

DOI: 10.32347/2076-815X.2023.83.143-155

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

ПОБУДОВА КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ШЛЯХОПРОВОДУ НА ОСНОВІ ОБСТЕЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЙ

В роботі приведено основні ідеї та можливості побудови комплексної просторової графо-аналітичної моделі дослідження та аналізу напружено-деформованого стану, міцності та стійкості будівельних споруд та об'єктів архітектури на основі їх обстеження за допомогою ВІМ-технологій. Створена комплексна модель споруди використовується для подальшого прийняття оптимальних рішень по вибору варіантів проєктних рішень для відновлення та реконструкції шляхопроводу і значно прискорює проєктні роботи. Наведені результати створення комплексної просторової моделі реконструкції залізобетонного шляхопроводу № 11а ПАТ «МК «Азовсталь» у м. Маріуполь на основі проведеного візуального та інструментального обстеження стану шляхопроводу та висновків про міцнісні характеристики основних несучих конструкцій. На основі створеної комплексної моделі проведений аналіз НДС, міцності та стійкості споруди та запропоновані варіанти проєктних рішень для реконструкції шляхопроводу. Зроблені висновки щодо подальшої розробки проєкту реконструкції.

Ключові слова: комплексні просторові моделі; графо-аналітичні моделі; комп'ютерне моделювання; ВІМ-технології; напружено-деформований стан; міцність; стійкість; реконструкція та відновлення об'єктів; оптимальний варіант проєкту.

Створення комплексної методики дослідження напружено-деформованого стану, міцності та стійкості конструкцій, що враховує світовий та вітчизняний досвід проектування та відновлення конструкцій з

використанням сучасних розрахункових методів та ВІМ технологій спрямовано на вирішення важливої соціально-економічної та наукової проблеми, що пов'язана з питаннями будівництва нових, реконструкції та відновлення існуючих будівель та споруд. Результати досліджень дають змогу визначити стан руйнувань та пошкоджень конструкцій, оцінити можливість подальшого відновлення та експлуатації, дослідити міцність і жорсткість та створити комплексну просторову модель подальшого відновлення і реконструкції будівлі. Для забезпечення при проектуванні оптимальної матеріалоемності, із збереженням або відновленням несучої здатності конструкції, необхідно використовувати сучасні методи обстеження стану об'єкту відновлення, не стандартні підходи проектування з використанням новітніх методів та розрахункових програмних комплексів для створення просторових моделей будівель на основі ВІМ технологій.

При побудові комплексної моделі дослідження НДС, міцності та стійкості будівельних споруд і об'єктів архітектури для вибору раціональної форми графічної моделі представлення та комп'ютерного моделювання будівництва нових, реконструкції та відновлення існуючих будівель використано концепцію функціональної графіки на основі графічних ВІМ технологій [1,2,3]. З наявних інфографічних засобів відібрано графо-аналітичні моделі, що поєднують одночасно моделюючу, синтезуючу та технологічну функції. Графо-аналітична схема створення комплексної просторової моделі дослідження та аналізу НДС, міцності та стійкості для прийняття проектних рішень по будівництву, реконструкції та відновленню об'єктів архітектури представлена на рис. 1.

В статті розглядається створення комплексної просторової моделі реконструкції залізобетонного шляхопроводу № 11а ПАТ «МК «Азовсталь» у м. Маріуполь на основі його обстеження з використанням ВІМ технологій. Обстеження було проведено інструментальними методами для оцінки технічного стану будівельних конструкцій шляхопроводу, визначення пошкоджень та дефектів, що впливають на міцність та несучу спроможність споруди, її фактичну вантажопідйомність та залишковий ресурс, та розробки рекомендацій для подальшої експлуатації та капітальному ремонту шляхопроводу [4,5,6]. Загальний вигляд стану шляхопроводу представлений на рис. 2 та стан несучих конструкцій на рис. 3.

Шляхопровід побудований в 1940 році над залізничною колією з монолітного залізобетону довжиною – 46 м, шириною – 12,43 м, за схемою 2*6+2*9+2*6, підмостовий габарит – 5,6 м, і забезпечує рух автотранспорту та пішоходів. Розрахований під навантаження Н-10, Т-25 згідно існуючих на той час норм проектування.

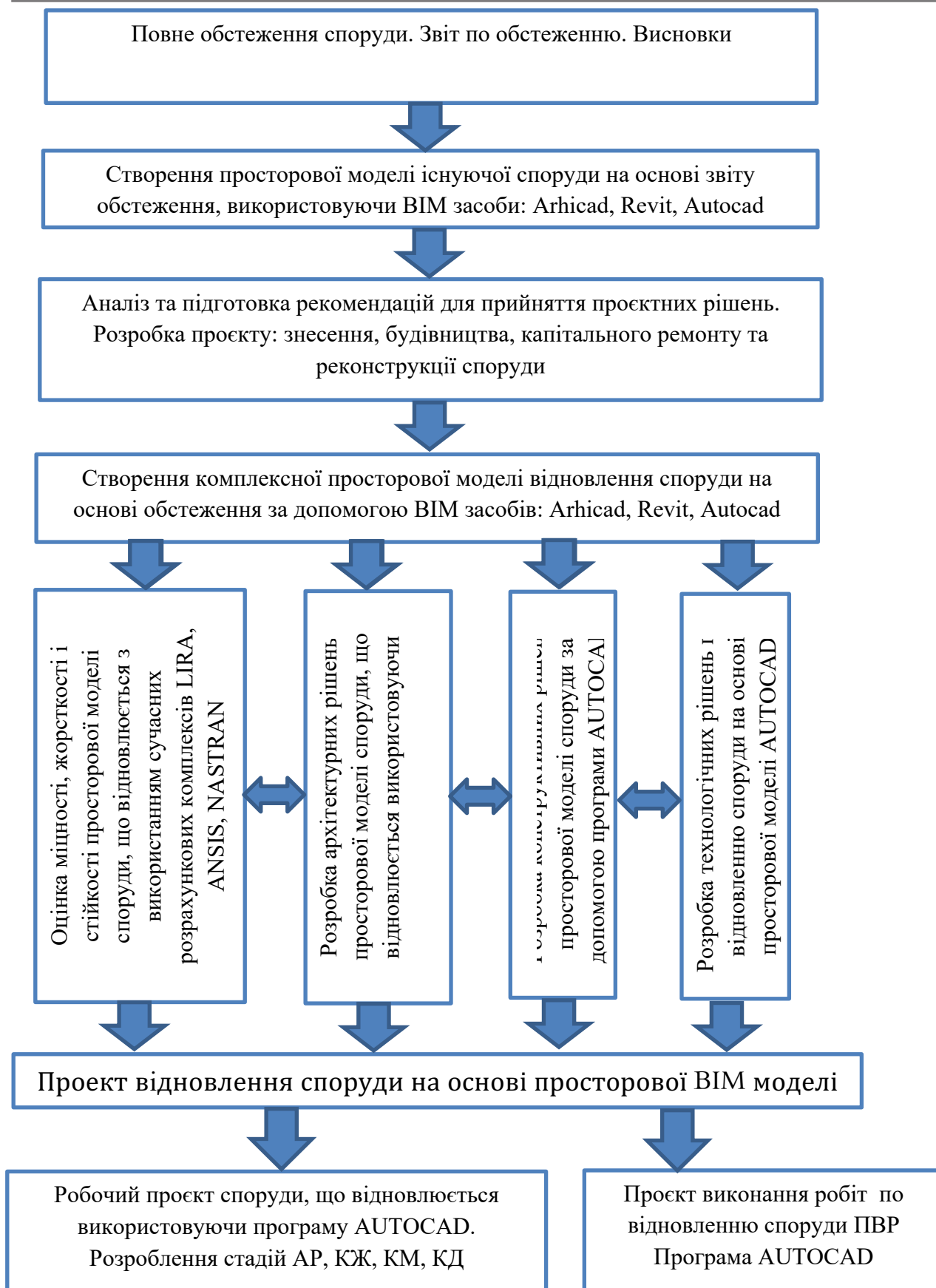


Рис. 1. Комплексна модель відновлення споруд на основі їх обстеження з використання BIM технологій

Рама розділена на три частини деформаційними швами: два крайні по 6 м та середні два прогони по 9 м. Головні балки розташовані вздовж Конструкція шляхопроводу виконана як прогонова та є елементом залізобетонного рамного каркасу, що жорстко з'єднана з монолітними колонами шляхопроводу 1050*420 мм, другорядні поперек шляхопроводу 550*220 мм, балки деформаційного шва 600*300 мм. Залізобетонна монолітна плита товщиною 220 мм разом з балками та колонами створює жорсткий диск. Монолітні колони виконані у вигляді шафових опор 720*420 мм з підкосами 470*430 мм.

За результатами обстеження конструкцій шляхопроводу були виявлені дефекти і пошкодження елементів, що суттєво знижують несучу спроможність та довговічність шляхопроводу:

- руйнування захисного шару бетону прогонової будови площею до 65 м², оголення і корозія арматури до 10% перерізу;
- корозія бетону в результаті вилуговування;
- наскрізне руйнування монолітної залізобетонної плити;
- поперечні тріщини в опорних колонах розкриттям до 10 мм;
- руйнування захисного шару бетону несучих колон, з оголенням і корозією арматури;
- підсилення колон, що виконане власними силами, не виконує передачу навантаження на фундамент, а навпаки надає додаткове несприятливе навантаження на опору;
- руйнування бетону в тілі підсилення колон, оголення та корозія арматури;
- тріщини в бетоні (розкриття до 5 мм) внаслідок не дотримання технологічних вимог при заливці, укладанні, не дотримання температурно-вологісного режиму в період ремонтів власними силами;
- повне руйнування плити покриття (проїзної частини та тротуару) внаслідок відсутності гідроізоляційного шару, руйнування лакофарбового шару металевих елементів огородження.



Рис. 2. Загальний вигляд шляхопроводу



Рис. 3. Загальний стан конструкцій шляхопроводу

Таблиця 1.

Експлуатаційні стани конструктивних елементів мосту за класифікаційними таблицями ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012

Група конструктивних елементів	Експлуатаційний стан	Надійність, Pt	Характеристика безпеки, bi
Мостове полотно	-	-	-
Прогонова будова	4-обмежено працездатний	0,979771	2,05
Опори та опорні частини	4-обмежено працездатний	0,979771	2,05
Фундаменти	3-працездатний	0,992461	2,43
Підмостова зона	3-працездатний	0,992461	2,43
Підходи	4-обмежено працездатний	0,979771	2,05

Проведена інструментальна зйомка на шляхопроводі для експертної експлуатаційної оцінки та визначення показників потреби виконання експлуатаційних заходів (результати на розрізі споруди рис. 4):

- встановлення режиму утримання споруди;
- встановлення термінів ремонту;
- визначення параметрів підсилення та розширення;
- Прийняття рішення доцільності будівництва нового, реконструкції або капітального ремонту.

Дослідження міцності бетону балок прогонів та опор проводилась з використанням скелерометра Шмідта. Молотком виконувалась серія з 10 ударів, у кожній з яких визначалась міцність бетону на стиск за середньою величиною відскоків бойка. Випробування показали, що міцність бетону несучих конструкцій становить для опор – клас С 12/15, для прогонових будов – клас С 16/20.

З метою оцінки технічного стану шляхопроводу виконане візуальне обстеження його конструкцій, що дало змогу встановити такі основні дефекти та пошкодження його прогонової будови та опор, які виникли в результаті інтенсивної експлуатації шляхопроводу. По результатам візуального обстеження був складений план шляхопроводу з нанесенням на ньому основних пошкоджень та дефектів представлений на рис.5.

Основні висновки по результатам обстеження шляхопроводу:

- руйнування захисного шару бетону балок, з втратою перерізу балки до 15%, оголення та корозія арматури до 10% перерізу;
- силові поперечні тріщини в опорах шляхопроводу з шириною розкриття до 10 мм;
- руйнування захисного шару бетону прогонової будови площею до 65 м², з оголенням і корозією арматури до 10% перерізу;
- відсутній гідроізоляційний шар мостового полотна;
- підсилення опор виконане власними силами не передає навантаження на фундаменти, а спричиняє додаткове несприятливе навантаження на опори;
- оголення та корозія арматури у нижній частині шафової стіни до 30%;
- відсутній захисний шар бетону по сітці в нижній частині шафової стіни на висоту до 1 м;
- зруйноване лакофарбове покриття металевих елементів огороження.

На основі проведеного обстеження встановлено, що конструкції шляхопроводу знаходяться в експлуатаційному стані – 4 обмежено працездатний. Використовуючи концепцію комплексного графо-аналітичного моделювання на основі ВІМ технологій була створена просторова модель існуючої споруди, за допомогою комплексу Arhcad, для оцінки стану шляхопроводу та прийняття рішення по його реконструкції, на основі проведеного обстеження та розрахунків напружено-деформованого стану, оцінки міцності та стійкості споруди з використанням сучасних програмних комплексів LIRA та SCAD рис. 6.

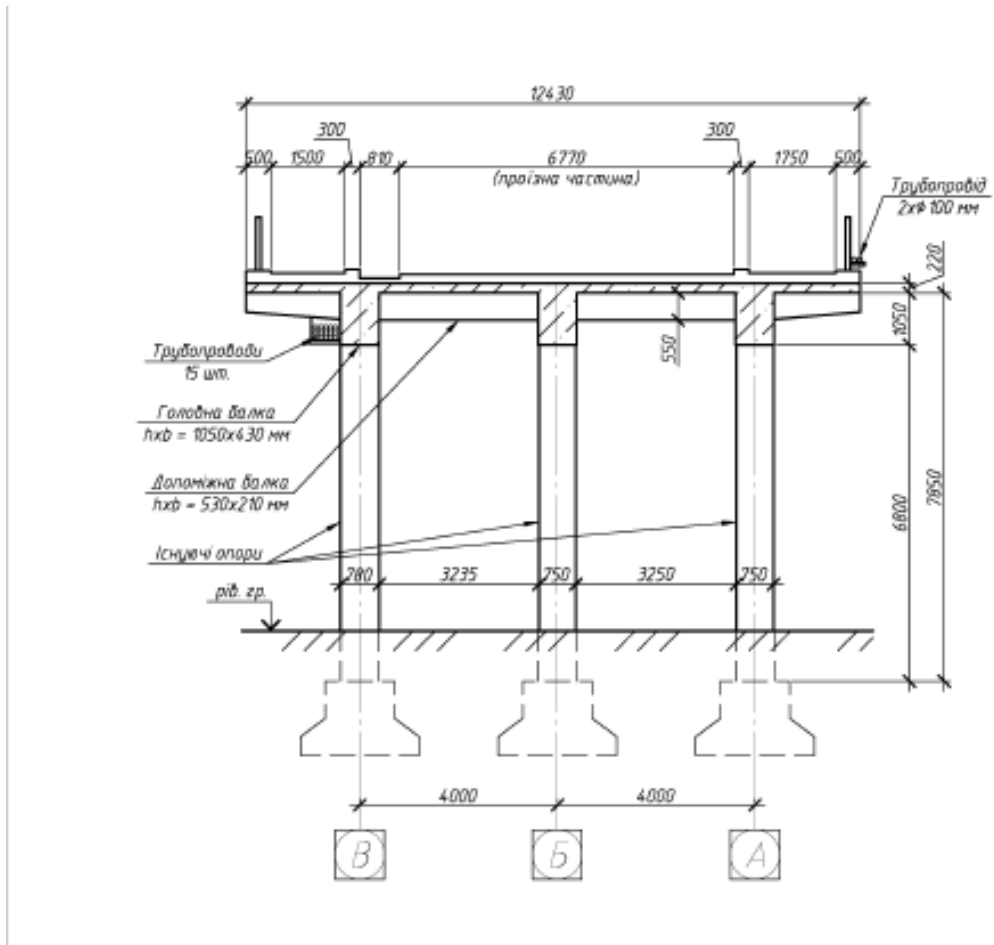


Рис. 4. Розріз пошкодженого шляхопроводу



Рис. 5. План-схема дефектів несучих балок та плити шляхопроводу

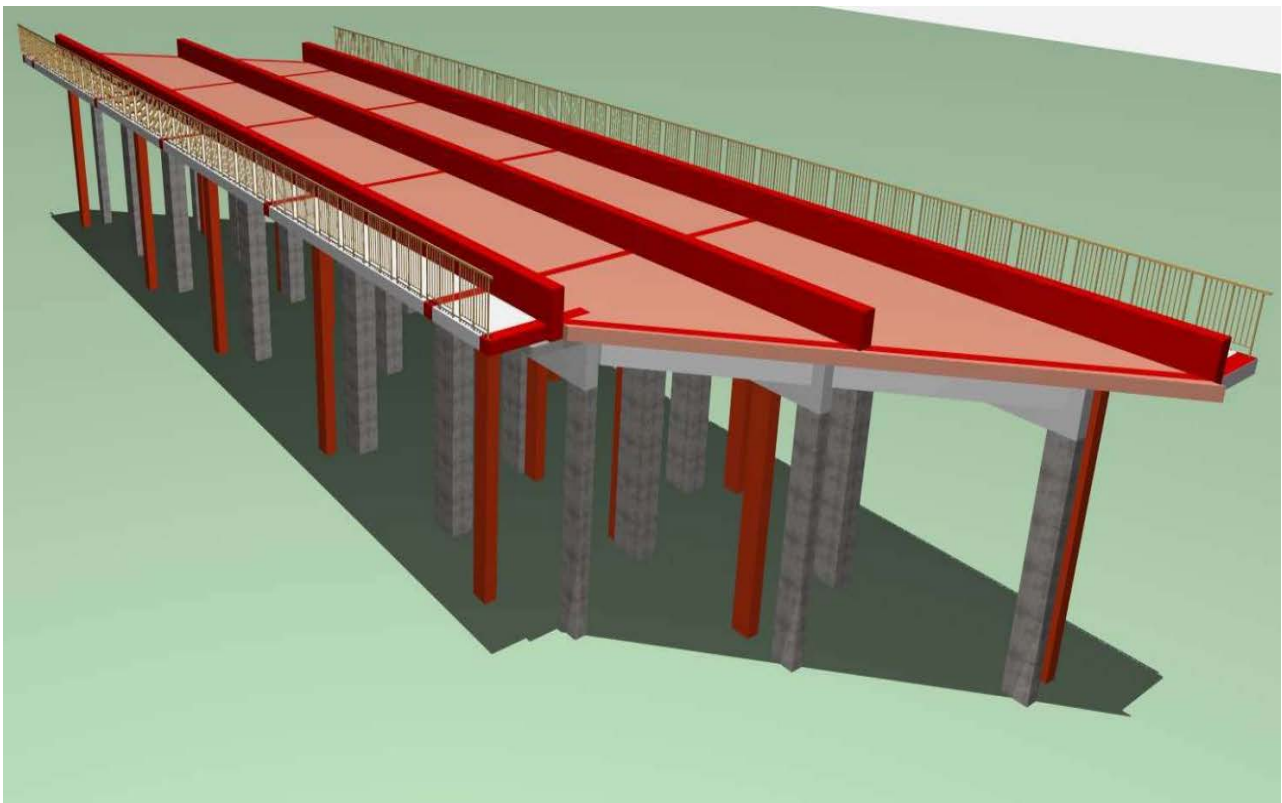


Рис.6. Просторова модель реконструкції шляхопроводу

Для прийняття рішень по подальшій реконструкції шляхопроводу авторами запропоновано декілька варіантів, на основі створеної просторової моделі шляхопроводу, для вибору оптимального варіанту проекту. Була прийнята концепція реконструкції без знесення існуючого шляхопроводу, т.я. залізнична гілка, що проходить під шляхопроводом постійно експлуатується і не може бути зупинена на час руйнування конструкції шляхопроводу по технологічним умовам виробництва.

Передбачається, що конструкція існуючого шляхопроводу в процесі реконструкції буде використана як основа для створення нової монолітної залізобетонної конструкції шляхопроводу і в подальшому буде експлуатуватись разом з новим шляхопроводом. Прийнятий до розгляду варіант конструкції нового шляхопроводу буде спроектований повністю незалежним від конструкції існуючого, але в процесі його зведення конструкція існуючого шляхопроводу використовується в якості підтримуючої опалубки для створення нового шляхопроводу. Можливість такого рішення підтверджена розрахунками створеної просторової моделі шляхопроводу. План та розріз шляхопроводу представлені на рис.7 та рис.8.

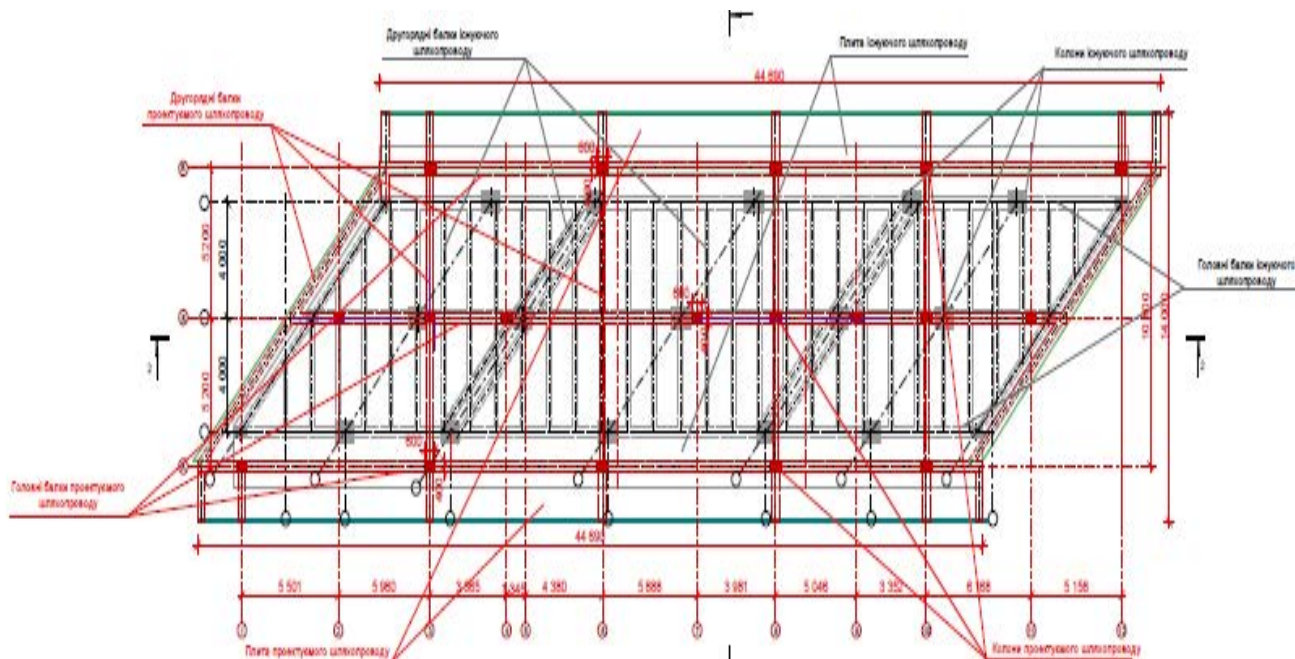


Рис.7. План проектуемого шляхопроводу

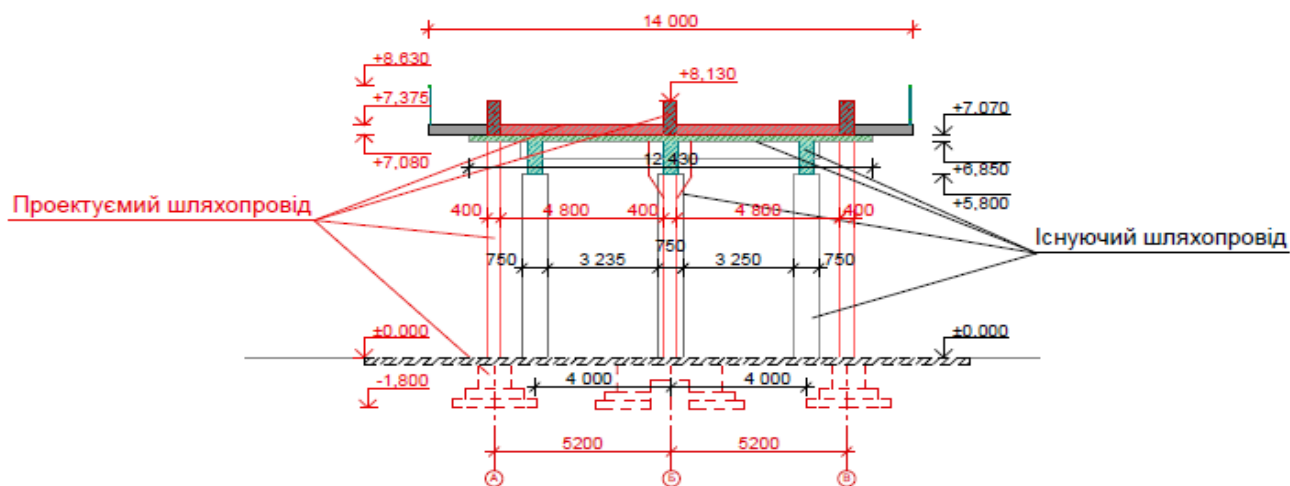


Рис.8. Розріз проектуемого шляхопроводу

Література

1. Kosheviy O.P., Kosheva V.O., Levkivskiy D.V., Morzharovskiy 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. Плоский В.О. Функціональність графіки як методологічна основа графічних технологій// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Вип. 92. Київ: КНУБА, 2016.С.93-99.
4. Звіт з обстеження та оцінки технічного стану будівельних 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. Побудова комплексної моделі функціонування енергоактивних об'єктів архітектури // Н. т. збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. Випуск 98. – Київ : КНУБА, 2020 р. – 160с. 74-84.
8. Кошева В., Гетун Г., Безклубенко І., Кошева І. Етапи розвитку бетону та досвід використання залізобетонних конструкцій // Н. т. збірник «Будівельні конструкції. Теорія і практика». Вип. 10. – Київ: КНУБА, 2022 р. - с.42-55.
9. Кошева В.О., Гетун Г.В., Соломін А.В., Лесько І.М., Кузнецов Д.С. Вимоги до показників енергоефективних будівель в Україні // Н. т. збірник «Наука и образование» XIII Міжнародної наукової конференції в м. Хайдусобосло, Угорщина, 4-13 січня 2019.– с. 14-23.
10. 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, - 570 с.78-82.
11. 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. – р. 342-358.
12. 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. – р. 50-65.
13. 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.

14. 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.

15. 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.

Ph.D., associate Professor **Kosheviy Oleksandr**,
Ph.D., associate Professor **Kosheva Victoria**,
Ph.D., associate Professor **Levkivskyi Dmytro**,
Yansons Marina, Chubarev Anton, Marchuk Oleksandr,
Kyiv national university of construction and architecture

DESIGNING A COMPREHENSIVE MODEL FOR THE RECONSTRUCTION OF AN OVERPASS BASED ON A SURVEY USING BIM-TECHNOLOGIES

The paper presents the main ideas and possibilities of building a comprehensive spatial graph-analytic model for the study and analysis of the stress-strain state, strength, and stability of building structures and architectural objects based on their inspection using BIM technologies. The created integrated model of the structure is used to further make optimal decisions on the selection of design options for the recovery and reconstruction of the overpass and significantly speeds up the design work. The paper presents the results of creating a comprehensive spatial model for the reconstruction of the reinforced concrete overpass № 11a of PAT "МК" Azovstal" in Mariupol based on the visual and instrumental inspection of the overpass condition and conclusions about the strength characteristics of the main supporting structures. Based on the created integrated model, the analysis of the structure's NDC, strength and stability was carried out and design solutions for the reconstruction of the overpass were proposed. Conclusions were drawn for further development of the reconstruction project.

Keywords: complex spatial models; graphical and analytical models; computer modelling; BIM technologies; stress-strain state; strength; stability; reconstruction and rehabilitation of objects; optimal design option.

REFERENCES

1. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Levkivskiy D.V., Morzharovskiy 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”. Vypusk 100. Vidpovidal'nyy redaktor Vanin V. V. – Kyiv: KNUBA, 2021. – 230 s. 172-181 p. {in Ukrainian}
3. Ploskyi V.O. Funktsional'nist' hrafiky yak metodolohichna osnova hrafichnykh tekhnolohiy (Functionality of graphics as a methodological basis of graphic technologies) // Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika. Vol. 92. Kyiv: KNUBA, 2016. p.93-99. {in Ukrainian}
4. Zvit z obstezhennya ta otsinky tekhnichnoho stanu budivel'nykh 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 vyprovuvannya (Transport structures. Bridges and pipes. Surveys and tests). {in Ukrainian}
7. Kosheva V.O. Pobudova kompleksnoyi modeli funktsionuvannya enerhoaktyvnykh ob'ektiv arkhitektury (Designing of a complex model of the functioning of energy-active objects of architecture)// N. t. zbirnyk “Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika”. Vol. 98. – Kyiv: KNUBA, 2020. – 160s. 74-84 p. {in Ukrainian}
8. Kosheva V., Hetun H., Bezklubenko I., Kosheva I. Etapy rozvytku betonu ta dosvid vykorystannya zalizobetonnykh konstruktsiy (Stages of concrete development and experience of using reinforced concrete structures)// N. t. zbirnyk «Budivel'ni konstruktsiyi. Teoriya i praktyka». Vol. 10. – Kyiv: KNUBA, 2022. - p.42-55. {in Ukrainian}
9. Kosheva V.O., Hetun H.V., Solomin A.V., Les'ko I.M., Kuznetsov D.S. Vymohy do pokaznykiv enerhoefektyvnykh budivel' v Ukrayiny (Requirements for indicators of energy-efficient buildings in Ukraine) // N. t. zbirnyk «Nauka y obrazovanye»

KHIII Mizhnarodnoyi naukovoï konferentsiyi v m. Khaydusoboslo, Uhorschchyna, 4-13 sichnya 2019. – p. 14-23. {in Ukrainian}

10. 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}

11. 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}

12. 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}

13. 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}

14. 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}

15. 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}