

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.324-333

УДК 539.3

к.т.н., доцент **Кошевий О.П.**,

koshevyi.op@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7796-0443

к.т.н. **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,

Смоленський А.О.,

smolenskyi.av@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5464-5064,

Рубінський О.І.,

rubinskyi_oi-2023@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0009-7706-5199,

Йовко М.М.,

yovko_mm@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0001-0582-4389,

Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ПОШКОДЖЕНИХ ПОКРИТТІВ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРОЕКТІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ НА ОСНОВІ ЇХ ОБСТЕЖЕННЯ

Приведено основні ідеї та можливості методики чисельного моделювання та створення комплексних моделей пошкоджених покриттів будівель та споруд на основі обстеження їх стану, з використанням BIM технологій, що дає можливості для подальшого прийняття оптимальних проектних рішень і значно прискорює проектні роботи. Представлені чисельні моделі пошкоджених покриттів двоповерхового житлового будинку та п'ятиповерхового учбового корпусу, створені на основі технічного обстеження стану споруд, та розроблені проекти відновлення і реконструкції на основі висновків чисельного моделювання споруд. Результати чисельного дослідження комплексних просторових моделей і висновків про стан та міцнісні характеристики конструкцій покриттів, на основі їх обстеження, значно розширюють можливості в прийнятті проектних рішень для створення проектів відновлення та реконструкції і впровадження перспективних розробок в їх спорудження.

Ключові слова: комплексні чисельні просторові моделі, методика комп'ютерного моделювання, BIM технології, міцнісні характеристики, пошкоджені покриття будівель, технічне обстеження будівель, відновлення та реконструкція, впровадження перспективних розробок, оптимальний варіант проекту.

Методика створення комплексних чисельних просторових моделей дослідження стану, залишкової міцності та жорсткості конструкцій, що враховує світовий і вітчизняний досвід проектування та відновлення конструкцій з використанням сучасних ВІМ технологій, спрямована на вирішення важливої соціально-економічної та наукової проблеми, яка 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 [1,2].

У військових умовах при атаках на інфраструктурні об'єкти можливе часткове пошкодження або повне руйнування будинків та споруд, що потребує дослідження та оцінки їх стану, залишкової міцності та жорсткості конструкцій, для подальшого прийняття оптимальних проєктних рішень по їх відновленню, реконструкції та будівництву. Створення методики чисельного моделювання та дослідження стану пошкоджених конструкцій покриттів будівель та споруд значно прискорює оцінку можливостей подальшого відновлення, прийняття оптимальних проєктних рішень з використанням перспективних розробок, на основі результатів комплексного технічного обстеження будівель в цілому [3,4].

В статті розглядається чисельне моделювання стану покрівлі житлового будинку по вул. Машинобудівників, 8 в смт. Чабани, Фастівського району, Київської області (рис. 1) та даху навчального корпусу з прибудовами комунального закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Київський професійний коледж технологій та дизайну», за адресою: м. Київ, провулок Куренівський, 4 (рис. 2), по результатам технічного обстеження стану конструкцій будівель

Проведено візуальну оцінку загального стану основних конструкцій даху житлового будинку в смт. Чабани - обстежено навколишню територію для визначення наявності сучасних інженерно-геологічних процесів на майданчику. За результатами візуального обстеження встановлено, що технічний стан об'єкту в цілому непридатний до нормальної експлуатації (категорія -3) та потребує капітального ремонту та відновлення [12,13].



Рис. 1. Загальний вигляд житлового будинку по вул. Машинобудівників, 8 в смт. Чабани, Фастівського району, Київської області.

Проведено візуальну оцінку та інструментальні дослідження загального стану покрівлі будівлі основного корпусу, їдальні та актової зали, також стін і покрівлі технічного поверху основного корпусу в КПКТД м. Київ. За результатами візуального обстеження встановлено, що технічний стан об'єкту в цілому непридатний до нормальної експлуатації (категорія -3) та потребує капітального ремонту та відновлення [14,15].



Рис.2. Загальний вигляд навчального корпусу з прибудовами комунального закладу професійної освіти «Київський професійний коледж технологій та дизайну», за адресою: м. Київ, провулок Куренівський, 4.

Для чисельного моделювання були сформовані та розглянуті просторові моделі будівель за допомогою програмних комплексів Arhacad та, Autocad, і

створена розрахункова чисельна модель для дослідження залишкової міцності та жорсткості конструкцій покриття в програмному комплексі LIRA SAPR. По результатам чисельного моделювання стану конструкцій покриття будівель були прийняті рішення по їх капітальному ремонту, на основі проведеного обстеження та розрахунків напружено-деформованого стану, оцінки міцності та жорсткості конструкцій покриття будівель, розроблені проекти капітального ремонту з використанням сучасних матеріалів та технологічних рішень [12-15].

Висновки. По результатам чисельного моделювання просторових моделей житлового будинку в смт. Чабани та навчального корпусу з прибудовами КПКТД м. Київ, на основі їх обстеження, визначений стан конструкцій покриття та проведена оцінка їх міцності та жорсткості. Визначена необхідність проведення капітальних ремонтів конструкцій покриття в обох будівлях, визначені місця підсилення та заміни зруйнованих конструктивних елементів та розроблені проекти капітального ремонту будівель [12, 14]. Проведені розрахунки енергоефективності огорожуючих конструкцій та перекриттів просторових моделей будівель для розробки проектів по їх модернізації та підвищенню стану енергоефективності до сучасних вимог, за рахунок використання перспективних розробок та сучасних матеріалів і технологій [5,8]. На рис. 3 представлено конструкцію вузла заміни покриття утеплення даху, на рис. 4 схема утеплення даху технічного поверху навчального корпусу з прибудовами КПКТД м. Київ, що розроблена на основі теплотехнічного розрахунку.

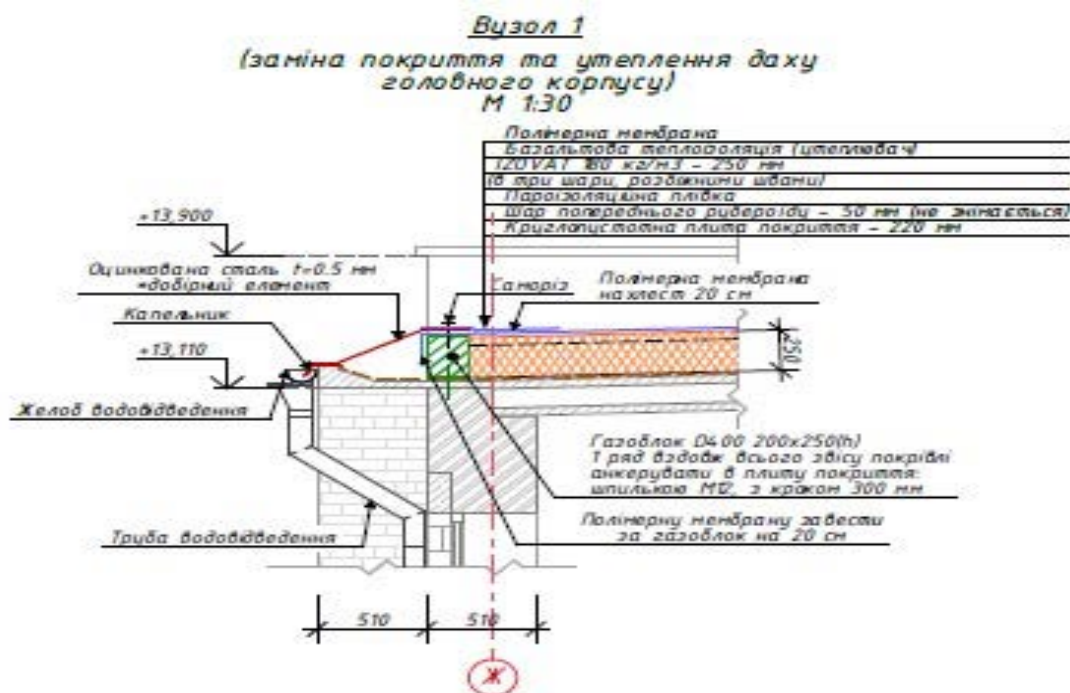


Рис.3. Конструкція вузла заміни покриття утеплення даху

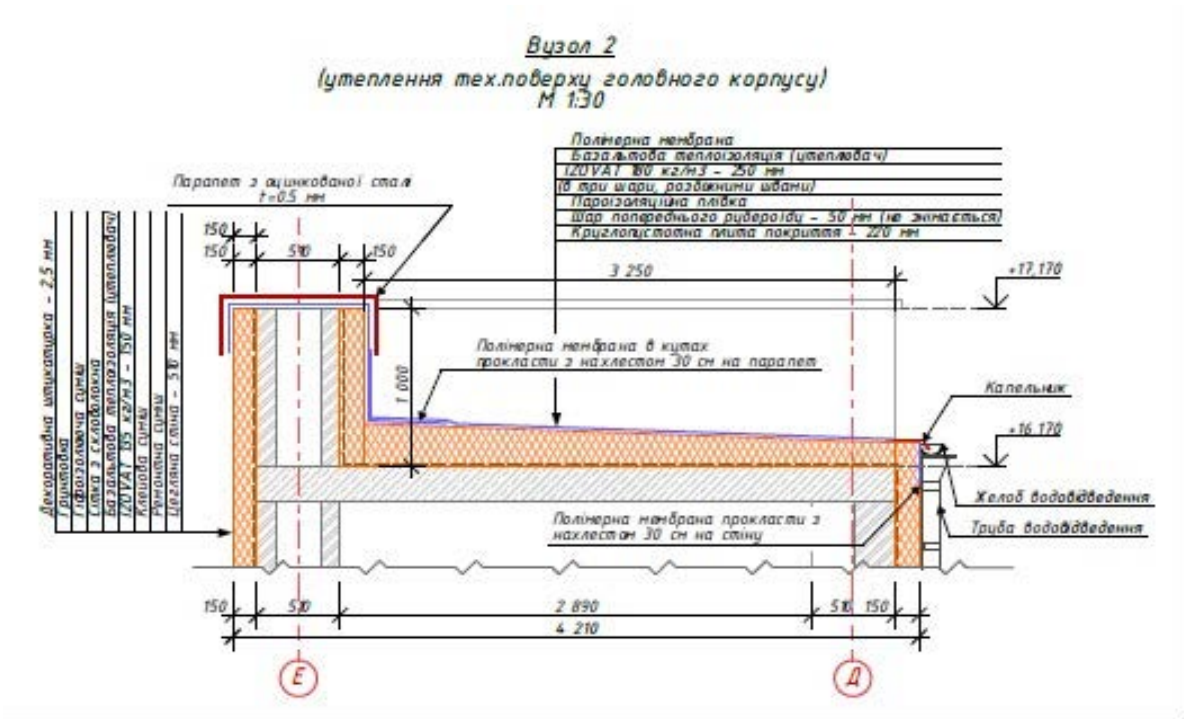


Рис. 4. Конструктивне рішення вузла утеплення даху технічного поверху навчального корпусу.

На рис. 5-7 представлені план кроквяної системи з дерев'яних елементів та розрізи для капітального ремонту покрівлі житлового будинку в смт. Чабани.

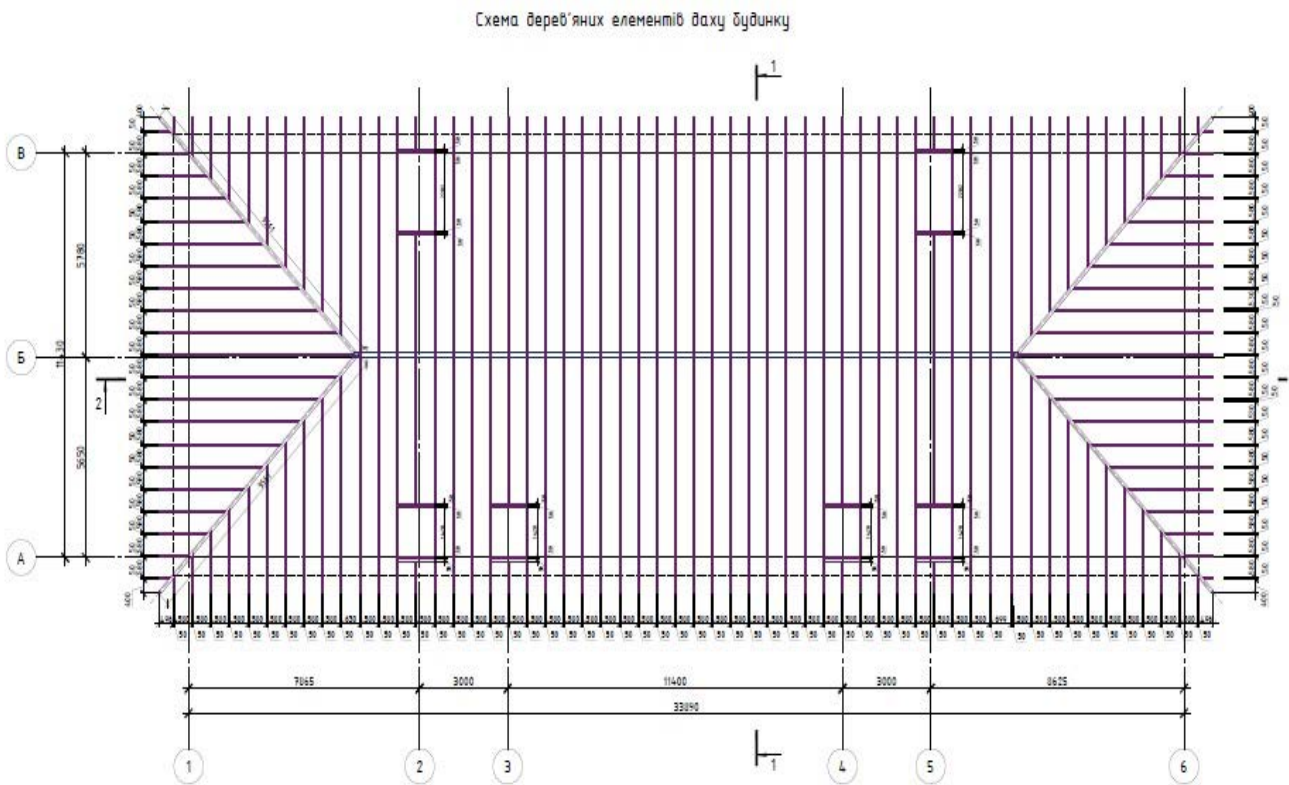


Рис.5. План кроквяної системи з дерев'яних елементів

Розріз 1-1 до реконструкції
М 1:100

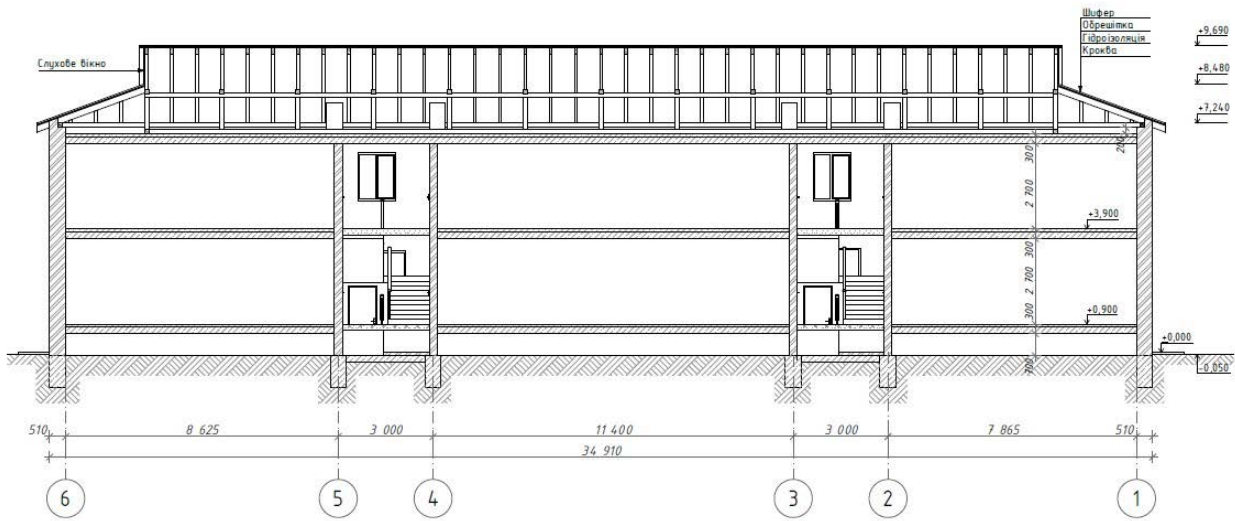


Рис.6. Поздовжній розріз житлового будинку

Розріз 2-2 до реконструкції
М 1:100

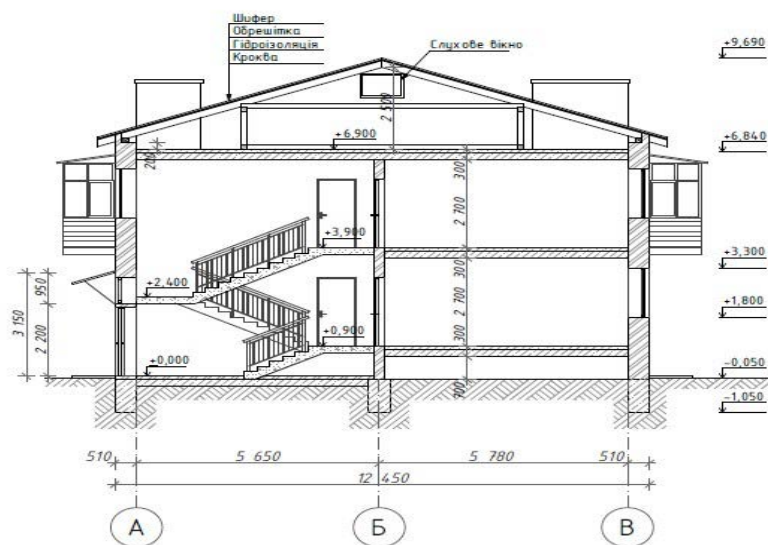


Рис.7. Поперечний розріз житлового будинку

Розроблена комплексна методика чисельного моделювання та дослідження стану пошкоджених будівель та споруд на основі використання BIM технологій, по результатам технічного обстеження, значно прискорює прийняття рішень по їх відновленню та реконструкції, що дає можливість розробки проєктів з використанням перспективних розробок, сучасних матеріалів та технологій та швидко приймати оптимальні проєктні рішення [11] за рахунок комплексного та одночасного використання різних чисельних методів дослідження та проєктування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. – 313 p. 342-358.
2. Кошевий О.П., Левківський Д.В., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. Моделювання температурних впливів в масивних тілах за допомогою модифікованого метода прямих / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 82. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 185-197.
3. Кошевий О.П., Левківський Д.В., Кошева В.О., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. Побудова комплексної моделі реконструкції шляхопроводу на основі обстеження з використанням вим-технологій/ Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 83. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 143-155.
4. Кошевий О.П., Левківський Д.В., Кошева В.О., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. Чисельне моделювання просторової моделі шляхопроводу для оцінки міцності та жорсткості на основі обстеження з використанням розрахункового комплексу LIRA / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 84. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 171-180.
5. 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.
6. Чубарев А.Г. Про застосування модифікованого метода прямих в задачах термопружності нетонких пластин // Н. т. збірник «Містобудування та територіальне планування», Випуск. 80, К.:КНУБА, 2022р. – с.486-498.
7. Кошевий О.П., Рубінський О.І., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. Чисельне моделювання просторової моделі пошкодженого торгово-розважального комплексу з паркінгом для оцінки міцності і жорсткості констукцій та створення проекту реконструкції / “Strength of materials and theory of structures”.Issue 113. – Kyiv: KNUCA, 2024. – 313 p. 297-304.
8. Григор’єва Л.О. Іванченко Г.М., Кошевий О.О., Кошевий О.П. Чисельне дослідження параметричної оптимізації вимушених частот коливання оболонки мінімальної поверхні на трапецевидному контурі при термосиловому навантаженні/ “Strength of materials and theory of structures”.Issue 110. – Kyiv: KNUCA, 2023. – 313 p. 430-446.
9. Чибіряков В.К., Кошевий О.П., Чубарев А.Г. Про один алгоритм для розв’язування задач термопружності на основі узагальненого метода прямих // BUILD-MASTER-CLASS-2018: Proceedings of international scientific-practical conference of young scientists. «Видавництво Ліра-К». – Вип. 74 –К.: КНУБА, 2018. – 190-191 с.
10. Кошевий О.П., Кошева В.О., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. Чисельне моделювання температурних впливів на шляхопровід для створення просторової комп’ютерної моделі реконструкції / “Strength of materials and theory of structures”.Issue 112. – Kyiv: KNUCA, 2024. – 313 p. 161-169.
11. «Капітальний ремонт покрівлі житлового будинку по вул. Машинобудівників, 8 в смт. Чабани, Фастівського району, Київської області», PD01:8909-1925-0126-6236, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3151018033338648079/optype=4
12. Експертиза проекту, «Капітальний ремонт покрівлі в житловому будинку за адресою: вул. Машинобудівників, 8, смт. Чабани, Фастівський район, Київська область.», EX01:0334-6453-5515-3398, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3150333003293525749/optype=6

13. «Капітальний ремонт даху навчального корпусу з прибудовами комунального закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Київський професійний коледж технологій та дизайну», за адресою: м. Київ, провулок Куренівський, 4», PD01:8467-2651-3728-0037, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3268458405265671757/optype=4

14. Експертиза проекту, «Капітальний ремонт даху навчального корпусу з прибудовами комунального закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Київський професійний коледж технологій та дизайну», за адресою: м. Київ, провулок Куренівський, 4», EX01:7026-9589-5682-3910, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3277023120732456248/optype=6

Candidate of technical sciences, associate professor **Koshevyi Oleksandr**,
Candidate of technical sciences, associate professor **Yansons Maryna**,
Assistant **Chubarev Anton**,
PhD student **Rubinskyi Oleksii**,
Assistant **Smolenskyi Artur**,
PhD student **Yovko Mykola**,
Kyiv national university of construction and architecture

NUMERICAL MODELING METHODOLOGY FOR DAMAGED BUILDING ROOFS TO DEVELOP RECONSTRUCTION AND RESTORATION PROJECTS BASED ON STRUCTURAL INSPECTIONS

This paper presents the main ideas and capabilities of a methodology for numerical modeling and the creation of comprehensive models of damaged building roofs and structures based on their condition assessment. The use of BIM technologies enables the adoption of optimal design decisions and significantly accelerates the design process. Numerical models of damaged roofs of a two-story residential building and a five-story educational facility are presented, developed based on the results of technical inspections. Restoration and reconstruction projects were created based on conclusions drawn from the numerical modeling of these structures. The results of the numerical analysis of complex spatial models, as well as conclusions about the condition and strength characteristics of the roof structures based on the inspections, significantly expand the possibilities for making informed design decisions in reconstruction and restoration projects and contribute to the implementation of innovative developments in construction.

Keywords: complex numerical spatial models; computer modeling methodology; BIM technologies; strength characteristics; damaged building roofs; technical building inspection; restoration and reconstruction; implementation of innovative developments; optimal project solution.

REFERENCES

1. Koshevyi O.P., Levkivskyi D.V., Chubarev A.H., Yansons M.O. Modyfikovanyi metod pryiamykh v statychnykh zadachakh visesymetrychnykh netonkykh plastyn/ Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”, Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – 313 p. 342-358. {in Ukrainian}
2. Koshevyi O.P., Levkivskyi D.V., Yansons M.O., Chubarev A.H., Marchuk O.S. Modelyuvannya temperaturnykh vplyviv v masyvnykh tilakh za dopomohoyu modyfikovanoho metoda pryamykh (Modeling temperature effects in massive bodies using of the modified method of direct lines) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 82. – Kyiv, KNUBA, 2023. – p. 185- 197. {in Ukrainian}
3. Koshevyi O.P., Levkivskyi D.V., Kosheva V.O., Yansons M.O., Chubarev A.H., Marchuk O.S. Pobudova kompleksnoyi modeli rekonstruktsiyi shlyakhoprovodu na osnovi obstezhennya z vykorystanniam vim-tekhnologiy (Construction of a complex reconstruction model overpass based on survey using vim-technologies) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 83. – Kyiv, KNUBA, 2023. – p. 143-155. {in Ukrainian}
4. Koshevyi O.P., Levkivskyi D.V., Kosheva V.O., Yansons M.O., Chubarev A.H., Marchuk O.S. Chysel'ne modelyuvannya prostоровoyi modeli shlyakhoprovodu dlya otsinky mitsnosti ta zhorstkosti na osnovi obstezhennya z vykorystanniam rozrakhunkovoho kompleksu LIRA (Numerical modeling of a spatial model overpass to assess the strength and rigidity based on the examination of using the calculation complex LIRA) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 84. – Kyiv, KNUBA, 2023. – p. 171-180. {in Ukrainian}
5. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Trobiuk O.M. Systemno hrafichno-interpretovani modeli stvorennia enerhoefektyvnykh budivel / N.t. zbirnyk “Prykladna heometriia ta inshenerna hrafika”. Vol. 100. Editor-in-chief Vanin V.V. – Kyiv: KNUBA, 2021 – 230 p. 172-181. {in Ukrainian}
6. Chubarev A.H. Pro zastosuvannya modyfikovanoho metoda pryiamykh v zadachakh termopruzhnosti netonkykh plastyn // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. Vol. 80. - Kyiv, KNUBA, 2022. – p. 486-498. {in Ukrainian}
7. Koshevyi O.P., Rubinskyi O.I., Yansons M.O., Chubarev A.H., Marchuk O.S. Chyselne modelyuvannya prostоровoi modeli poshkodzhеноho torhovo-rozvezhalnogo kompleksu z parkinhom dlia otsinky mitsnosti i zhorstkosti konstruktsii ta stvorennia proiektu rekonstruktsii / “Strength of materials and theory of structures”. Issue 113. – Kyiv: KNUCA, 2024. – 313 p. 297-304. {in Ukrainian}

8. Hryhor'yeva L.O. Ivanchenko H.M., Koshevyi O.O., Koshevyi O.P. Chysel'ne doslidzhennya parametrychnoyi optymizatsiyi vymushenykh chastot kolyvannya obolonky minimal'noyi poverkhni na trapetsevydnomu konturi pry termosylovomu navantazhenni (Numerical optimization of forced vibration frequencies of minimal surface shells under thermomechanical loading)// "Strength of materials and theory of structures". Issue 110. – Kyiv: KNUCA, 2023. – 313 p. 430-446. {in Ukrainian}
9. Chybiriakov V.K., Koshevyi O.P., Chubarev A.H. Pro odyh alhorytm dlia rozviazuvannya zadach termopruzhnosti na osnovi uzahalnenoho metoda pryiamykh // BUILD-MASTER-CLASS-2018: Proceedings of international scientific-practical conference of young scientists. «Vydavnytstvo Lira-K». – Vol. 74 – Kyiv: KNUCA, 2018. – p. 190-191. {in Ukrainian}
10. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Yansons M.O., Chubarev A.H., Marchuk O.S. Chyselne modeliuвання temperaturnykh vplyviv na shliakhoprovid dlia stvorennia prostоровoi kompiuternoї modeli rekonstruktsii / "Strength of materials and theory of structures". Issue 112. – Kyiv: KNUCA, 2024. – 313 p. 161-169. {in Ukrainian}
11. «Overhaul of the roof of a residential building at 8 Mashinobudivnyky St. in the village of Chabany, Fastiv district, Kyiv region», PD01:8909-1925-0126-6236, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3151018033338648079/optype=4. {in Ukrainian}
12. Project examination, «Overhaul of the roof of a residential building at 8 Mashinobudivnyky St. in the village of Chabany, Fastiv district, Kyiv region», EX01:0334-6453-5515-3398, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3150333003293525749/optype=6. {in Ukrainian}
13. «Major repairs to the roof of the educational building with extensions of the municipal institution of professional (vocational and technical) education "Kyiv Professional College of Technologies and Design, at the address: Kyiv, Kurenivskyi Lane, 4», PD01:8467-2651-3728-0037, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3268458405265671757/optype=4. {in Ukrainian}
14. Project examination, «Major repairs to the roof of the educational building with extensions of the municipal institution of professional (vocational and technical) education "Kyiv Professional College of Technologies and Design, at the address: Kyiv, Kurenivskyi Lane, 4», EX01:7026-9589-5682-3910, https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3277023120732456248/optype=6. {in Ukrainian}