – p. 50-65. ISSN 2410-2547 {in Ukrainian}

15. Ivanchenko H.M., Koshevyi O.O., Koshevyi O.P., Grigoryeva L.O. Chysel′ne doslidzhennya parametrychnoyi optymizatsiyi vymushenykh chastot kolyvannya obolonky minimal′noyi poverkhni na trapetsevydnomu konturi pry termosylovomu navantazhenni (Numerical study of parametric optimization of forced oscillation frequencies of the minimum surface shell on a trapezoidal contour under thermoforce loading) // N. t. zbirnyk «Opir materialiv i teoriya sporud» – K.: KNUBA, 2023. – Vol. 110. – p. 430–446. {in Ukrainian}