НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

науково-технічний журнал

№ 44/2024

Технології та обладнання для підготовки будівельних відходів до використання с. 8

Застосування методів математичного опрацювання і ГІС-технологій у плануванні розвитку територій с. 45

Використання лазерних технологій у будівництві с. 62

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 21943-11843ПР від 31.03.2016 р.
Внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі технічних наук зі спеціальностей 191 «Архітектура та містобудування», 192 «Будівництво та цивільна інженерія» на підставі Наказу МОН України від 17.03.2020 р. № 409 та 051 «Економіка», 073 «Менеджмент» на підставі Наказу МОН України від 02.07.2020 р. № 886.

Науково-технічний журнал заснований у січні 2001 року.

Співзасновниками є: Академія будівництва України (АБУ), ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП «НДІБВ») та Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА).

Видається НДІБВ 2 рази на рік.

Для співробітників науково-дослідних та проектних інститутів, спеціалістів будівельних організацій, викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Редакційна колегія:

Григоровський П. Є., головний редактор, д.т.н., с.н.с.;
Басанський В. О., заступник головного редактора, к.т.н.;
Барабаш М. С., д.т.н., с.н.с.;
Бєлєнкова О. Ю., к.е.н., доцент;
Шумаков І. В., д.т.н. професор;
Данченко Ю. М., к.т.н., проф.;
Менейлюк О. І., д.т.н., проф.;
Радкевич А. В., д.т.н., проф.;
Рижакова Г. М., д.е.н., проф.;
Стеценко С. П., д.е.н., проф.;
Тугай О. А., д.т.н., проф.;
Вахович І. В., к.е.н.

Зарубіжні члени редколегії:

Дзвігол Хенрік, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща;
Котовіч Януш, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща;
Кузьор Олександра, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща).

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату
за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

www.ntinbuilding.ndibv.org.ua; editor@ntinbuilding.ndibv.org.ua; тел. +38 (066) 642 61 92
Літературний редактор Н.В. Славогородська
Технічний редактор І.В. Азанова
Художнє оформлення А.С. Юдашкіна
Комп'ютерна верстка та графіка Н.С. Кузнєцова

Затвержено до друку Вченою радою інституту, протокол № 1 від 18.04.2024 р.
Редакція не несе відповідальність за достовірність наведеної в статтях інформації
Адреса редколегії журналу:
03110, Київ, МСП, пр. В. Лобановського, 51

© НДІБВ, 2024

УДК 625.7/.8
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.1

Батракова А.Г.
д.т.н., професор кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Урдзік С.М.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

ЗАЛУЧЕННЯ ГЕОРАДАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ У ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

Анотація. *В публікації наведено аналіз досліджень можливості та актуальності впровадження у практику обстеження автомобільних доріг неруйнівні технології, такі як георадарні системи. Розглянуто та проаналізовано перспективи розвитку даного наукового напрямку. Сформульовано задачі, які можуть бути вирішені за допомогою георадарного обладнання при обстеженні дорожнього одягу та земляного полотна автомобільних доріг, а також проаналізовано основні причини, що перешкоджають більш динамічному впровадженню георадарних технологій в будівельній галузі. Приведено зразок георадарного обладнання та програмного забезпечення, розроблених вітчизняними науковцями та призначеного для проведення експериментальних досліджень, що спрямовані на розробку сучасних методик товщинометрії та дефектоскопії конструктивних шарів дорожнього одягу та земляного полотна. Приведено результати експериментальних лабораторних досліджень, що підтверджують адекватність запропонованої методики, яка дозволяє з досить високою точністю відновлювати товщину конструктивного шару дорожнього одягу, що досліджується. Наведено результати польових та лабораторних досліджень по визначенню товщини конструктивних шарів автомобільної дороги, що знаходиться на етапі будівництва. За результатами георадарного обстеження, з високою точністю встановлено товщину залізобетонної плити, яка є конструктивним елементом автомобільної дороги. Запропоновано методику дефектоскопії асфальтобетонних шарів дорожнього одягу, а також послідовність дій для вирішення завдання пошуку локальних включень та арматури в конструктивних шарах дорожнього одягу. За результатами проведених наукових досліджень можна зробити висновок, що георадарне обладнання в поєднанні з відповідним програмним забезпеченням та відповідною методикою проведення досліджень може вирішувати складні завдання, що стоять перед дорожньо-будівельними організаціями та організаціями з утримання та експлуатації автомобільних доріг.*

Ключові слова: георадар, радарограма, дорожній одяг, діелектрична проникність, дефектоскопія, товщинометрія, локальні включення.

Постановка проблеми. На етапі будівництва автомобільної дороги, замовнику важливо мати можливість контролювати технологічні процеси, дотримання будівельниками вимог нормативних документів, відповідність будованого об'єкту проектним даним.

Наступним важливим етапом є експлуатація автомобільних доріг. Для організацій з утримання та експлуатації автомобільних доріг важливою є інформація про поточний технічний стан як всієї дорожньої конструкції, так і її окремих складових. Можливість визначення ділянок, що містять підповерхневі дефекти, локальні включення та встановлення фізико-механічних властивостей шарів дорожнього одягу неруйнівними методами дозволяє вчасно розробляти ремонтні заходи з метою недопущення появи дефектів та подальшого руйнування дорожньої всієї дорожньої конструкції. В сучасних умовах це дозволяє значно заощади фінансові ресурси через можливість прогнозувати розвиток деформацій на початковій стадії їх появи, розробляти проекти з поточного та капітального ремонту автомобільних доріг на основі повної та достовірної інформації про досліджуваний об'єкт.

Аналіз останніх досліджень. У багатьох дослідженнях [1, с. 2; 2, с. 6; 3, с. 8; 4, с. 8] зазначається, що одним із актуальних завдань сучасної будівельної галузі є розробка та впровадження георадарних технологій у практику проведення проектно-вишукувальних робіт та робіт з контролю якості будівництва, що дозволяє оперативно визначати стан будівельних конструкцій без порушення їх цілісності. Впровадження даної технології спрямоване на зниження матеріаломісткості, раціональний розподіл матеріальних та фінансових ресурсів, а також забезпечення несучої здатності дорожніх конструкцій.

Метою статті є проведення аналізу можливості залучення георадарного обладнання для проведення робіт з обстеження конструктивних шарів дорожнього одягу та земляного полотна автомобільних доріг, що знаходяться в експлуатації та на етапі будівництва.

Результати досліджень. Авторами статті проведено низку лабораторних досліджень [5, с. 68], які дозволили з достатньо високою точністю встановлювати значення товщини конструктивних шарів дорожнього одягу. Для шарів з істинною товщиною 9 см, 15 см і 20 см, відновлені за результатами обробки радарограм значення склали 9,1 см, 15,05 см, 20,15 см відповідно.

Наступним етапом досліджень є апробація запропонованої схеми визначення товщини конструктивних шарів дорожніх одягів на різних ділянках автомобільних доріг, що будуються. Розглянемо приклад визначення товщини тротуарних залізобетонних плит. Реальна товщина залізобетонної плити склала 14 см. Рух трасою здійснювався з постійною швидкістю і виконувався на різних розгортках. На рисунку 1 наведено загальний вигляд досліджуваної ділянки автомобільної дороги. На рисунку 2 зображено радарограму, отриману за профілем досліджуваної структури при розгортці 10 нс. «Розмиті ділянки» радарограми відповідають стикам плит.

Значення діелектричної проникності бетону коливається в межах від 5,5 до 9 [6, с. 122]. Воно в першу чергу залежить від складу цементобетонної суміші (фракції щебеню, піску та ін.) та значення вологості.

В нашому дослідженні діелектрична проникність цементобетону була прийнята рівною 7. Обробка даної радарограми за допомогою алгоритму, заснованого на перетворенні Гільберта, дозволила визначити товщину тротуарної плити, яка склала 15 см, що свідчить про хорошу збіжність теоретичних розрахунків та результатів експериментальних досліджень. Перш за все, це стає можливим за рахунок наявності необхідної інформації про досліджуваний об'єкт та його фізико-механічні властивості. Також великий вплив на точність отриманих результатів має алгоритм, що закладений у відповідний профільний програмний комплекс.

Результати обробки радарограми представлені рисунку 3.

Рис. 1. Загальний вигляд досліджуваної ділянки автомобільної дороги

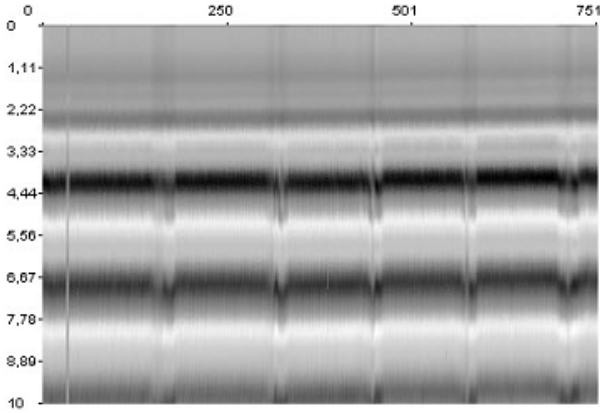


Рис. 2. Радарограма досліджуваної ділянки автомобільної дороги

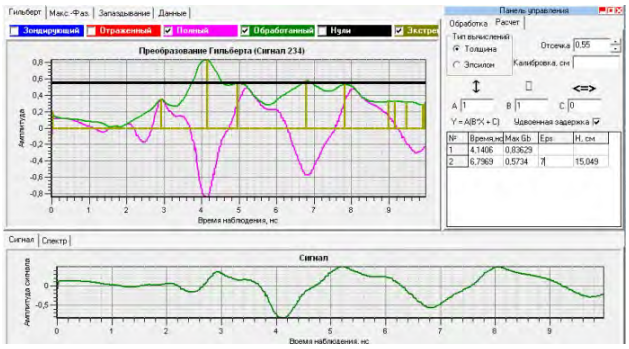


Рис. 3. Вікно обробки радарограми, отриманої при георадарному обстеженні тротуарних плит

Розробка методики дефектоскопії асфальтобетонних шарів дорожнього одягу, а також вирішення завдання пошуку локальних включень та арматури в конструктивних шарах дорожнього одягу вимагають якісно іншого підходу. В основу вирішення задачі пошуку підповерхневих дефектів у конструктивних шарах дорожнього одягу покладено ідеї реєстрації крос-поляризаційної компоненти сигналу. Дослідження проводяться з використанням антенного блоку, що реєструє крос-поляризаційну компоненту відбитого сигналу. Обробка отриманих радарограм в даному випадку зводиться до віднімання двох взаємно ортогональних компонентів сигналу, що дозволяє визначити ділянки середовища з анізотропними властивостями. В даному випадку під ізотропною розуміється середовище з однаковими електрофізичними характеристиками по всіх напрямках та відсутністю дефектів (тріщин, локальних включень).

У такій постановці завдання результуючий імпульс за відсутності дефектів матиме досить малу нормовану амплітуду, що наближається до «0» і може бути прийнятий як нормувальний або еталонний. За наявності дефектів в нижньому шарі покриття характер імпульсу буде істотно відрізнятися від еталонного. Проведення серії модельних експериментів дозволило підтвердити ефективність запропонованого алгоритму виявлення підповерхневих дефектів (рис. 4).

Відомо, що електрофізична контрастність підповерхневих дефектів може суттєво залежати не лише від характеру дефекту, а й від вологості [7, с. 218]. Це пов'язано з істотною різницею у величині діелектричної проникності повітря, матеріалу шару та води. Так, діелектрична проникність (її дійсна частина) повітря ε = 1, асфальтобетону – ε = 7, води – ε = 80. Відмінність у діелектричній проникності середовищ асфальтобетон – вода – асфальтобетон призводить до значної зміни амплітуди, форми і часу проходження зондувального імпульсу, що дає можливість виділення на радарограмах підповерхневих дефектів після відповідної обробки (рис. 6).

Разом з тим, розв'язання задач дефектоскопії у дорожньому будівництві не вичерпується виявленням та позиціонуванням підповерхневих дефектів у вигляді локальних порушень цілісності та ділянок розшарування асфальтобетонних шарів. Досить актуальним є завдання виявлення та позиціонування

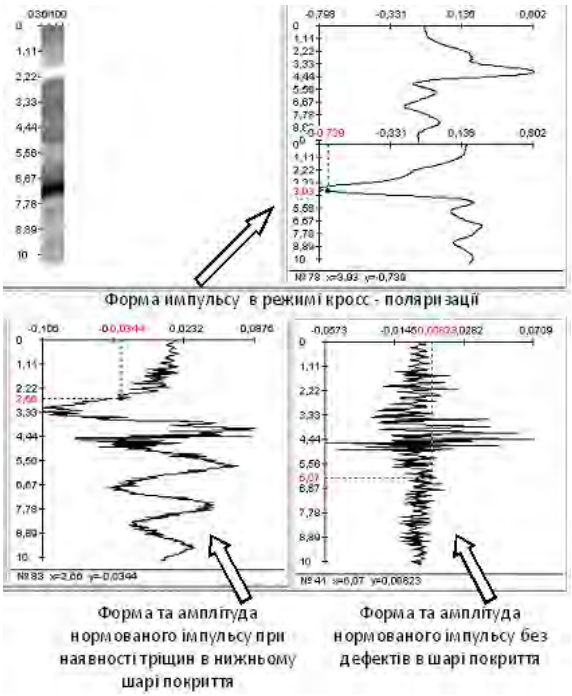


Рис. 4. Експериментальне визначення підповерхневих дефектів за допомогою антенного блоку в режимі крос-поляризації

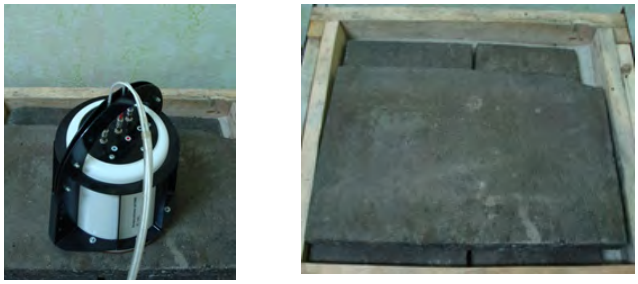


Рис. 5. Антенний блок та модель для пошуку підповерхневих тріщин

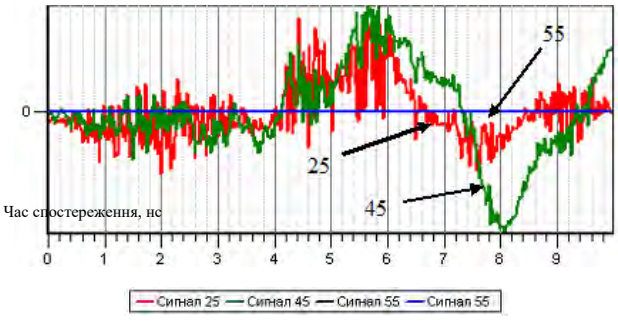


Рис. 6. Моделювання розповсюдження сигналу в нижньому шарі покриття
– сигнал 55 – нормувальний – відсутність дефектів;
– сигнал 45 – наявність тріщини, що заповнена водою;
– сигнал 25 – наявність тріщини, що заповнена повітрям.

сторонніх включень, пошуку комунікацій, визначення місця розташування арматури у конструкціях дорожнього одягу та мостів. Розв'язання даних завдань полягає в вивченні явища дифракції хвиль на сторонніх включеннях досліджуваних середовищах. На радарограмах, одержаних під час проведення лабораторних досліджень, досить чітко позиціонуються металеві включення різного діаметра (рис. 7).

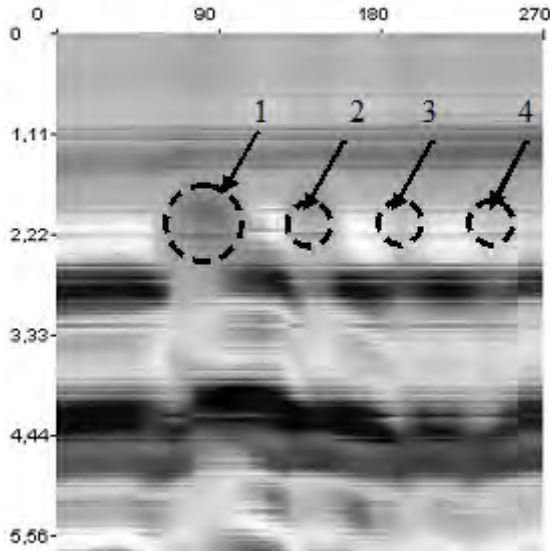


Рис. 7. Лабораторний експеримент з виявлення металевої арматури різного діаметру в шарі суглинку: 1 – пустотіла металева труба d = 27 мм, 2 – арматура d = 11 мм, 3 – металевий стрижень d = 4 мм, 4 – алюмінієва фольга d = 45 мм.

Проведені лабораторні дослідження показали, що форма та характер гіперболи дифрагованої хвилі суттєво залежать від глибини залягання, діаметра та матеріалу об'єкта. Тому подальші дослідження в цьому напрямку повинні бути спрямовані на вивчення форми дифрагованої хвилі, що в кінцевому підсумку дозволяє судити про глибину залягання та діаметр локального стороннього включення.

Слід зазначити також, що при пошуку та ідентифікації арматури у конструктивних шарах дорожнього одягу та елементах мостів виникають труднощі, пов'язані з кроком арматурної сітки. При малому кроці арматурної сітки, у випадку, коли довжина хвилі більша за крок арматурної сітки, відбиття від сусідніх стрижнів арматури зливаються в загальну суцільну границю і роблять практично нерозрізненими нижчі шари конструкції. Вирішення зазначених труднощів можливе шляхом удосконалення як приладової бази так і алгоритмів з обробки та інтерпретації отриманих радарограм.

Таким чином, проведені теоретичні дослідження та обчислювальні експерименти дозволяють стверджувати, що розробка методик товщинометрії та дефектоскопії дорожнього одягу стане основою системи моніторингу дорожнього одягу з використанням методу підповерхневої георадіолокації. Для досягнення поставленої мети було вирішено низку наукових та практичних завдань, а саме:

– проаналізовано та адаптовано задачі товщинометрії плоскошаруватих середовищ з малою товщиною шарів моделі взаємодії електромагнітного випромінювання з плоскошаровими середовищами;

– розроблено алгоритм обробки імпульсних сигналів, відбитих від плоскошаровитих середовищ, заснований на перетворенні Гільберта;

– відпрацьовано методику моделювання поширення електромагнітного імпульсу в конструктивних шарах дорожнього одягу, у тому числі з малою товщиною шару;

– експериментально підтверджено відтворюваність результатів вимірювань та стабільність роботи алгоритму визначення товщини шарів дорожнього одягу за результатами георадарного зондування;

– запропоновано підхід до позиціонування підповерхневих дефектів у конструктивних шарах дорожнього одягу, заснований на аналізі крос-поляризаційної компоненти сигналу;

– ведуться роботи по ідентифікації під поверхневих дефектів;

– розпочато дослідження з формування бази даних електрофізичних характеристик матеріалів та ґрунтів з урахуванням їх дисперсійних властивостей, пов'язаних з вологістю та щільністю (залишковою пористістю).

Висновки та пропозиції подальших досліджень. На думку авторів, перспективними напрямками досліджень у цій галузі є:

– визначення кількісної оцінки зв'язку щільності і вологості матеріалів та ґрунтів земляного полотна з їх електрофізичними характеристиками;

– розв'язання зворотної задачі відновлення профілю діелектричної проникності плоскошарового середовища по набору значень розсіяного нею електромагнітного поля;

– розробка алгоритмів та програм автоматизованого розрахунку товщини конструктивних шарів дорожнього одягу, ідентифікації та позиціонування підповерхневих дефектів за результатами георадарного зондування.

Література

1. Josef Stryk. Road diagnostics – ground penetrating radar possibilities. Intersections Journal, 2008. Vol 5, No 1. 9 p.
2. Wong K.T., Urbaez E. Ground Penetrating Radar (GPR) – a Tool for Pavement Evaluation and Design. Shaping the future: Linking policy, research and outcomes: 25th ARRB Conference. Perth, Australia: Proceedings. 2012. P. 1-13.
3. Li Shengli, Wang Chaoqun, Sun Panxu, Wu Guangming, Wang Dongwei. A localization method for concealed cracks in the road base based on ground penetrating radar. 2016. № 8(12). P. 1-10.
4. M Miskiewicz, J Lachowicz, P Tysiac, P Jaskula, K Wilde. The application of non-destructive methods in the diagnostics of the approach pavement at the bridges. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 356. 8 p.
5. Батракова А.Г., Урдзік С.М. Застосування георадарних технологій при обстеженні дорожнього одягу. // Комунальне господарство міст: Технічні науки та архітектура, 2023. том 3, вип. 177, с. 68-73.
6. Saarenketo T., Scullion T. Road evaluation with ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics. 2000. Vol. 43. PP. 119 – 138.
7. Батракова А.Г. Методологія моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням георадіолокаційних технологій: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.22.11 / ХНАДУ. Х., 2014. 390 с.

References

1. Josef Stryk. Road diagnostics – ground penetrating radar possibilities. Intersections Journal, 2008. Vol 5, No 1. 9 p.
2. Wong K.T., Urbaez E. Ground Penetrating Radar (GPR) – a Tool for Pavement Evaluation and Design. Shaping the future: Linking policy, research and outcomes: 25th ARRB Conference. Perth, Australia: Proceedings. 2012. P. 1-13.
3. Li Shengli, Wang Chaoqun, Sun Panxu, Wu Guangming, Wang Dongwei. A localization method for concealed cracks in the road base based on ground penetrating radar. 2016. № 8(12). P. 1-10.
4. M Miskiewicz, J Lachowicz, P Tysiac, P Jaskula, K Wilde. The application of non-destructive methods in the diagnostics of the approach pavement at the bridges. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 356. 8 p.
5. Batrakova A.G., Urdzik S.M. Application of ground-penetrating radar technologies in the examination of road clothing. // Municipal management of cities: Technical sciences and architecture, 2023. volume 3, issue 177, p. 68-73.
6. Saarenketo T., Scullion T. Road evaluation with ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics. 2000. Vol. 43. PP. 119 – 138.
7. Batrakova A.G. Methodology for monitoring road traffic of a non-zhorsk type due to the stoppage of georadiolocation technologies: dis. ... Dr. tech. sciences: spec. 05.22.11 / KHNADU. H., 2014. 390 p.

THE INVOLVEMENT OF GEORADAR TECHNOLOGIES IN SOLVING THE PROBLEMS OF THE ROAD-CONSTRUCTION INDUSTRY

Abstract. *This work is a continuation of the study on determining the possibility of applying georadar technologies in the road construction industry. The authors of the article conduct research using an antenna unit that registers the cross-polarization component of the reflected signal.*
Also, the publication provides an analysis of research into the possibility and relevance of introducing non-destructive technologies, such as ground-penetrating radar systems, into the practice of highway inspection. The prospects for the development of this scientific direction were considered and analyzed. The tasks that can be solved with the help of georadar equipment during the survey of road wear and the ground surface of highways are formulated, and the main reasons that prevent a more dynamic introduction of georadar technologies in the construction industry are analyzed. A sample of ground-penetrating radar equipment and software developed by domestic scientists and intended for conducting experimental research aimed at the development of modern methods of thickness measurement and defectoscopy of structural layers of road wear and subgrade is given. The results of experimental laboratory studies are presented, which confirm the adequacy of the proposed method, which allows to restore the thickness of the structural layer of the road wear under investigation with a fairly high accuracy. The results of field and laboratory studies on determining the thickness of the structural layers of the road under construction are presented. According to the results of the ground-penetrating radar survey, the thickness of the reinforced concrete slab, which is a structural element of the highway, was determined with high accuracy. The method of flaw detection of asphalt concrete layers of road wear is proposed, as well as the sequence of actions for solving the task of finding local inclusions and reinforcement in structural layers of road wear. Based on the results of scientific research, it can be concluded that ground-penetrating radar equipment in combination with appropriate software and the appropriate research methodology can solve complex tasks facing road construction organizations and highway maintenance and operation organizations.
Key words: ground penetrating radar, radarogram, non-rigid pavement, dielectric permeability, defectoscopy, thickness measurement, local inclusions.

Batrakova A.G.
Doctor of Technical Sciences, Professor at the Road Design, Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Urdzik S.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Road Design,
Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

УДК 69:001.89; 69:658.567
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.2

Григоровський П.Є.
д.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Червяков Ю.М.
к.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Басанський В.О.
к.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Мурасьова О.В.
к.т.н., ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Халупка Ю.М.
інженер, ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

Бількевич Ю.В.
інженер, ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Блицького», м. Київ

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ДО ВИКОРИСТАННЯ

Анотація. *Мета статті – дослідження світового досвіду реалізації технологій та обладнання підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів, який може бути використано в Україні під час відновлення будівель і споруд, пошкоджених або зруйнованих в результаті воєнних дій. Аналітичними дослідженнями встановлено, що вибір обладнання для переробки відходів обумовлено складом відходів, який відрізняється в різних країнах і залежить від набору будівельних матеріалів, що використовуються для зведення об'єктів. Викладено результати вивчення світового ринку обладнання для переробки твердих будівельних відходів. Найбільш придатними для переробки відходів за технічними характеристиками є гірнича техніка та устаткування для виробництва нерудних будівельних матеріалів, яке використовують у технологічних лініях з виробництва вторинної сировини з бетонних і цегляних уламків. Наведено основні технологічні етапи та виявлено, що найскладнішою операцією в технологічному ланцюжку переробки відходів будівництва та знесення є сортування та розділення вторинної сировини. Представлено інноваційні технології сортування та розділення відходів (магнітна сепарація; сенсорна технологія автоматичного сортування з використанням кольорових, рентгенівських або ближнього інфрачервоного датчиків; роботизована технологія сортування з використанням штучний інтелекту; технологія сортування із застосуванням рентгенівського випромінювання; технологія сортування кольорів; технологія сортування в ближньому інфрачервоному діапазоні; технологія сортування за допомогою лазерно-індукованої спектрометрії пробою) і стаціонарне й мобільне обладнання для їх реалізації, які може бути використано для підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів в Україні.*

Ключові слова: відходи будівництва та знесення, технології переробки, світовий досвід, стаціонарне та мобільне устаткування.

Постановка проблеми. Відходи будівництва та знесення об'єктів становлять більше третини всіх відходів, що утворюються в розвинених країнах. До їх складу входять вироби або уламки виробів з металу, бетону, цегляного мурування, керамічної плитки та черепиці, дерева, скла та пластику, гіпсокартону, причому більшу частину за масою становлять відходи виробів з мінеральної сировини – бетону та цегли. За оцінками спеціалістів, за масовим вмістом 52 % будівельних відходів становить бетон та залізобетон, 32 % – кам'яні стінові матеріали, 8 % – відходи асфальту та будівельних розчинів, 4 % – відходи металів, 2 % – відходи дерева та пластмас, 1 % – керамічні вироби (сантехнічна кераміка, керамічна плитка), 1 % – гіпсокартон, скло та інші відходи [1].

Економічне зростання країни сприяє збільшенню обсягів відходів, в т.ч. будівельних [2]. Кількість будівельних відходів, щорічно утворених на душу населення, перевищує 2 т [3]. Значний обсяг відходів будівництва та знесення переробляють на вторинні сировинні матеріали для використання в будівництві. Основною ділянкою технології виробництва вторинних сировинних матеріалів без домішок сторонніх включень є попереднє розділення будівельних відходів за групами основних складових.

Мета статті полягає в дослідженні світового досвіду реалізації технологій та обладнання підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів, який може бути використано в Україні під час відновлення будівель і споруд, пошкоджених або зруйнованих в результаті воєнних дій.

Результати досліджень. Залежно від будівельних матеріалів, які використовуються для зведення об'єктів, склад відходів будівництва та знесення значно відрізняється в різних країнах, що обумовлює вибір устаткування для переробки відходів.

На світовому ринку обладнання для переробки твердих будівельних відходів своє стаціонарне та мобільне устаткування представляють понад два десятки компаній. Найбільш придатними для переробки відходів будівництва та знесення за технічними характеристиками є гірнича техніка та устаткування для виробництва нерудних будівельних матеріалів.

Провідні виробники постійно працюють над удосконаленням техніки, що виготовляють. Сьогодні попитом користуються переважно мобільні установки на гусеничній базі продуктивністю від 100 т до 450 т вторинної продукції за годину.

Сфера застосування такого обладнання – переробка бетонних і цегляних відходів, залізничних бетонних шпал. Крім переробки додатково в програмі кожного виробника пропонуються мобільні сортувальні комплекси, що дозволяють розділити на фракції вторинний щебінь розміром від 0 до 120 мм для подальшого використання у виробництві будівельної продукції.

Технологія переробки відходів будівництва та знесення зазвичай включає кілька основних етапів:

– збір і транспортування: відходи збирають та транспортують на майданчик для переробки;

– сортування та розділення: коли відходи надходять на майданчик для переробки, їх сортують за різними категоріями;

– первинне подрібнення: великі уламки бетону, кам'яної кладки, асфальту часто подрібнюють на уламки менших розмірів для полегшення наступного дроблення;

– відокремлення металів: метали відокремлюють від інших матеріалів за допомогою магніту або вихрового сепаратора;

– обробка деревини: деревні відходи зазвичай подрібнюють на дрібніші частини для використання в якості палива, мульчі або для виробництва виробів з деревини;

– остаточна переробка: відокремлені матеріали обробляють для виробництва нових матеріалів або сировини для виробництва нової будівельної продукції.

Найскладнішою операцією в технологічному ланцюжку переробки відходів будівництва та знесення є сортування та розділення вторинної сировини. Сортування відходів можна здійснювати вручну на місці їх утворення та збирати вже розділені відходи або автоматично розділяти на підприємствах з переробки вторинних матеріалів. Ручне сортування було першим методом в історії сортування відходів. Сьогодні на ринку представлено широкий вибір інноваційних технологій сортування та розділення відходів і обладнання для їх реалізації [4]:

– магнітну сепарацію використовують для відокремлення металів від немагнітних матеріалів. Магніти розташовують вздовж конвеєрів, де вони розміщуються над або під конвеєрними стрічками;

– просіювання за допомогою однієї або кількох поверхонь просіювання. Сита можна використовувати до або після подрібнення та після повітряного відділення відходів. Роторні барабанні грохоти та різноманітні вібраційні грохоти є найбільш часто використовуваними грохотами в даний час;

– сенсорна технологія автоматичного сортування з використанням кольорових, рентгенівських або ближнього інфрачервоного датчиків. Сортування на основі сенсорів використовується для частинок розмірами від 0,5 мм до 300 мм і завершується перед застосуванням методів тонкого подрібнення та хімічної обробки;

– роботизована технологія сортування, яка використовує штучний інтелект. Високотехнологічні комп'ютерні системи розпізнають конкретні об'єкти на конвеєрних стрічках, а датчики, прикріплені до рук роботів, можуть виявляти та вилучати скло, пластик та будь-які інші предмети, що підлягають вторинній переробці та містяться в будівельних відходах, та розміщувати їх у відповідних контейнерах;

– технологія сортування із застосуванням рентгенівського випромінювання дозволяє розділяти матеріали на основі їхньої специфічної атомної щільності шляхом попереднього розпізнавання матеріалу. Зареєстрований сигнал визначає наявність відібраного матеріалу конкретної атомної щільності, тому на процес сортування не впливають інші властивості матеріалу;

– технологія індукційного сортування є доповненням до магнітної сепарації. Попередньо відсортований сипучий матеріал подають на конвеєр. Під конвеєром по всій ширині стрічки розташовують металодетектори, які являють собою котушки з певною індуктивністю. Ця індуктивність змінюється, якщо метал проходить повз. Якщо метал буде розпізнаний, його буде видалено стисненим повітрям. Чистота відсортованих матеріалів до 90 %;

– технологію сортування кольорів можна використовувати для розрізнення кольорових і безбарвних виробів з поліетилентерефталату та поліетилену низького тиска, а також розділення різнокольорових пластикових предметів або частин;

– технологія сортування в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR) є найкращою технологією сортування пластмас, оскільки вона може точно ідентифікувати багато різних полімерів;

– технологія сортування за допомогою лазерно-індукованої спектрометрії пробою (LIBS) може швидко ідентифікувати типи металу, а також виконувати одночасний багатоелементний аналіз.

Різні учасники ринку технологічного обладнання для подрібнення відходів будівництва та знесення пропонують свої машини.

Портативні дробильні установки Zenith можуть швидко почати працювати без будь-якого фундаменту (рис. 1) [5].

Рис. 1. Дробильна установка фірми «Zenith»

Компактна конструкція та розбірні частини зручні для транспортування, скорочуючи витрати на зміну дислокації. Вібраційний живильник може забезпечити попереднє розділення відходів за розмірами, що обумовить збільшення потужності дроблення та зниження виробничих витрат. На вимогу користувача може бути додано водоструйний пристрій для придушення пилу. Завдяки вмонтованій в транспортний засіб системі стрічкового конвеєра, дробарки та вібросита потребує невелику площу, що підходить у випадку необхідності дроблення будівельних відходів на майданчику з обмеженими розмірами.

Фірма «GEP ECOTECH» пропонує [6] рішення для переробки відходів будівництва та знесення, що охоплюють ефективне первинне розділення відходів за розмірами компонентів, легке дроблення та розділення подрібненого матеріалу за розмірами (рис. 2).

Для численних проектів з утилізації відходів будівництва та знесення перевагу надають мобільним версіям обладнання, оскільки вони можуть працювати на місці, заощаджуючи значні витрати на транспортування (рис. 3). Крім того, їх здатність переміщатися відповідно до вимог місця сприяє підвищенню ефективності роботи.

Рис. 2. Дробильно-сортувальний комплекс фірми «GEP ECOTECH»

Рис. 3. Мобільне обладнання фірми «GEP ECOTECH»

Мобільне обладнання фірми «GEP ECOTECH» втілює цю гнучкість і універсальність. Обладнання може бути встановлено на гусеничному ходу або на колесах і забезпечувати багатоступінчасте подрібнення відходів.

Мобільна дробарка будівельних відходів (рис. 4) є універсальним і практичним рішенням для переробки на місці. Вона може обробляти різні типи будівельних відходів та зменшувати їх об'єм. Магнітний сепаратор відділяє метал. Система пилопоглинання контролює вміст часток у повітрі. Оснащена засобами безпеки для запобігання нещасним випадкам під час процесу подрібнення.

Новий повністю автоматизований завод Eberhard Group із переробки відходів використовує роботи зі штучним інтелектом від ZenRobotics для збирання вторинних матеріалів зі змішаних відходів будівництва та знесення [7].

Роботи використовуються як основна система сортування на новому заводі, який включає дві паралельні сортувальні лінії з кількома високопродуктивними роботами на кожній (рис. 5). Потужність заводу 200 т змішаних відходів будівництва та знесення на годину. Роботи ZenRobotics, що сортують відходи на двох лініях із шістьма захватами, збирають до 12 000 предметів на годину масою до 30 кг, відокремлюючи від потоку мінеральні матеріали та сторонні домішки.

Рис. 4. Мобільна дробарка будівельних відходів

Рис. 5. Загальний вигляд ліній з роботами для сортування будівельних відходів

Центри досліджень і розробок VITO в Нідерландах і TECNALIA в Іспанії співпрацювали з компанією TITECH, що спеціалізується на процесах автоматичного сортування. Зразки відходів будівництва та знесення були зібрані з різних джерел у кількох європейських країнах. Удосконалені процеси сортування, випробувані на зібраних зразках, передбачали поєднання трьох технологій онлайн-зондування: ближнього інфрачервоного діапазону (NIR) для сортування гіпсу, пористого бетону та органічних речовин, таких як пластик і деревина, електромагнітного для видалення металів, кольорової камери для сортування сірого бетону, червоної цегли та плитки, а також небажаних забруднень іншого кольору, ніж два цільових [8].

Випробування показали, що електромагнітні датчики ефективні у видаленні всіх видів металів і можуть бути об'єднані в один сортувальний блок із датчиками NIR. Система сортування за кольоровою камерою показала успішне розділення червоних керамічних заповнювачів і бетонних (сірих) перероблених заповнювачів з чистотою до 97 % (рис. 6).

Рис. 6. Зразки відсортованих бетонних (сірих) і керамічних (червоних) заповнювачів

Таким чином визначено, що поєднання детектора ближнього інфрачервоного діапазону, електромагнітного датчика та кольорової камери видимого діапазону дозволяє сортувати відходи будівництва та знесення з високим рівнем чистоти.

Висновки

1. Вибір обладнання для переробки відходів обумовлено складом відходів, який відрізняється в різних країнах і залежить від набору будівельних матеріалів, що використовуються для зведення об'єктів.

2. На світовому ринку обладнання для переробки твердих будівельних відходів представлено стаціонарне та мобільне устаткування різної продуктивності понад двох десятків компаній.

3. Найскладнішою операцією в технологічному ланцюжку переробки відходів будівництва та знесення є сортування та розділення вторинної сировини. Сьогодні на ринку представлено широкий вибір інноваційних технологій сортування та розділення відходів (магнітна сепарація; просіювання за допомогою однієї або кількох поверхонь просіювання; сенсорна технологія автоматичного сортування з використанням кольорових, рентгенівських або ближнього інфрачервоного датчиків; роботизована технологія сортування з використанням штучного інтелекту; технологія сортування із застосуванням рентгенівського випромінювання; технологія індукційного сортування, що доповнює магнітну сепарацію; технологія сортування кольорів; технологія сортування в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR); технологія сортування за допомогою лазерно-індукованої спектрометрії пробою) і обладнання для їх реалізації.

4. Експериментально доведено, що поєднання детектора ближнього інфрачервоного діапазону, електромагнітного датчика та кольорової камери видимого діапазону дозволяє сортувати відходи будівництва та знесення з рівнем чистоти до 97 %.

5. Інноваційні технології та стаціонарне й мобільне обладнання підготовки відходів будівництва та знесення для виробництва вторинних сировинних матеріалів може бути використано в Україні під час відновлення будівель і споруд, пошкоджених або зруйнованих в результаті воєнних дій.

Література

1. Попович О.Р., Захарко Я.М., Мальований М.С. / Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. С.321-324. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4723/59-321-324.pdf
2. Case studies of Advanced Construction and Demolition waste(CDW) Recycling initiatives and technologies In JAPAN. URL: https://www.suishinkaigi.jp/en/Our%20works/case%20studies.pdf
3. How much waste is produced by the construction sector? URL: https://www.constructionproducts.org.uk/media/557062/how-much-construction-waste-is-there.pdf
4. Construction and Demolition Waste Recycling. URL: https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling
5. Zenith Products. URL: https://www.zenithcrusher.com/d/file/images/gallery/products/mobile-crushing-plant-k/1.jpg?a=zc&network=g&keyword=kwd-5742547932&campaign=20425251972&dev=c&ad=703996114030&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjws560BhCuARIsAHMqE0G_Sc6jY1T6WFJAD6ETSgl2XcugaRNs4dIdSXmwl4_N6_nTcI_XfBIaAu9OEALw_wcB
6. Construction & Demolition Waste Processing. URL: https://www.aishred.com/application/construction-demolition-waste-processing.html
7. The Eberhard Group and ZenRobotics Partner to Circulate and Retain Complete Value of Mixed Demolition Waste with AI-Based Technologies. URL: https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling/eberhard-group-zenrobotics-partner-to-circulate-retain-complete-value-mixed-demolition-waste-ai-technologies/
8. Advanced sorting techniques for construction and demolition waste. URL: https://www.inno4sd.net/advanced-sorting-techniques-for-construction-and-demolition-waste-278

References

1. Popovych O.R., Zakharko Ya.M., Malovanyi M.S. / Problemy utylizatsii ta pererobky budivelnykh vidkhodiv. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. C.321-324. URL: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4723/59-321-324.pdf
2. Case studies of Advanced Construction and Demolition waste(CDW) Recycling initiatives and technologies In JAPAN. URL: https://www.suishinkaigi.jp/en/Our%20works/case%20studies.pdf
3. How much waste is produced by the construction sector? URL: https://www.constructionproducts.org.uk/media/557062/how-much-construction-waste-is-there.pdf
4. Construction and Demolition Waste Recycling. URL: https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling
5. Zenith Products. URL: https://www.zenithcrusher.com/d/file/images/gallery/products/mobile-crushing-plant-k/1.jpg?a=zc&network=g&keyword=kwd-5742547932&campaign=20425251972&dev=c&ad=703996114030&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjws560BhCuARIsAHMqE0G_Sc6jY1T6WFJAD6ETSgl2XcugaRNs4dIdSXmwl4_N6_nTcI_XfBIaAu9OEALw_wcB
6. Construction & Demolition Waste Processing. URL: https://www.aishred.com/application/construction-demolition-waste-processing.html
7. The Eberhard Group and ZenRobotics Partner to Circulate and Retain Complete Value of Mixed Demolition Waste with AI-Based Technologies. URL: https://recyclinginside.com/construction-and-demolition-waste-recycling/eberhard-group-zenrobotics-partner-to-circulate-retain-complete-value-mixed-demolition-waste-ai-technologies/
8. Advanced sorting techniques for construction and demolition waste. URL: https://www.inno4sd.net/advanced-sorting-techniques-for-construction-and-demolition-waste-278

TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR PREPARATION CONSTRUCTION WASTE FOR USE

Abstract. *The purpose of the article is to study the global experience of implementing technologies and equipment for the preparation of construction and demolition waste for the production of secondary raw materials, which can be used in Ukraine during the restoration of buildings and structures damaged or destroyed as a result of military operations. Analytical studies have established that the choice of equipment for waste processing is determined by the composition of waste, which differs in different countries and depends on the set of construction materials used for the construction of objects. The results of the study of the world market of equipment for the processing of solid construction waste are presented. According to their technical characteristics, the most suitable for waste processing are mining machinery and equipment for the production of non-metallic building materials, which are used in technological lines for the production of secondary raw materials from concrete and brick fragments. The main technological stages are given and it is found that the most difficult operation in the technological chain of construction and demolition waste processing is the sorting and separation of secondary raw materials. Innovative waste sorting and separation technologies are presented (magnetic separation; sensor technology of automatic sorting using color, X-ray or near-infrared sensors; robotic sorting technology using artificial intelligence; sorting technology using X-ray radiation; color sorting technology; sorting technology in the near-infrared range; sorting technology using laser induced breakdown spectrometry) and stationary and mobile equipment for their implementation, which can be used to prepare construction and demolition waste for the production of secondary raw materials in Ukraine.*

Key words: construction and demolition waste, processing technologies, world experience, stationary and mobile equipment.

Hrihorovskyi P.Ye.
Doctor of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Chervyakov Yu.M.
Candidate of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Basanskyi V.O.
Candidate of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Murasyova O.V.
Candidate of Technical Sciences, SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Khalupka Yu.M.
Eng., SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

Bilkevych Yu.V.
Eng., SE «Research Institute of Construction Production named after V.S. Balytsky», Kyiv

УДК 728.1.012.185
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.3

Деркач С.І.
аспірант кафедри теорії, історії архітектури та синтезу мистецтв,
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, м. Київ
ORCID ID: 0009-0006-4380-4924

АНАЛІЗ ПОТОЧНОЇ СИТУАЦІЇ ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ БАГАТОКВАРТИРНОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ ЯК ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Анотація. *Метою роботи є аналіз поточної ситуації енергомодернізації багатоквартирної житлової забудови задля виявлення причин повільних темпів та незначної зацікавленості зі сторони співвласників. Якісним аналізом, описовим і пояснювальним методом подано аналітичну ситуацію модернізації енергоефективності багатоквартирної забудови. Аналіз показує повільний і неохочий процес зі сторони співвласників, щодо енергомодернізації житлової забудови та виявляє значну проблематику та певні складнощі пов'язані з економічними, соціальними і іншими аспектами. Враховуючи значну кількість енергонеефективної старої житлово забудови, енергомодернізація будівель є важливим кроком для вирішення задач сталого розвитку — декарбонізації та збереження навколишнього середовища. Не дивлячись на значну залученість держави, складнощі виражаються в невеликій зацікавленості співвласників приймати фінансову участь у енергомодернізації. Визначено фінансову складову та середнє значення вартості проєкту, його економічну вигоду та необхідність співфінансування співвласниками, а також зазначено пов'язану з цим проблематику. Стаття розкриває причини небажання співвласників приймати фінансову участь у проєктах та відображає теоретичні економічні показники перспективності проекту з точки зору витрачених коштів і отриманої вигоди. Результат показує недостатню економічну вигоду проєкту, але при цьому демонструє переваги, у вигляді значного зменшення викидів вуглецю. Актуальною проблемою є необхідність захисту навколишнього середовиша шляхом зменшення споживання енергії задля зменшення викидів CO2 в атмосферу та досягнення інших цілей сталих міст і громад. Невелика зацікавленість співвласників у енергомодернізації вимагає пошуку нових підходів до модернізації житлової забудови задля врахуванням їх потреб та цілей сталого розвитку.*

Ключові слова: енергоефективність, енергомодернізація, модернізація, багатоквартирна житлова забудова, сталий розвиток, сталий розвиток міст і громад, житлові будинки.

Постановка проблеми. Стара житлова забудова потребує особливої уваги. З прийняттям порядку денного сталого розвитку до 2030 року [1], погляд на регенерацію старої житлової забудови дещо змінився. Якщо раніше відновлення житлової забудови розглядалось, як планова необхідність відновлення зношених застарілих частин, елементів і інженерних вузлів будинку, то зараз регенерація розглядається відповідно до досягнень цілей сталого розвитку. 11-та ціль, відповідно до порядку денного визначена, як сталі міста і громади. Будівельна галузь покриває майже всі цілі сталого розвитку. Однією з задач сталого розвитку є декарбонізація. Відповідно до цього необхідна модернізація енергоефективності. Житлові будинки не є виключенням, адже за статистикою, використання первинної енергії житловими будинками складає значний відсоток від загального споживання. На сьогоднішній день модернізація енергоефективності є одним із ключових завдань держав щодо досягнення цілей сталого розвитку. Відповідно до цього створюються фонди, які визначають пріоритети та займаються фінансуванням проєктів. Банки приймають участь та створюють механізми для надання кредитів для співфінансування співвласниками багатоквартирних житлових будинків. Але не дивлячись на велику зацікавленість держав до модернізації енергоефективності, процес дуже повільний і суперечливий. Співвласники неохоче приймають участь у процесі модернізації енергоефектив-

ності багатоквартирної житлової забудови, і це пов'язано переважним чином з фінансовою стороною питання. Не дивлячись на перспективи заощаджень, значна частина дослідників визначає суперечливі аспекти питання модернізації енергоефективності житлових будинків. Досягнення сталого розвитку, як збереження навколишнього середовища шляхом зменшення використання первинної енергії задля зменшення викидів вуглецю в атмосферу, є важливим і необхідним кроком, тому модернізація енергоефективності потребує додаткового розгляду та пошуку вдосконалення процесу, особливо з точки зору економічної і фінансової складової. Це в свою чергу потребує перегляду організаційних аспектів процесу, адже енергоефективність не закриває питання необхідності відновлення застарілих будівель. Відсутність фінансової мотивації стосується соціальної складової - традиційні підходи до оновлення зазвичай не враховують індивідуальні потреби чи очікування власників.

Аналіз попередніх досліджень. Дослідниками зазначається необхідність диференціювати фінансове навантаження на цільові групи у питаннях співфінансування модернізації [2]. На прикладі Литви розкривається проблема, що виражається у слабкій готовності співфінансування модернізації енергоефективності при умові її великої необхідності через значні витрати на опалення та енергонеефективність житлової забудови спадщини Радянського Союзу. Відмічається велика спадщина енергонеефективної панельної забудови Радянських часів та організаційні і економічні перепони для енергетичної модернізації в багатоквартирній забудові, а також поточна політика і схеми, які не вирішують ці питання належним чином [3]. Також зазначаються низькі темпи енергетичного відновлення, особливо в східних країнах державах-членах ЄС та країнах, що раніше були в складі Радянського союзу. Станкевичус з колегами також відмічає проблеми енергомодернізації в Литві. Відмічають проблематику багатоквартирних будинків, які знаходяться в особливо поганому теплотехнічному стані, а також зазначають застарілу інфраструктуру теплопостачання та значні витрати енергії на опалення. При цьому відмічають, що модернізації таких старих будинків перешкоджають не лише юридичні та технічні чинники, а й фінансові та соціальні аспекти щодо мешканців [4]. Визначається проблематика і в Німеччині. Незважаючи на те, що на ринку оренди встановлено значну екологічну премію, результати показують, що вона недостатньо висока, щоб компенсувати орендодавцям гроші, які вони повинні витратити на модернізацію. Граничні витрати значно перевищують граничні вигоди [5]. Крім того, було виявлено, що нещодавні плани уряду Німеччини розподілити податок на викиди вуглецю між орендодавцями та орендарями не змінюють відношення до цього питання. Існує необхідність прискорення темпів регенерації невідповідних будівель з низькою енергоефективністю задля досягнення політики Європейського Союзу (ЄС) щодо зміни клімату до 2050 року [6]. Але при цьому знову ж таки відмічаються соціальні та фінансові бар'єри. Необхідна глибока реконструкція задля досягнення цілей сталого розвитку, адже енергоефективність не покриває інших потреб житлової забудови. Причиною недостатнього впровадження заходів з модернізації енергоефективності є недостатня фінансова спроможність співвласників і, як наслідок, самих Об'єднань співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ), які є їх представником [7].

Результати показують, що схеми модернізації відіграють дуже важливу роль у скороченні викидів вуглецю і покращенні навколишнього середовища за рахунок скорочення споживання первинних енергоносіїв. Але при цьому знову ж таки відмічаються труднощі, як непропорційний вплив витрат [8]. Пошук найсприятливіших умов для модернізації житлової забудови знаходиться в центрі уваги багатьох досліджень. Дослідження показують, що задля підвищення якості житла, модернізація житлового фонду має першочергове значення. Вивчаються та пропонуються певні підходи до тепломодернізації житлової забудови України, які значно підвищать ефективність [9]. Перешкоди для отримання економічних та екологічних переваг розглядають Ляо Х. та Рен Р. разом з колегами [10]. Вони відмічають актуальне питання про визначення оптимальних економічно-ефективних шляхів технологій модернізації.

Мета роботи. Враховуючи велику необхідність в модернізації житлової забудови, особливо з урахуванням цілей сталого розвитку міст і громад в частині енергоефективності, постало питання визначення причин низьких темпів процесу та виявлення перешкод.

Актуальність полягає у проблематиці важливості енергоефективності та перешкод у її реалізації. Тому виникла необхідність виявити перешкоди з точки зору реалізованих проєктів та аналізу їх економічної ефективності. В зв'язку з цим виявлено необхідність пошуку альтернативних варіантів модернізації житлової забудови з урахуванням енергоефективності і вирішенням інших задач сталого розвитку міст і громад.

Результати дослідження. Стара житлова забудова періоду до кінця 1990-х років потребує модернізації. Це стосується особливо країн з пост-Радянської спадщиною панельних будинків. Житлова забудова цих років є переважною частиною житлового фонду країн та будувалась відповідно до вимог і норм тих часів. На сьогоднішній день вона не відповідає сучасним нормам енергоефективності та переважним чином потребує ремонтних робіт. Одним з завдань цілей сталого розвитку є енергоефективність, яка забезпечує досягнення декарбонізації. Це проявляється в зменшені споживання енергоресурсів, що в свою чергу зменшує викиди вуглецю в атмосферу. Енергомодернізація є одним із шляхів досягнення цілей сталого розвитку. Основна частина житлової забудови пост-Радянських країн в тому числі країн, які сьогодні входять в склад Європейського союзу складає забудову від 50-х до 90-х років 20 століття. Більшість житлових будинків збудована в період 70-90-х років.

Відповідно до статистичних даних [11, 12, 13], зображено кількість житлової забудови за роками будівництва в пост-Радянських країнах, які зараз є членами Європейського Союзу (ЄС) у порівнянні з Україною на рисунку 1 .

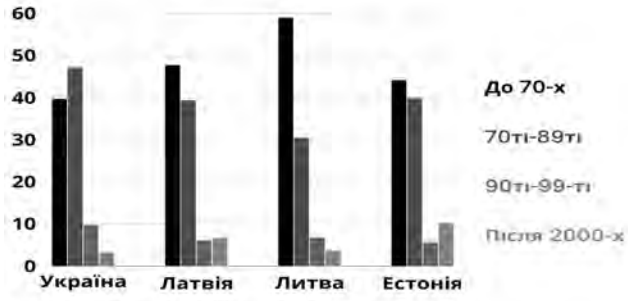


Рис. 1. Житлові будинки за періодом будівництва

Подібна ситуація і в інших пост-Радянських країнах. Для порівняння в усіх країнах ЄС частина забудови у період 70-90-х років складає 28,5%. Інформація зображена на рисунку 2.

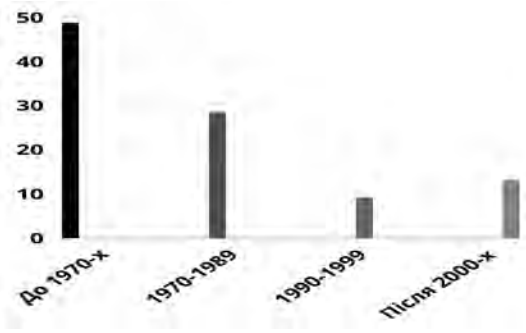


Рис. 2. Відсоток житла за періодом будівництва в ЄС

В середньому житловий сектор споживає до 40% від загального споживання енергії. Завдяки програмам енергоефективності можливо заощадити від 20% до 60% енергії [14]. Існуючі програми модернізації енергоефективності покривають до 70% від загальної вартості проєкту, 30% за рахунок співвласників житлового будинку (в тому числі за рахунок кредитних коштів). В середньому заощадження на один будинок складає 0,33 Гвт/год на рік та зменшення викидів вуглецю в атмосферу у розмірі 83,33 тон на рік.

Всі будинки забудови до середини 90-х років 20-го століття можна віднести до енергонефективних, адже вони будувалися за стандартами тих років, і станом на зараз мають клас енергоефективності D і нижче. Прикладом для розгляду є панельна забудова за проектами 70-90-х років 20 століття, в зв'язку з тим, що на цей період припадає найбільш масова забудова: схожа типовість та переважна частина будинків ще має незакінчений строк експлуатації [15]. В таблиці 1 зображено середнє значення в масштабах України можливого заощадження енергії та зменшення викидів в атмосферу при модернізації енергоефективності.

Розрахунок показує значні цифри в масштабах лише України і це лише для будинків за 20 років будівництва. Звіт енергомодернізації надає данні значного заощадження на оплаті послуг за опалення, що складає в середньому до 41% [16, 17]. Це один з прикладів, що характеризують середньостатистичні показники. На цих прикладах розібрані проблемні моменти енергомодернізації, які полягають в значних фінансових затратах у порівнянні з фінансовими вигодами та лише частковим досягненням цілей сталого розвитку.

Порівняльна характеристика енергомодернізації наведена в таблиці 2.

На прикладі 1, окупність проєкту складає 39,5 років. Враховуючи, що строк експлуа-

Таблиця 1. Середнє значення заощадження електроенергії в Україні

Кількість будинків будівництва 70-90-х років 20-го століття	Заощадження, (Гвт/год. на рік)	Зменшення викидів вуглецю, (тон на рік)
4 325 359	1 427 369	382 058 960

Таблиця 2. Витрати та заощадження за комплексною програмою Енергодім в Україні

Приклад/рік будівництва	1/1978	2/1986	3/1992
Загальна вартість проєкту, (млн. грн.)	7,7	11,7	6.7
Виплата Фондом енергоефективності, (млн. грн.)	5,4	8,2	4,7
Власний внесок співвласників будинку, (млн. грн.)	2,3	3,5	2
Вартість робіт для однієї квартири (60 м²), (тис. грн.)	47 (783,3 грн/м²)	21,7 (361,7 грн/м²)	19,6 (326,7 грн/м²)
Скорочення споживання енергії, (%)	22,3	46,2	42,9
Річна економія коштів будинком, (тис. грн.)	195	1500	820,4
Скорочення викидів CO2, (тон/рік)	32,1	317,6	169,1

тації такого і подібних панельних будинків складає 50 років (50% від терміну служби, що становить 100 років). Тому з економічної точки зору дохідність можна рахувати починаючи з дня від якого починається прибуток (вигода) і до останнього дня закінчення стоку експлуатації, що є 10,5 років. За 10,5 років середньо розрахункові заощадження будуть складати 2 047 500,00 грн. У відсотках дохідність складає 2,53% за рік починаючи з 40-го року експлуатації. З точки зору економіки це досить низька дохідність щоб вважати економічно доцільним проєкт. Лише вклад співвласників складає суму більшу ніж загальне заощадження. Відповідно доступним даним банк надає кредит на 5 років під 25% річних, при цьому місцева влада може покрити 50% річної ставки (12,5%) [18]. Якщо врахувати, що співфінансування співвласникам пропонується за рахунок кредиту під відсотки, то проєкт стає взагалі збитковим, адже річна відсоткова ставка є значно більша ніж дохідність. Є і інші варіанти кредитування, де відсоткова ставка, для прикладу, 16%, але це також значний відсоток у порівняні з отриманою вигодою. Розрахунки проведено без урахування збільшення комунальних послуг за опалення, яке може значно вплинути на економічний показник. Враховуючи поточну ситуацію, через 30-40 років оплата за опалення може значно збільшитись, що призведе до ще більшої збитковості проєкту.

Це один середньостатистичний приклад, який ілюструє реальну ситуацію, яка покриває питання енергоефективності, що в масштабах країни значно знизить викиди вуглецю чим збереже навколишнє середовище. Але при цьому демонструє економічно невигідний проект, який в тому числі не вирішує інші питання сталого розвитку, як, наприклад, інклюзивне планувальне рішення та не вирішує питання необхідних ремонтних робіт, які потрібні будуть не лише під час експлуатації енергоефективного будинку, а й потрібні вже зараз, враховуючи вік будинків, які взято для прикладу.

Уряди країн ЄС значною мірою зацікавлені в енергомодернізації, що підтверджується створенням Фондів, які покривають до 70% витрат на проекти [19]. Для прикладу, в Литві запроваджено «зелені облігації», доходи від яких планується направляти на проєкти енергомодернізації [20].

Якщо в країнах Європейского союзу до планових ремонтних робот відносяться більш відповідально, то в Україні майже всі будинки потребують ремонтних робіт в силу експлуатаційного зносу елементів частин і вузлів будинку.

На відміну від України, кредитна ставка в країнах Євросоюзу може складати навіть 3% річних, які зафіксовані на перші 5 років, а загальних термін кредиту може бути розраховано до 20 років. Середній дохід та річна кредитна ставка в Україні і ЄС істотно відрізняються. Враховуючи вартість робіт і середньомісячний дохід в Україні (середню заробітну плату чи пенсію), зрозуміло, що для співвласників витрати на енергоефективність є значними витратами. Відповідно до мінімальної заробітної плати це в середньому складає 35% від річного доходу. Заощадження

в рік приблизно 3000,00 грн. при вкладені коштів у розмірі 30000,00. Тобто саме для співвласника заощадження стануть помітні приблизно через 10 років, при умові оплати власними коштами та без кредиту, а також без підвищення тарифів.

Враховуючи зміни в законодавстві [21, 22] та нові будівельні норми [23] щодо захисних споруд цивільного захисту постає ще одна невирішена задача. Як зазначається, при новому будівництві, реконструкції та капітальному ремонті треба враховувати споруди захисту населення, які мають буди включені в проєктну документацію. З одного боку це вирішує питання поліпшення якості життя і створює автоматично умови щодо інклюзивного перепланування, задля вирішення інших задач сталого розвитку, але здорожує проєкт і викликає нові спірні питання, яких і так достатньо. Адже реалізація будь-якого проєкту можлива лише зі згоди співвласників багатоквартирного будинку, які на даний час неохоче приймають участь навіть у проєктах енергомодернізації, які обіцяють значні заощадження.

Висновки. Енергомодернізація не покриває інші потреби будівлі, як ремонт зношених частин і елементів будинку, які не відносяться до проєкту енергоефективності, та не вирішує інклюзивне планувальне рішення та захисні споруди цивільного захисту, відповідно до засад сталого розвитку та законодавства, а також очікування співвласників, де, як виявилось, витрати дорівнюють заощадженням чи є більшими. Продовжують існувати технічні, фінансові та соціальні бар'єри не лише для енергомодернізації, а й регенерації житлового фонду загалом. При цьому досягнення цілей сталого розвитку у розрізі енергоефективності залишається відкритим для обговорення. Комплексний підхід до вирішення модернізації на засадах сталого розвитку є необхідним кроком. Існуючі програми і проєкти покривають енергомодернізацію, але при цьому викликають спірні питання стосовно співфінансування власниками та відмічаються інші невирішені питання, як комплексна модернізація, що покриє інклюзивність і регенерацію старої житлової забудови.

Енергоефективность це значний крок у досягненнях з точки зору цілей сталого розвитку, але нажаль, недостатній крок, який викликає суперечливі моменти з економічної точки зору, як співфінансування та економічної вигідності проєктів енергомодернізації. Питання комплексної модернізації залишається відкритим для досліджень і обговорень.

Цифри показують значні заощадження коштів на опаленні та значне зменшення викидів CO2 в масштабах країни. Але економічну неефективність з точки зору витрат по відношенню до вигоди. В зв'язку з цим енергомодернізацію можна назвати іміджевим проектом держави, який досягає лише частину цілей сталого розвитку. В зв'язку з цим необхідно шукати інші варіанти модернізації житлової забудови, які будуть не лише економічно вигідними, а й вирішувати всі задачі сталого розвитку міст і громад, як інклюзивне і безпечне архітектурно-планувальне рішення та необхідні відповідні інженерні ремонтні роботи зношених елементів, частин і вузлів будинку. Адже на технічно-експлуатаційні характеристики будинку, відповідно і на якість житлових характеристик, впливають всі архітектурні і інженерні роботи, які відповідають за поліпшення якості житла. Лише перегляд поточного курсу зможе вирішити питання задоволення потреб співвласників та досягнення інших задач сталих міст і громад. Враховуючи кращу економічну ситуацію в країнах Європейського союзу співфінансування залишається також спірним питанням. Дослідники також зазначають необхідність пошуку нових підходів до модернізації житлової забудови.

Література

1. General Assemble (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* (No.70/1). UNFPA. Вилучено з https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_EN.pdf (дата звернення 04.05.2024).
2. Napiórkowska-Baryła, A., Witkowska-Dąbrowska, M., Świdyńska, N. Financing of Activities Increasing the Energy Efficiency of Residential Buildings in Poland. *European Research Studies Journal*. 2022. № 25(1), 690-712. https://doi.org/10.35808/ersj/2881
3. Streimikiene, D., Balezentis T. Willingness to Pay for Renovation of Multi-Flat Buildings and to Share the Costs of Renovation. Energies. 2020. № 13(11), 2721. https://doi.org/10.3390/en13112721
4. Stankevičius, V., Karbauskaitė, J., Burlingis, A., Šadauskienė, J., Morkvėnas, R. Expanding the possibilities of building modernization: case study of Lithuania. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2018. № 20(6), 819-828. https://doi.org/10.3846/13923730.2014.929599

5. Groh, A., Kuhlwein, H., Bienert, S. Does Retrofitting Pay Off? An Analysis of German Multifamily Building Data. *Journal of Sustainable Real Estate. 2022,* № 12(1), 95-112. https://doi.org/10.1080/19498276.2022.2135188
6. D'Oca, S., Ferrante, A., Ferrer, C., Pernetti, R., Gralka, A., Sebastian. R., Op't Veld, P. Technical, Financial, and Social Barriers and Challenges in Deep Building Renovation: Integration of Lessons Learned from the H2020 Cluster Projects. Buildings. 2018, № 8(12), 174. https://doi.org/10.3390/buildings8120174
7. Kiris, S. Implementation of energy efficient principles in management of an aparttment building in Ukraine. *Three Seas Economic Journal. 2*021, № 2(3), 6-21. https://doi.org/10.30525/2661-5150/2021-3-3
8. Bell, M., Lowe, R. Energy efficient modernization of housing: A UK case study. *Energy and Buildings.* 2000, № 32, 267-280. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00053-0.
9. Yeromin, A. and Kolosov, A. Choice and ground for direction of energy efficiency increasing for Ukrainian buildings and facilities. *Technology Audit and Production Reserves.* 2017, № 1(1(39), 48–55. https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.85402
10. Liao, H., Ren, R., Li, L. Existing Building Renovation: A Review of Barriers to Economic and Environmental Benefits. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2023, № 20(5), 4058. https://doi.org/10.3390/ijerph20054058.
11. Держстат України. *Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України, 2021.* Вилучено з https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/07/zb_cdhd_21.pdf (дата звернення 04.05.2024).
12. Державна служба статистики України. Вилучено з https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/zf/zf_reg/zf_reg_20_ue.xls (дата звернення 05.05.2024).
13. Eurostat. Вилучено з https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cens_01ndpercons__custom_8574118/default/table?lang=en (дата звернення 05.05.2024).
14. Програма Енергодім. Вилучено з https://energodim.org/detalna-informatsiia/ (дата звернення 08.05.2024).
15. Міністерство економіки України. Платформа ефективного регулювання. *СОУ ЖКГ 75.11-35077234.НННН:2009 Житлові будинки. Правила визначення фізичного зносу житлових будинків.* Вилучено з https://regulation.gov.ua/documents/id229522# (дата звернення 10.05.2024).
16. Фонд енергоефективності. *Енергомодернізація під час війни діє: реалізований проєкт у Миколаєві (6 січня 2023).* Вилучено з https://eefund.org.ua/energomodernizaciya-pid-chas-viyni-die-realizovaniy-proekt-u-mikolaevi (дата звернення 10.01.2024).
17. Фонд енергоефективності. *Термомодернізація двох будинків ОСББ «ЛІСНА-1» (13 листопада 2023).* Вилучено з https://eefund.org.ua/termomodernizaciya-dvokh-budinkiv-osbb-lisna-1 (дата звернення 10.01.2024).
18. Що може зробити ваше ОСББ, щоб у будинку жилося краще. Програми енергоефективності та як ними скористатися (18 серпня 2023). Вилучено з https://finance.ua/ua/goodtoknow/szczo-mozhe-zrobyty-vasze-osbb (дата звернення 10.05.2024).
19. Modernisation Fund. Вилучено з https://modernisationfund.eu/investments/ (дата звернення 10.05.2024).
20. Ministry of Finance of the Republic of Lithuania. Вилучено з https://finmin.lrv.lt/en/news/green-bonds-for-modernisation-of-multi-apartment-buildings (дата звернення 10.05.2024).
21. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення вимог цивільного захисту під час планування та забудови територій (Закон України). № 2486-IX від 29 липня 2022 р. Вилучено з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2486-20#Text (дата звернення 11.05.2024).
22. КОДЕКС ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ № 5403-VI від 2 жовтня 2012 р. Вилучено з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2486-20#Text (дата звернення 11.05.2024).
23. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту. Будстандарт. Сервіс документів. Вилучено з https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104666 (дата звернення 11.05.2024).

References

1. General Assemble (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* (No.70/1). UNFPA. Retrieved May 04, 2024, from https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_EN.pdf
2. Napiórkowska-Baryła, A., Witkowska-Dąbrowska, M., Świdyńska, N. (2022). Financing of Activities Increasing the Energy Efficiency of Residential Buildings in Poland. *European Research Studies Journal,* 25(1), 690-712, https://doi.org/10.35808/ersj/2881
3. Streimikiene, D., Balezentis T. (2020). Willingness to Pay for Renovation of Multi-Flat Buildings and to Share the Costs of Renovation. Energies, 13(11), 2721. https://doi.org/10.3390/en13112721
4. Stankevičius, V., Karbauskaitė, J., Burlingis, A., Šadauskienė, J., Morkvėnas, R. (2018). Expanding the possibilities of building modernization: case study of Lithuania. *Journal of Civil Engineering and Management,* 20(6), 819-828. https://doi.org/10.3846/13923730.2014.929599
5. Groh, A., Kuhlwein, H., Bienert, S. (2022). Does Retrofitting Pay Off? An Analysis of German Multifamily Building Data. *Journal of Sustainable Real Estate,* 12(1), 95-112. https://doi.org/10.1080/19498276.2022.2135188
6. D'Oca, S., Ferrante, A., Ferrer, C., Pernetti, R., Gralka, A., Sebastian. R., Op't Veld, P. (2018). Technical, Financial, and Social Barriers and Challenges in Deep Building Renovation: Integration of Lessons Learned from the H2020 Cluster Projects. Buildings, 8(12), 174. https://doi.org/10.3390/buildings8120174
7. Kiris, S. (2021). Implementation of energy efficient principles in management of an apartment building in Ukraine. *Three Seas Economic Journal,* 2(3), 6-21. https://doi.org/10.30525/2661-5150/2021-3-3
8. Bell, M., Lowe, R. (2000). Energy efficient modernization of housing: A UK case study. *Energy and Buildings,* 32, 267-280. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00053-0.

9. Yeromin, A. and Kolosov, A. (2017). Choice and ground for direction of energy efficiency increasing for Ukrainian buildings and facilities. *Technology Audit and Production Reserves,* 1(1(39), 48–55. https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.85402
10. Liao, H., Ren, R., Li, L. (2023). Existing Building Renovation: A Review of Barriers to Economic and Environmental Benefits. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(5), 4058. https://doi.org/10.3390/ijerph20054058.
11. Statistics Ukraine. *Social and Demographic Characteristics of Households of Ukraine, 2021.* Retrieved May 04, 2024, from https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/07/zb_cdhd_21.pdf
12. State Statistics Service of Ukraine. Retrieved May 05, 2024, from https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/zf/zf_reg/zf_reg_20_ue.xls
13. Eurostat. Retrieved May, 08, 2024, from https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cens_01ndpercons__custom_8574118/default/table?lang=en
14. Energodim program. Retrieved May 05, 2024, from https://energodim.org/detalna-informatsiia/
15. Ministerstvo ekonomiky Ukrainy. Platforma Efektyvnogo reguliuvannia. SOU *ZhKG 75.11-35077234.NNNN:2009 Zhytlovi budynky. Pravyla vyznachennia fizychnogo znosu zhytlovyh budynkiv.* Retrieved May, 10, 2024, from https://regulation.gov.ua/documents/id229522#
16. Fond Energoefektyvnosti. *Energomodernizatsia pid chas viyny diie: realizovanyiy proiekt u Mykolaievi* (*6 of January 2023).* Retrieved January, 10, 2024, from https://eefund.org.ua/energomodernizaciya-pid-chas-viyni-die-realizovaniy-proekt-u-mikolaevi
17. Fond Energoefektyvnosti. *Termomodernizatsiia dvoh budynkiv OSBB «LISNA-1» (13 of November 2023).* Retrieved January, 10, 2024, from https://eefund.org.ua/termomodernizaciya-dvokh-budinkiv-osbb-lisna-1
18. Scho mozhe zrobyty vashe OSBB, schob u budynku zhylosia krasche. Programy energoefektyvnosti ta iak nymy skoryststysia (18 of September 2023). Retrieved May, 10, 2024, from https://finance.ua/ua/goodtoknow/szczo-mozhe-zrobyty-vasze-osbb
19. Modernisation Fund. Retrieved May, 10, 2024, from https://modernisationfund.eu/investments/
20. Ministry of Finance of the Republic of Lithuania. Retrieved May, 10, 2024, from https://finmin.lrv.lt/en/news/green-bonds-for-modernisation-of-multi-apartment-buildings
21. Pro vnesennia zmin do deiakyh zakonodavchyh aktiv Ukrainy schodo zabezpechennia vymog cyvilnogo zahystu pid chas planuvania ta zabudovy terytoriy (Law of Ukraine) № 2486-IX, 29.07.2022 Retrieved May 11, 2024, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2486-20#Text
22. KODEKS TSYVIL'NOGO ZAHYSTU UKRAINY № 5403-VI, 2.10.2012 p. Retrieved May 11, 2024, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2486-20#Text
23. DBN V.2.2-5:2023 Zahysni sporudy tsyvil'nogo zahystu. Budstandart. Servis documentiv. Retrieved May 11, 2024, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104666

ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION OF ENERGY MODERNIZATION OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDING AS ACHIEVEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Abstract. *The purpose of the work is to analyze the current situation of energy modernization of multi-apartment residential buildings in order to identify the reasons for slow pace and little interest on the part of co-owners. The analytical situation of energy efficiency modernization of multi-apartment buildings is presented by qualitative analysis, descriptive and explanatory method. The analysis shows a slow and reluctant process, on the part of co-owners, regarding the energy modernization of residential buildings and reveals significant problems and certain difficulties related to economic, social and other aspects. Considering the significant amount of energy-inefficient old residential buildings, energy modernization of buildings is an important step for solving the problems of sustainable development — decarbonization and environmental protection. Despite the significant involvement of the state, the difficulties are expressed in the small interest of the co-owners to accept financial participation in energy modernization. The financial component and the average value of the project's cost, its economic benefit and the need for co-financing by co-owners are determined, as well as the related problems are indicated. The article reveals the reasons for the reluctance of co-owners to accept financial participation in projects and reflects the theoretical economic indicators of the project's prospects from the point of view of the funds spent and the benefit received. The result shows an insufficient economic benefit of the project, but at the same time demonstrates advantages in the form of a significant reduction in carbon emissions. An urgent problem is the need to protect the environment by reducing energy consumption in order to reduce CO2 emissions into the atmosphere and achieve other goals of sustainable cities and communities. The small interest of co-owners in energy modernization requires the search for new approaches to the modernization of residential buildings in order to take into account their needs and goals of sustainable development.*

Key words: energy efficiency, energy modernization, modernization, multi-apartment residential building, sustainable development, sustainable development of cities and communities, residential buildings.

Derkach S.I.
Postgraduate Student at the Department of Theory, History of Architecture and Synthesis of Arts, National Academy of Fine Arts and Architecture, Kyiv

УДК 528.486
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.4

Дорожко Є.В.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Захарова Е.В.
асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Штонда Є.О.
директор
ТОВ «УКРГЕО-ПРОЕКТ МС», м. Київ

Онищенко О.С.
начальник геодезичної служби у Дніпропетровській області,
ТОВ «Автомагістраль-Південь», м. Одеса

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТОПОПЛАНУ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ TOPOCAD

Анотація. *На сьогоднішній день у період бурхливого розвитку цифровізації в галузі будівництва та цивільної інженерії системи автоматизованого проєктування все частіше використовують вихідні дані у вигляді цифрових моделей місцевості, наприклад, при будівництві споруд, проєктуванні автомобільних доріг тощо. Пріоритетним завданням процедури автоматизації розробки плану місцевості є правильний вибір програмних засобів, який є особливо важливим для планування проєкту під час геологорозвідувальних робіт або будівництва. Коли йдеться про роботу в єдиному інформаційному просторі, питання полягає в тому, як забезпечити взаємодію зацікавлених сторін, які працюють із різними програмними продуктами. У даній статті розглядається – як свідчить досвід, простий та продуктивний у використанні продукт – програмний комплекс Toposad.*

Програмний комплекс Toposad призначений для створення інженерної цифрової моделі місцевості за даними інженерно-геодезичних вишукувань, підготовки цифрових моделей місцевості для подальшого проєктування, випуску основ топографічних креслень планів та планшетів.

Сформовані за допомогою системи автоматизованого проєктування Toposad матеріали можна використовувати як просторову основу для геоінформаційних, кадастрових та інших систем різного призначення, ведення великомасштабних чергових планів.

Загальні принципи роботи поширюються на створення та редагування всіх геометричних елементів, визначення планового положення тематичних об'єктів ситуації, побудови елементів поверхні та ін. Для кожного типу елементів призначені свої команди створення, редагування та видалення.

Відомий своєю надійністю, швидкістю та простотою використання, Toposad став популярним вибором серед професіоналів у галузі будівництва, геодезії та картографії. Він економить час та зусилля при вирішенні складних завдань, забезпечує високу точність та якість результатів. Використання ефективних технологій автоматизованого проєктування споруд передбачає наявність цифрової моделі місцевості, що базується на результатах геодезичних вимірів.

На прикладі програмного комплексу Toposad розглянуто послідовність та особливості автоматизованого процесу побудови та редагування цифрової моделі місцевості за результатами геодезичних розвідок. Проаналізовано можливості програмного комплексу Toposad та типи цифрових моделей місцевості.

Ключові слова: цифрова модель місцевості, рельєф, ситуація, система автоматизованого проєктування Toposad, поверхня, топоплан.

Постановка проблеми. У період бурхливого розвитку цифровізації в галузі будівництва та цивільної інженерії системи автоматизованого проєктування все частіше використовують вихідні дані у вигляді цифрових моделей місцевості, наприклад, при будівництві споруд, проєктуванні автомобільних доріг тощо.

Пріоритетним завданням процедури автоматизації розробки плану місцевості є правильний вибір програмних засобів.

Програмні засоби для інженерної діяльності у цій галузі розроблялися особливо інтенсивно протягом останніх 10 років. Правильний вибір програмних продуктів є особливо важливим для планування проєкту під час геологорозвідувальних робіт або будівництва. Коли йдеться про роботу в єдиному інформаційному просторі, питання полягає в тому, як забезпечити взаємодію зацікавлених сторін, які працюють із різними програмними продуктами. Тому при виборі програмного забезпечення багато керівників бізнесу зупиняються на єдиному виборі – як свідчить досвід, простому та продуктивному у використанні продукту – програмному комплексі Toposad.

Аналіз останніх досліджень. Топографічні карти в цифровому та електронному вигляді створюються на основі паперових топографічних карт або основних матеріалів геодезичної зйомки [1, 2]. Геодезичні дослідження проводяться без використання фотограмметричних матеріалів, як на основі наземних методів, так і на матеріалах, отриманих в результаті наземних фототеодолітів або аерофотозйомки [1, 3].

Побудова топоплану – це багатоступінчастий процес, що складається із значної кількості взаємозалежних операцій, що виконуються на етапі проєктування та внутрішньої обробки результатів геодезичних вимірів, що виконуються в ході геодезичних досліджень [4]. Оскільки якість кінцевих результатів моделювання залежить від якості кожного етапу побудови топоплану дуже важливо приділяти увагу всім технологічним процесам, за допомогою яких будується модель [5].

Під поняттям цифрової моделі місцевості зазвичай розуміють набір точок на місцевості, де відомі 3D-координати та використовуються різні кодові позначення [6]. Кодове позначення, що використовується, характеризує зв'язок між відповідними точками цифрової моделі місцевості. Побудова топоплану може здійснюватися з використанням новітніх програмних пакетів "Autodesk Civil3D", "Autodesk Map3D", "MapInfo", "Pythagoras", "Digitals", "GeoniCS", "Toposad" та ін. Для подальших досліджень використано програмний комплекс Toposad, на який надано ліцензію на використання в навчальному і науково-дослідному напрямку організацією ТОВ «УКРГЕОПРОЕКТ МС», яка являється офіційним дилером Adtollo AB на території України.

Метою статті є проведення аналізу та узагальнення технології побудови топоплану у системі автоматизованого проєктування Toposad, розгляд функціональних можливостей даного програмного комплексу та особливості створення цифрових моделей рельєфу та ситуації.

Функціональні можливості та технічні характеристики програмного комплексу Toposad

Toposad – це система автоматизованого проєктування, спеціально створена для обробки результатів лінійної та площинної зйомки, для створення цифрових моделей місцевості, підготовки креслень, геодезичного супроводу будівництва, геодезичної підтримки розробки родовищ корисних копалин, збирання та оновлення даних ГІС.

Toposad – це широкий спектр графічного дизайну від Adtollo (Стокгольм, Швеція), призначений для спеціалістів різної кваліфікації, включаючи дизайнерів, архітекторів, будівельників, інженерів, техніків та креслярів.

Для геодезистів Toposad дозволяє імпортувати дані з тахеометра, обробляти їх, експортувати дані в тахеометр, створювати топоплан, 3D-модель місцевості або прокласти трасу. Також ця програма корисна й для маркшейдерів, вона не тільки створює 3D-моделі виробки, а й розраховує кількість корисних копалин та виконує роботи з розрахунку обсягів. Крім того, програма дозволяє завантажувати проєкт, готувати його до винесення в натурі та виконувати програму виконавчих досліджень для будівельників. Це означає, що Toposad ідеально підходить для всіх професіоналів, яким потрібна програма для обробки геодезичних вимірювань, складання топопланів та обробки геопросторової інформації. В порівнянні з аналогами, Toposad коштує недорого і має гарне співвідношення ціна/якість. Офіційним дистриб'ютором України є ТОВ "Укргео-проект МС".

Розробка Toposad розпочалася у 1994 році. З того часу щороку випускаються нові версії

програми, до яких вноситься безліч істотних змін.

Сьогодні Topocad – це додаток з більш ніж 4 600 активних користувачів, перекладений 24 мовами і розповсюджується більш ніж у 100 країнах світу. Остання версія Topocad 24.0.0 має найновіший український інтерфейс.

Функціональність програмного комплексу Topocad досягла значного обсягу, і можна відзначити його основні можливості:

– вилучення даних безпосередньо з пристрою;

– імпорт та експорт файлів в інші програмні пакети;

– оптимізація обробки результатів геодезичних вимірів;

– формування точкових, лінійних та площинних об'єктів рельєфу з можливістю відображення відповідних умовних знаків у поточному масштабі зйомки та додавання смислових характеристик;

– створення цифрових моделей рельєфу, у тому числі 3D-моделей;

– отримання креслень рельєфу та тематичного планування, поздовжніх та поперечних профілів.;

– забезпечення горизонтального та вертикального топографічного планування;

– розрахунок обсягу буріння;

– забезпечення повної інтеграції між різними типами даних, включаючи вектори, растри, ландшафтні моделі та хмари точок;

– вирішення ряду прикладних завдань, пов'язаних із геодезичним супроводом будівництва;

– зручне створення умовних знаків.

Підключитись до географічної бази даних можна за допомогою Topocad. У Topocad є 3 різні модулі для різних адаптерів баз даних. ISM-адаптер призначений для використання в ISM від spatial technology до Oracle database, Arc-адаптер призначений для використання в ISM для бази даних ArcSDE, а FDO-адаптер забезпечує відкритий доступ до багатьох різних баз даних.

Система Topocad використовується для оформлення практично всіх графічних документів, які створюються в нашій країні в електронному вигляді. Загально прийнятий формат dwg, який використовується в системі, фактично став світовим стандартом. Крім того, замовники почали вимагати від виконавця створення тривимірної моделі виробки чи проекційної структури, що пояснює зростаюче значення системи Topocad.

Геодезична інформація Topocad відображається без проблем, і функціоналу програми для цього цілком достатньо. Мабуть, це навіть одна з найкращих програм для створення геодезичних креслень, незважаючи на його універсальність.

Цифрові моделі рельєфу можна використовувати в різних розрахунках, наприклад, для розрахунку обсягів або побудови горизонталей. У програмі Topocad ЦМР створюється як трикутна нерегулярна мережа (TIN). Трикутник створюється автоматично з найближчими точками з деякими вийнятками.

Однією з особливостей при роботі з поверхнею є симулятор води, який використовують, щоб побачити повінь та перебіг води на місцевості.

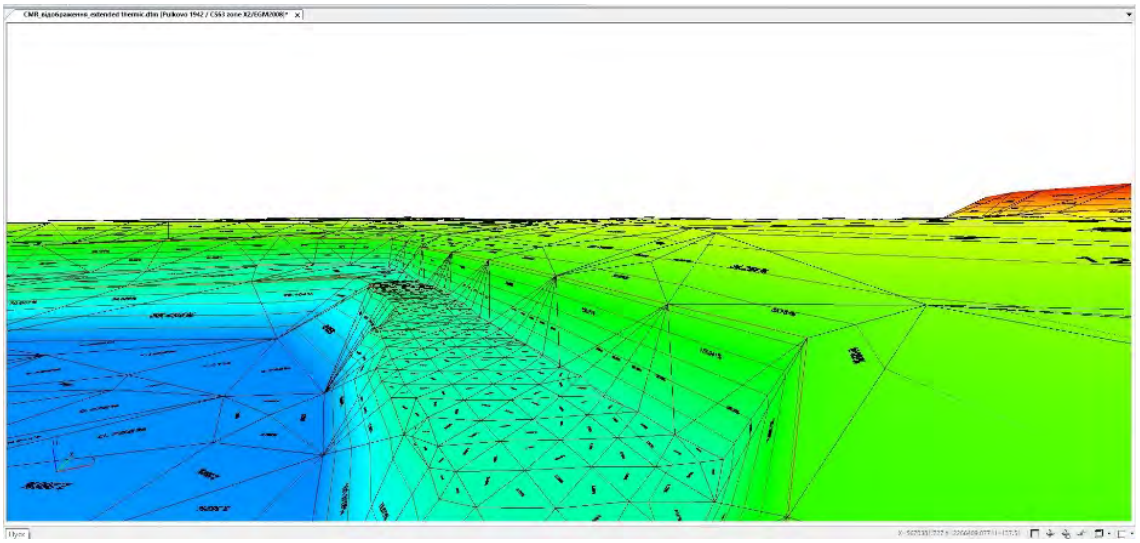


Рис. 1. Створена поверхня

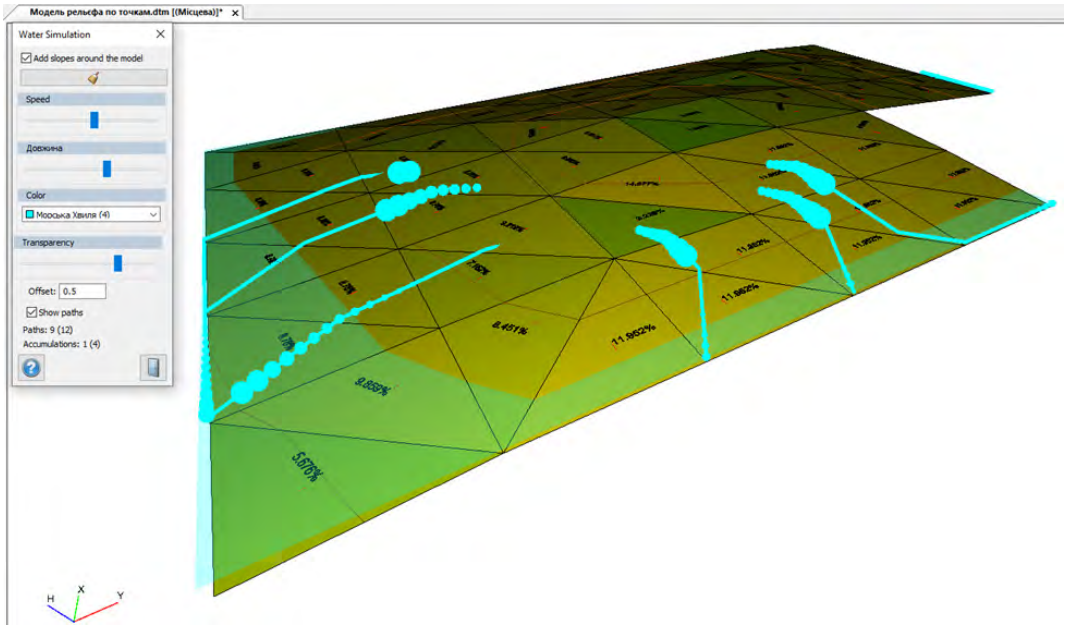


Рис. 2. Симулятор води

Створену поверхню можна переглядати як у 2D, так і у 3D режимі. Крім того, можна переглянути структурну лінію, горизонтальну лінію, напрям дренажу та нахил кожного трикутника, завантажити растр і заповнити його кольором або використовувати відмивку.

Ще однією особливістю програмного пакета Toрocad є створення тунельної ЦМР, для якої потрібно більше даних. Схема тунелю створюється на основі результатів обстеження склепіння тунелю, опису планованого розташування осі маршруту, опису поздовжнього профілю та розрахункового поперечного перерізу осі маршруту або її розмірів. На основі цих даних, результати обстеження скануються в проектну арку тунелю, а потім виконується тріангуляція побудована модель поверхні.

Можливість об'єднання двох цифрових моделей в одну також можна розглядати як особливість, порівняно з іншими пакетами програмного забезпечення. В результаті об'єднання двох моделей створюється нова модель, що містить результати цієї комбінації. Якщо ви запустите цю функцію у вікні першої моделі і вкажете 2-у модель, то буде створена 3-я модель. Ця функція особливо корисна, якщо під час вишукувань відбуваються зміни на невеликій площі. У цьому випадку немає потреби робити повний знімок для створення великої загальної моделі. Достатньо видалити змінену ділянку, створити модель поверхні цієї ділянки та поєднати її зі старою моделлю. Ще один спосіб використання функції – об'єднати спроектовану модель поверхні з існуючою частиною.

Особливості побудови цифрової моделі місцевості у програмному комплексі Toрocad

При цифровому моделюванні земна поверхня повинна бути представлена моделями ситуації і моделями рельєфу, на основі растрової і векторної моделей даних, кожна з яких має переваги, недоліки і область доцільного використання. На основі ЦММ можливо вести чергові плани забудов, формувати дані для кадастрових (землевпорядних, містобудівних та інших) систем, проводити роботи з проєктування та моніторингу стану об'єктів і місцевості, використовувати ЦММ в якості основи для побудови карт і планів. Окремою перевагою варто відзначити, що система автоматизованого проєктування дозволяє зберігати великі та об'ємні креслення, не використовуючи папір. Також завдяки таким креслення легко здійснювати пошук та вносити корективи.

Працюючи над великими проєктами, де вся інженерна робота починається з вишукувань і закінчується кошторисним розрахунком, підприємства постійно зіштовхуються з необхідністю скорочення термінів розробки. Таке завдання ставлять і замовники та керівництва підприємств. Також завжди хочеться мінімізувати помилки у стиковці технічних рішень суміжних відділів. Наприклад, при розробці

будгенплану чи плану земельної ділянки будівництва помилки топографічної основи грають значну роль.

Програмний комплекс Topocad призначений для створення інженерної цифрової моделі місцевості за даними інженерно-геодезичних вишукувань, підготовки цифрових моделей місцевості для подальшого проєктування, випуску основ топографічних креслень планів та планшетів.

Сформовані за допомогою системи автоматизованого проєктування Topocad матеріали можна використовувати як просторову основу для геоінформаційних, кадастрових та інших систем різного призначення, ведення великомасштабних чергових планів.

Загальні принципи роботи поширюються на створення та редагування всіх геометричних елементів, визначення планового положення тематичних об'єктів ситуації, побудови елементів поверхні та ін. Для кожного типу елементів призначені свої команди створення, редагування та видалення.

На початку побудови топоплану до програмного комплексу потрібно завантажити вихідні дані, що містять координати, висотні положення та назви точок. Завантажити ці дані можна за допомогою команди імпорту з текстового файлу або безпосередньо з пристроїв. Розташування підпису точки відносно точки, а також висоту тексту і шрифт можна налаштувати через налаштування системи закладка «ІнфоТочки» або «Різне/Налаштування креслення». В результаті вдалого імпорту на робочій області вікна з'являються точки зйомки.

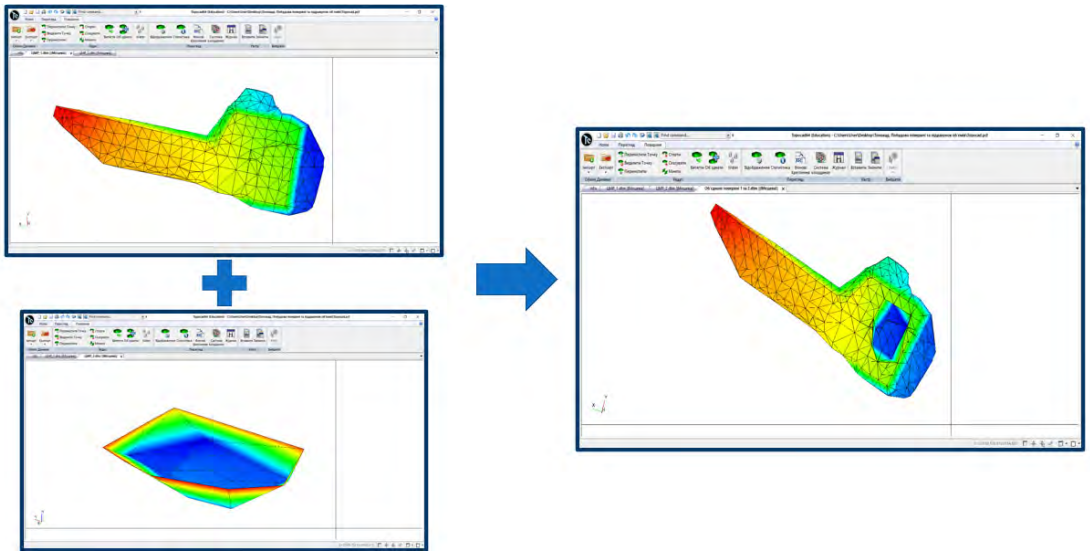


Рис. 3. Об'єднання ЦМР

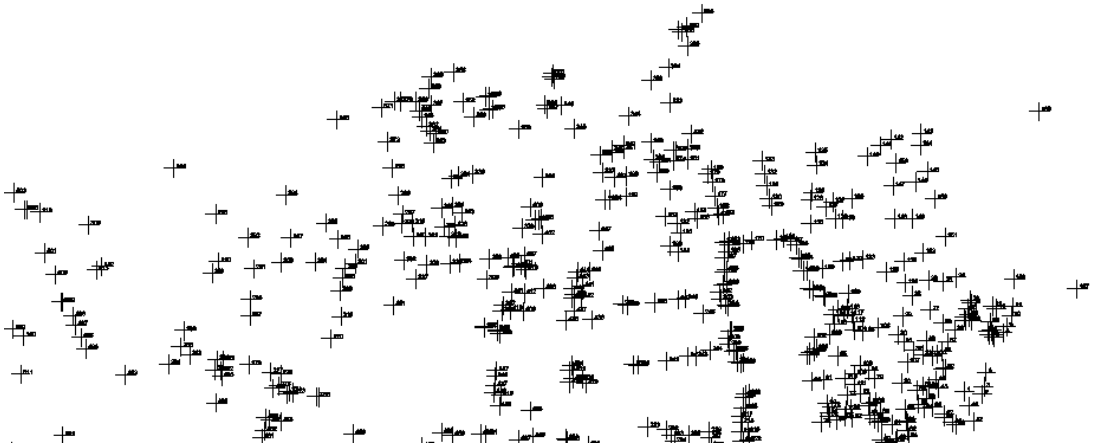


Рис. 4. Завантажені дані

У програмному комплексі Toрocad всі дані створюються і зберігаються в різних файлах і можуть бути використані в активному проєкті або затосовані до інших проєктів. При роботі з певним типом файлів (Кресленик, ЦМР, траса, профілі, хмари точок та інше) програмний комплекс Toрocad відображає користувачу тільки ті функції які застосовуються до певного типу файлів, що дозволяє швидше орієнтуватись в структурі програмного комплексу.

Цифрову модель ситуації та цифрову модель рельєфу, як правило, розміщують в одному проекті. Кожен вид ситуаційних об'єктів може бути розміщений в окремих шарах.

Створення точкових умовних знаків, лінійних та площиних об'єктів ситуації виконується зі створенням топографічних об'єктів із застосуванням готового класифікатора, доступного безкоштовно всім користувачам Toрocad. Панель «Макрос» в Toрocad призначена для складання класифікатора умовних знаків, що дозволяє спростити та прискорити процес створення топографічних креслень. У випадку складної геометрії ситуаційного об'єкта, коли відсутні прямі методи побудови в групі команд використовується поетапна побудова. Спочатку виконуються геометричні побудови, які реалізуються групою команд меню. Надалі таким геометричним побудовам присвоюється статус об'єктів ситуації та відповідні семантичні властивості.

При створенні креслення або планшета ви можете сформувати модель креслення і доопрацювати її до необхідної якості. Модель креслення визначається розташуванням шаблону креслення планшета цифрової моделі у плані, після чого вирізається контур. Для протяжних об'єктів можна розміщувати окремі малюнки або аркуші планшетів на всій площі об'єкта.

Креслення, створенні у програмі можна друкувати напряму. Також можна експортувати креслення у форматі DXF CAD або графічний формат (JPG, PDF). Програма також передбачає підготовку планшетів відповідно до нормативних документів.

Висновки. Відомий своєю надійністю, швидкістю та простотою використання, Toрocad став популярним вибором серед про-

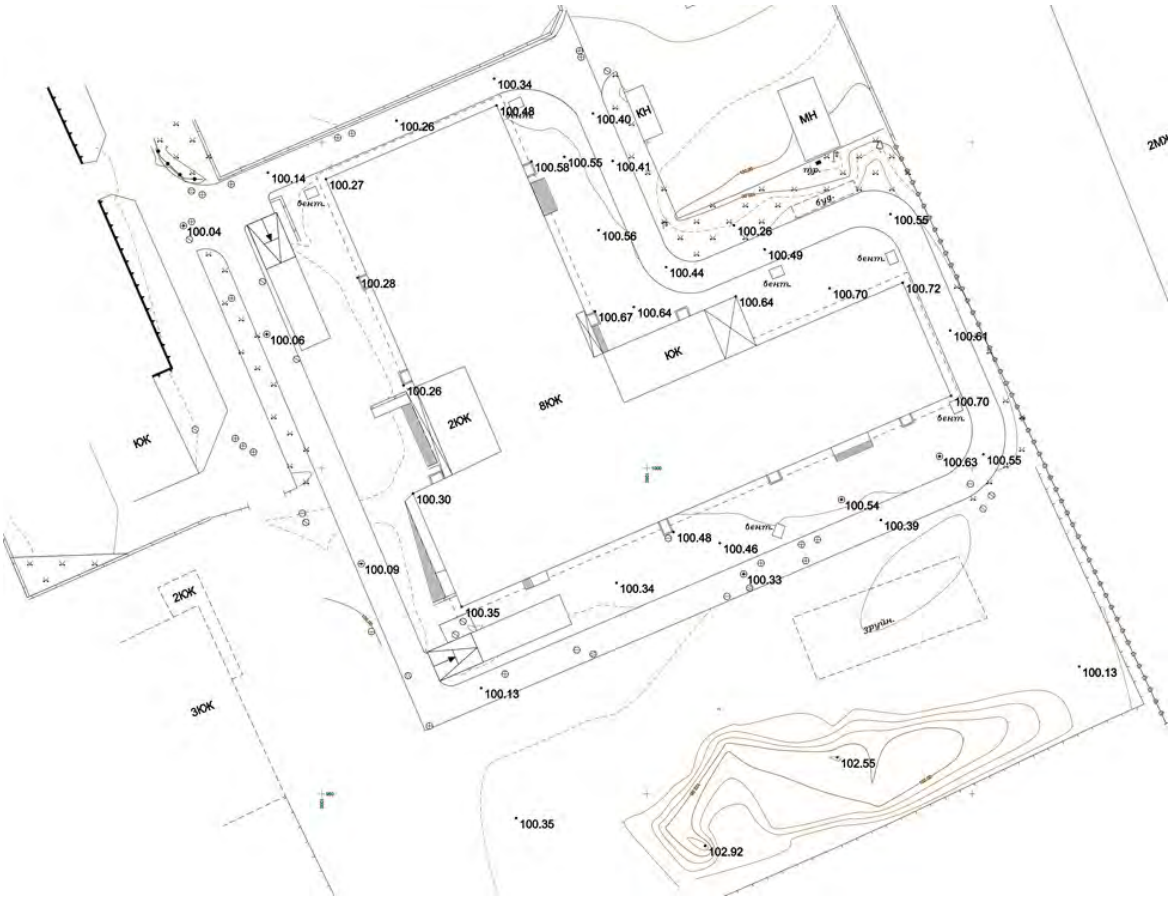


Рис. 5. Результат створення цифрової моделі місцевості

фесіоналів у галузі будівництва, геодезії та картографії. Він економить час та зусилля при вирішенні складних завдань, забезпечує високу точність та якість результатів. Використання ефективних технологій автоматизованого проєктування споруд передбачає наявність цифрової моделі місцевості, що базується на результатах геодезичних вимірів.

На прикладі програмного комплексу Topocad розглянуто послідовність та особливості автоматизованого процесу побудови та редагування цифрової моделі місцевості за результатами геодезичних розвідок. Проаналізовано можливості програмного комплексу Topocad та типи цифрових моделей місцевості.

Узагальнюючи аналіз програмного комплексу Topocad, можна виділити основні визначення:

– комплексна 3D CAD-система, що дозволяє виконувати всі роботи в рамках єдиної платформи;

– геодезична програма, яка допомагає перетворювати польові дані з приймачів GNSS, тахеометрів, лазерних сканерів, безпілотних літальних апаратів і т.д.;

– модульна система, можна використовувати тільки ті модулі, які необхідні для роботи;

– працює з широким спектром форматів даних для імпорту/експорту та підключення до бази даних;

– використовує сумісний формат як координатних даних, так даних САПР і ГІС;

– забезпечує повну інтеграцію різних типів даних, включаючи вектори, растри, моделі рельєфу та хмари точок.

Література

1. Ратушняк Г.С. Топографія з основами картографії: навчальний посібник. Г.С. Ратушняк. Вінниця: ВДТУ, 2002. 179 с.
2. Островський А.Л. Геодезія. Частина перша. Топографія. А.Л. Островський, О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, І.Ф. Герасимчук. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2011. 440 с.
3. Сосса Р. І. Топографічне картографування України (1917–1920) /Р. І. Сосса. Київ : Наук. думка, 2014. 384 с
4. Galda, M., Kujawski, E., Przewlocki, S. (2000). Geodezja I miernictwo budowlane. Geodezja, 402 p.
5. Graham , R., Koh, A. Digital Aerial Survey: Theory and Practice. Whittles Publishing. 2002. 440 c.
6. Combination of photogrammetry and terrestrial laserscanning – potentials and limitations : in five parts / T. Luhmann // Modern achievements of geodesic science and industry Collection of scientific papers of Western Geodesic Society of USGC Issue I (25). 2013. Part 1: Overview and performance features p.80-85.

References

1. Ratushnyak H.S. (2002). Topohrafiia z osnovamy kartohrafii: navchalnyi posibnyk [Topography with the basics of cartography: a study guide.] Vinnytsia: VDTU. 179.
2. A.L. Ostrovsky, O.I. Moroz, Z.R. Tartachynska, I.F. Gerasimchuk (2011). Heodeziia. Chastyna persha. Topohrafiia [Geodesy. Part one. Topography.] Lviv: View of Lviv. polytechnics. 440.
3. Sossa R.I. (2014) Topohrafichne kartohrafuvannia Ukrainy (1917–1920) [Topographic mapping of Ukraine (1917–1920)]. Kyiv: Nauk. dumka. 384.
4. Galda, M., Kujawski, E., Przewlocki, S. (2000). Geodezja I miernictwo budowlane. [Geodesy and construction surveying.] Geodezja, 402
5. Graham, R., Koh, A. (2002). Digital Aerial Survey: Theory and Practice. Whittles Publishing. 440.
6. T. Luhmann (2013). Combination of photogrammetry and terrestrial laserscanning – potentials and limitations: in five parts. Modern achievements of geodesic science and industry Collection of scientific papers of Western Geodesic Society of USGC Issue I (25). Part 1: Overview and performance features, 80-85.

FEATURES OF TOPOPLAN CREATION IN TOPOCAD AUTOMATED DESIGN SYSTEM

Abstract. *Today, in the period of rapid development of digitalization in the field of construction and civil engineering, automated design systems increasingly use raw data in the form of digital terrain models, for example, in the construction of buildings, highway design, etc. The priority task of the procedure for automating the development of a terrain plan is the correct choice of software, which is especially important for project planning during geological exploration or construction. When it comes to working in a unified information space, the question is how to ensure the interaction of interested parties who work with different software products. This article examines – as experience shows, a simple and productive product to use – the Topocad software complex.*

The Topocad software complex is designed to create an engineering digital model of the terrain based on the data of engineering and geodetic surveys, preparation of digital models of the terrain for further design, production of the basics of topographic drawings of plans and tablets.

The materials created using the Topocad automated design system can be used as a spatial basis for geo-informational, cadastral and other systems of various purposes, as well as large-scale planning. The general principles of work extend to the creation and editing of all geometric elements, determination of the planned position of the thematic objects of the situation, construction of surface elements, etc. Each type of element has its own creation, editing and deletion commands.
Known for its reliability, speed and ease of use, Topocad has become a popular choice among construction, surveying and mapping professionals. It saves time and effort when solving complex tasks, ensures high accuracy and quality of results. The use of effective technologies of automated design of structures requires the presence of a digital model of the area based on the results of geodetic measurements.
Using the example of the Topocad software complex, the sequence and features of the automated process of building and editing a digital terrain model based on the results of geodetic surveys are considered. The capabilities of the Topocad software complex and the types of digital terrain models are analyzed.
Key words: digital terrain model, relief, situation, Topocad automated design system, surface, topoplan.

Dorozhko Ye.V.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Road Design,
Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Zakharova E.V.
assistant professor at the Road Design, Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Shtonda Ye.O.
Director
UKRGEO-PROJECT MC LLC, Kyiv

Onyshchenko O.S.
Head of the Geodetic Service in the Dnipropetrovsk region,
LLC «Automagistral-Pivden», Odesa

УДК 69.057.4
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.5

Ігнатенко О.О.
к.т.н., докторант кафедри будівельних технологій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID ID: 0009-0009-7691-884X

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВЕДЕННЯ ВЕЛИКОПРОГОНОВИХ ПОКРИТТІВ ПІДЙОМНИМИ МОДУЛЯМИ

Анотація. *На закладі аналізу особливостей організаційно-технологічних варіантів підйому великопрогонових блоків покриттів методом виштовхування, була розроблена нова технологія зведення покриттів з використанням підйомних модулів. Згідно з розробленим рішенням , примусовий підйом великопрогонових покриттів з рівня фундаментів на проектну висоту виконується за умови переміщення несучих ригелів покриття в просторі між спареними колонами каркасу зі спирання на оголовки підрощувальних монтажних колон. Підрощення монтажних колон виконують підйомні модулі, які розташовані на фундаментах між спареними колонами каркасу, та фіксатори підйому, які закріплені на зовнішніх поверхнях колон каркасу. Оптимізація технологічних процесів по зведенню покриттів досягається за рахунок суттєвого зменшення загальної кількості робіт, пов'язаних з підрощуванням монтажних колон. При цьому, до переліку висотних робіт, в яких задіяні монтажники, входять лише роботи по фінальному закріпленню ригелів покриттів між оголовками спарених колон. Процеси по підрощуванню монтажних колон та переміщенню ригелів покриттів на проектну висоту автоматизовані. Весь комплекс робіт по зведенню великопрогонового покриття в умовах щільної забудови може бути виконаний на ділянці, розміри якої не перевищують розміри покриття, що піднімається.*

Ключові слова: підйомні модулі, зведення великопрогонових покриттів, метод підрощування колон.

Вступ. На сучасному етапі розвитку будівельної індустрії зведення конструкций великопрогонових покриттів передбачається за два послідовних етапи. На першому етапі на фундаментних плитах з використанням методів вільного підйому за допомогою стрілових кранів укрупнюють покриття в конструктивно-технологічний блок та монтують складові несучого каркасу (фундаментні стакани, колони, міжколонні балки та зв'язки). На другому етапі примусове переміщення покриттів виконують методами підтягування з використанням направляючих (кут 14–90º) та гідравлічних підйомників, або методом виштовхування з використанням підрощувальних стволів підйомників та гідравлічних домкратів [1, с. 10-14]. Для обидвох варіантів примусового підйому покриттів обов'язковою умовою є значна дискретність підйомного процесу, пов'язана з переміщенням та наступною фіксацією багаточисельних конструктивних елементів, задіяних в підтягуванні чи виштовхуванні покриттів. Також, для варіанту підйому покриття методом виштовхування необхідним є влаштування металоємних та громіздких кондукторів, за допомогою яких виконується контроль вертикального переміщення підрощувальних стволів підйомників [2]. Зменшення працеємності та оптимізація процесів вертикального переміщення покриттів з використанням підйомних модулів є актуальним напрямком розвитку технології зведення великопрогонових покриттів промислових та цивільних об'єктив.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Серед вітчизняних вчених, які приділяли велику увагу вивченню особливостей зведення великорозмірних покриттів з використанням методів вільного підйому та примусового переміщення), слід виділити Черненка В.К. [1], Тонкачеєва Г.М. [3], Рашківського В.П. [3], Осипова О.Ф. [4], Черненка К.В. [4], Собка Ю.Т. [5], Новак Є.В. [6]. Серед закордонних вчених, які в своїх наукових працях детально розбирали технологічні особливості зведення конструктив-

но-технологічних покриттів, слід виділити Янг Ю. [7], Руан Р. [8]. Останні напрацювання в технології підйому покриттів з використанням методу підтягування представлені в звіті концерну FAGOLI [9]. Метод виштовхування представлений в звіті концерну SARENS GROUP [10]. В наукових працях зазначених авторів та в матеріалах фірм-виробників сучасного підйомного обладнання детально описані процеси підйому покриттів з використанням кранових та безкранових технологій, проте відсутній алгоритм оптимізації конструктивно-технологічних рішень зведення великопрогонових покриттів з використанням підйомних модулів.

Постановка задачі. На закладі аналізу недоліків та переваг відомих варіантів підйому покриттів методом виштовхування необхідно розробити технологічне рішення з використанням підйомних модулів, яке дозволить оптимізувати процеси зведення великопрогонових покриттів .

Виклад основного матеріалу досліджень. Дослідження організаційно-технологічних і конструктивно-технічних особливостей зведення великопрогонових покриттів методом виштовхування були виконані на прикладі зведення залізобетонних та металевих покриттів терміналу аеропорту та цехів авіазаводу. Класичним прикладом підйому великопрогонового покриття методом виштовхування зі спиранням покриття, що піднімалось, на підрощувальні колони, вважається зведення монолітного залізобетонового покриття ангару в м. Абінгтон (Велика Британія) в 1957 році фірмами Ove Arup and Partners, John Laing and Son Ltd. [5]. Покриття складалось з трьох сегментів (розміри в плані кожного сегменту 33,53 х 59,59 м, загальна маса покриття 1400тн). Підйом монолітних залізобетонних склепінь виконувався зі спиранням на оголовки підрощувальних збірних залізобетонних колон . Колони були виконані з Т-образних сегментів, вага яких складала 500 кг, загальна кількість змонтованих сегментів – 1000 шт. Перед монтажем кожного сегменту на його верхній грані укладали цементно-піщаний розчин (співвідношення 1:3), товщина прошарку 5/8" (16,5 мм) та металеві пластинні прокладки. В підрощуванні кожної колони були задіяні чотири домкрати. Вантажопідйомність кожного домкрата 200тн. В процесі підрощування між внутрішніми боковими гранями змонтованих Т-образних сегментами утворювалась порожнина. Схема та послідовність підйому покриття зі спиранням на оголовки підрощувальних колон показані на рис. 1.

В порожнині в процесі підрощування сегментів колон укладались арматурні стержні (по 14 стержнів на кожну колону). Після монтажу останнього Т-образного сегменту колони, порожнина заповнювалась бетоном. На момент набуття бетоном розрахункової міцності виконувалось натягування арматурних стержнів. Безпосередній підйом кожного монолітного сегмента покриття тривав п'ять днів, в монтажних операціях були задіяні 30 робітників. З урахуванням часу, необхідного для набуття бетоном, укладеним в порожнинах сегментних підрощенних колон. розрахункової міцності і процесів по натягуванню арматурних стержнів, загальний час зведення покриттів на проектну висоту складав 35 днів. До недоліків справжньої технології можна віднести шарнірну схему спирання колони на

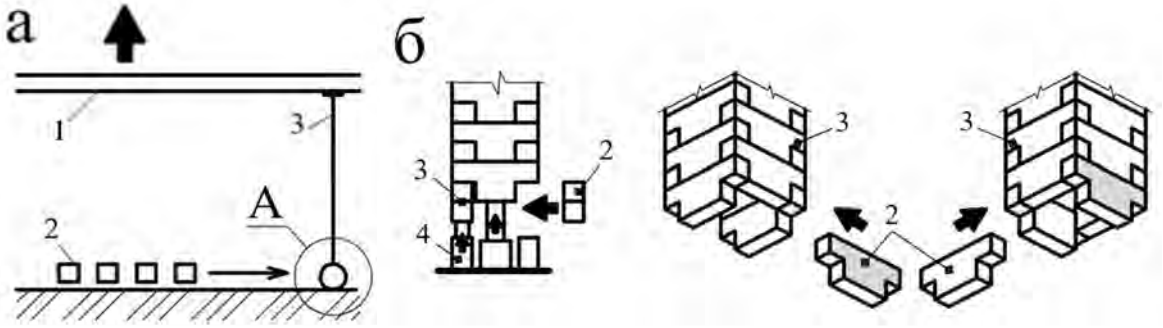


Рис. 1. Підйом покриття зі спиранням на оголовки підрощувальних колон:
а – загальна схема підйому, б – послідовність підрощування секцій колони,
1 – покриття, А – вузол підрощування колон, 2 – сегмент колони перед підрощуванням,
3 – ствол підрощенної колони, 4 – гідравлічний домкрат

фундамент в процесі підрощування, значну працеємність та низьку продуктивність монтажного процесу, велику кількість монтажних операцій по підготовці до підрощування кожного Т-образного сегмента колон, необхідність постійного контролю синхронної роботи 16 гідравлічних домкратів , задіяних в підйомі і утриманні сегментів колон в процесі їх підрощування, малий робочих хід штоків домкратів [5]. До переваг розглянутого варіанту підйому покриття зі спиранням на підрощуальні колони можна віднести концентрацію процесів підрощування колон на фундаментах.

Подальший розвиток технології підйому покриттів методом виштовхування зі спиранням покриття, що піднімається на підрощувальні колони, можна спостерігати на прикладі зведення покриття ангару розмірами 144 х 275м на авіазаводі у м. Києві, Україна [1, с. 41-44]. Покриття площею 39600 м^2 і масою 1100т піднімалось на висоту 24 м за 12 змін. Підрощування колон виконувалось за допомогою гідропідйомників ПГ-300. В якості колон, що підрощувались, використовувались секції підйомників, які подавались в зону підрощування між корпусами гідропідйомників і опорними рамами. Несучи ригелі покриття спирались на оголовки підрощувальних стовпів підйомників. Суцільні проектні колони буди прикріплені до нижньої поверхні опорних ригелів покриття в період укрупнення великопрольотного блоку покриття на низьких риштуваннях (висота 2,0 м). По мірі підрощування стовпів підйомників, проектні колони змінювали положення з горизонтального до вертикального. На завершальній фазі підрощування стволів підйомників проектні колони закріплювались в фундаментних стаканах. На наступному етапі монтажних робіт на оголовки проектних колон передавалось навантаження від опорних ригелів покриття. Після цього стволи підйомників демонтувались. Враховуючи те, що в процесі підйому покриття методом підрощування проектні колони не були задіяні, можна класифікувати підрощуванні стволи підйомників як «підрощувальні монтажні колони». З урахуванням того, що підрощування монтажних колон визначає схему спирання підрощувальних колон на фундаменти як «шарнірну», були впроваджені дороговартістні та металоємні заходи для забезпечення вертикальності переміщення секцій монтажних колон в процесі підрощування. Для цього секції монтажних колон були спроектовані розмірами в плані 2,8 х 2,8 м, а опорний вертикальний кондуктор кожної гідропідйомної установки висотою 10м мав нижній рамковий контур розмірами 16 х 16 м [5]. Для остаточної посадки блоків покриття на проектній висоті багаторазово виконувати цикли «підйом-опускання» в висотних межах 200–300 мм з постійним регулюванням місць стикування окремих блоків покриття. Підйом покриття методом виштовхування зі спиранням покриття в процесі вертикального переміщення на оголовки підрощувальних монтажних колон показаний на рис. 2.

До недоліків технології, що розглядається, можна віднести складність посадки блоків

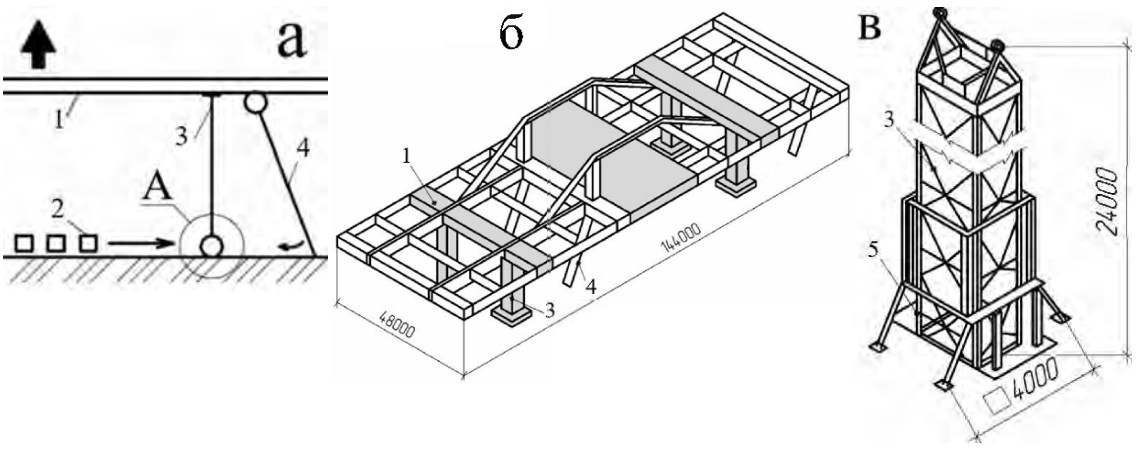


Рис. 2. Підйом покриття методом виштовхування зі спиранням покриття на оголовки підрощувальних монтажних колон: а – загальна схема підрощування колон, б – гідравлічний підйомний модуль ПГ – 300, в – великопрольотне покриття в процесі підйому, А – зона підрощування колон, 1 – покриття, 2 – сегменти монтажної колони, 3 – збірна підрощена монтажна колона, 4 – цілісна проектна колона, 5 – гідравлічні домкрати

покриття на оголовки колон та значна працеємність монтажних процесів на висоті 24 м, пов'язаних зі стиковкою між собою піднятих блоків покриття. Також, до недоліків технологічного рішення, що аналізується, можна віднести обов'язкове використання габаритного страхувального обладнання та складної системи домкратів, контролюючих положення покриття в процесі підйому. До переваг розглянутої технології можна віднести відсутність проміжних висотних монтажних площадок. В роботах на висоті 24 м монтажники були задіяні тільки на завершальній фазі при фіксації оголовків проектних колон та закріпленню ригелів покриття. Весь процес підрощування стволів підйомників був сконцентрований на фундаментах.

З урахуванням переваг методу виштовхування, до яких можна віднести умови виконання всього комплексу монтажних робіт по підрощуванню колон в рівні фундаментів, була розроблена нова технологія зведення великопрогонових покриттів, яка принципово відрізняються від відомих рішень. Згідно розробленої технології, на першому етапі монтажних робіт за допомогою стрілових самохідних кранів, одночасно з укрупненням покриття на низьких риштуваннях, монтуються фундаментні стакани, спарені колони несучого каркасу, міжколонні балки та зв'язки. На наступному етапі монтажних робіт виштовхування несучих ригелів покриттів на проектну висоту відбувається в просторі між спареними колонами каркасу зі спиранням на оголовки монтажних підрощувальних колон. В підрощуванні секцій монтажних колон задіяні гідравлічні домкрати підйомних модулів, розташовані на фундаментах в просторі між спареними колонами каркасу, та фіксатори підйому, закріпленні на зовнішніх поверхнях спарених колон каркасу. Підйомні модулі складаються з гідравлічних домкратів, та опорних площадок, прикріплених до штоків гідравлічних домкратів. Фіксатори підйому складаються з консольних опорних площадок, гідроциліндрів, розташованих в торцях консольних площадок та пересувних ригелів. Вертикальне переміщення підрощувальних секцій монтажних колон відбувається між напрямними профілями, закріпленими на внутрішніх поверхнях спарених колон каркасу. Процес підйому покриття методом виштовхування має циклічний характер. В кожному циклі висота переміщення ригелів покриття в просторі між спареними колонами каркасу дорівнювалась довжині робочого ходу штоків гідравлічних домкратів підйомного модуля. Цикл підрощування оголовка і кожної наступної секції монтажної колони можна розділити на три послідовні фази.

Фаза 1. «Передача навантаження від покриття на підйомний модуль». Спочатку, в процесі укрупнення покриття на риштуваннях під несучими ригелями покриття закріплюють опорні рами. Ригелі покриття та опорні рами заводять в простір муж спареними колонами несучого каркасу та опускають на оголовки монтажних підрощувальних колон, які розміщені на опорних площадках підйомних модулів. Опорні площадки приєднані до штоків гідравлічних домкратів підйомних модулів, розташованих на фундаментах в просторі між спареними колонами несучого каркасу. Таким чином навантаження від конструктивних елементів піднімаємого покриття, оголовків монтажних колон та опорних площадок передається на гідравлічні домкрати підйомних модулів.

Фаза 2. «Підйом покриття зі спиранням на оголовки монтажних колон». При подачі робочої рідини в корпуси гідравлічних домкратів відбувається переміщення (виштовхування) опорних площадок підйомних модулів, оголовків монтажних колон та конструкцій покриття на висоту, яка дорівнюється довжині робочого ходу штоків гідравлічних домкратів. За умови переміщення опорних рам та несучих ригелів покриття в просторі між спареними колонами каркасу, останні виконують функцію обмежувачів відхилень в горизонтальній площині покриття, що піднімається. Для контролю вертикальності переміщення секцій монтажних колон, що підрощуються, служать напрямні профілі, закріпленні на внутрішніх поверхнях спарених колон каркасу. Штоки гідравлічних домкратів виштовхують до моменту, поки консольні виступи оголовків монтажних колон не піднімуться вище рівня розташування фіксаторів підйому, закріплених на зовнішніх поверхнях спарених колон. При цьому, ригелі фіксаторів підйому знаходяться в початковому положенні, при якому вони не створюють перешкод для підйому консольних виступів оголовків монтажних колон вище висотного рівня розміщення ригелів фіксаторів підйому.

Фаза 3. «Передача навантаження від покриття на фіксатори підйому».

Після підйому оголовків монтажних колон до рівня, при якому їхні консольні виступи знаходяться вище рівня розміщення ригелів фіксаторів підйому, виконується подача робочої рідини в гідроциліндри фіксаторів підйому, що дозволяє перемістити ригелі фіксаторів підйому під консольні виступи оголовків монтажних колон. На наступному етапі штоки гідравлічних домкратів підйомних модулів переміщують вниз опорні площадки з оголовками монтажних колон до моменту, поки консольні виступи оголовків монтажних колон не опустяться на ригелі фіксаторів підйому. Таким чином навантаження від конструкції покриття через консольні виступи оголовків монтажних колон передається на ригелі фіксаторів підйому. Фази циклу підйому покриття зі спиранням на підрощувальні монтажні колони показані на рис. 3.

Звільнені від навантаження опорні площадки переміщують в початкове положення в напрямку корпусів гідравлічних домкратів підйомного модуля. Після цього на опорні площадки підйомного модуля подають наступні секції монтажної колони для виконання процесу підрощування. Послідовність зведення блоку покриття зі спиранням опорних рам та ригелів покриття на оголовки підрощувальних монтажних колон зображена на рис. 4.

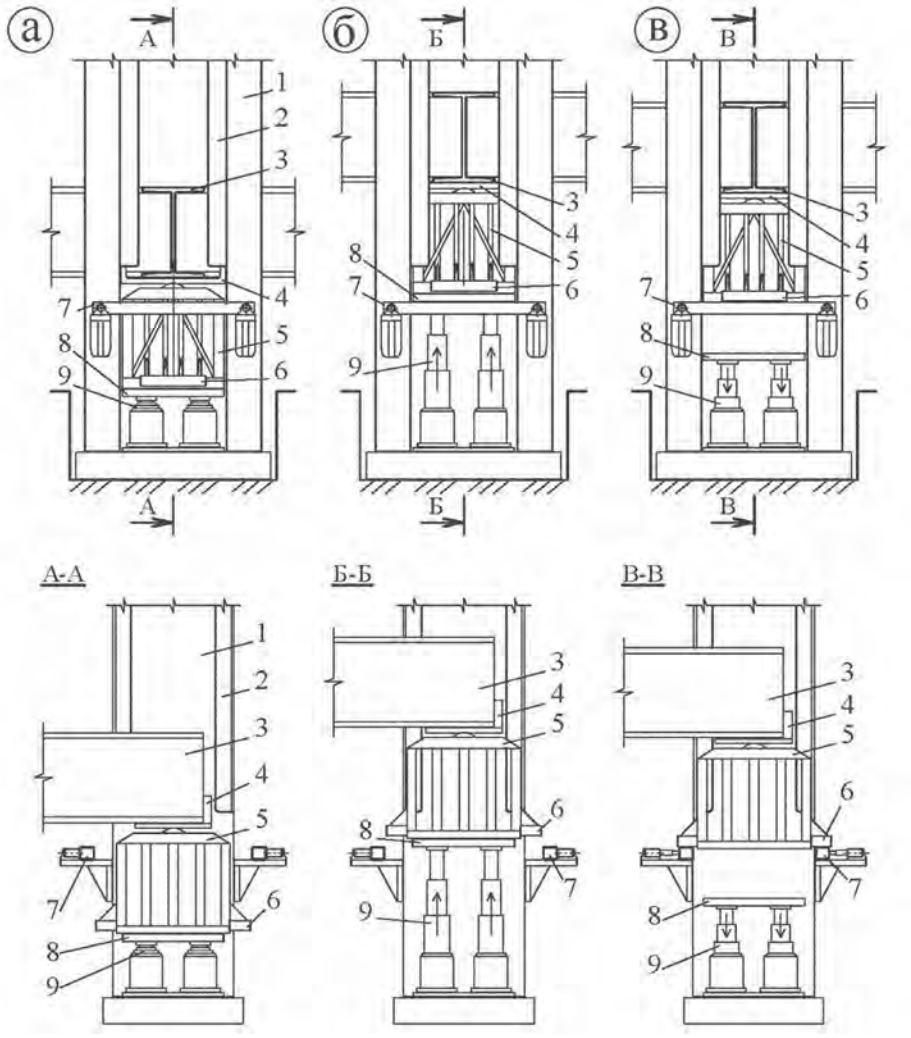


Рис. 3. Фази циклу підйому покриття зі спиранням на підрощувальні монтажні колони: а – передача навантаження від покриття на підйомний модуль, б – підйом покриття зі спиранням на оголовки монтажних колон, в – передача навантаження від покриття на фіксатори підйому, 1 – колона каркасу, 2 – напрямний профіль, 3 – ригель покриття, 4 – опорна рама, 5 – оголовок монтажної колони, 6 – консольний виступ оголовка монтажної колони, 7 – ригель фіксатора підйому , 8 – опорна площадка підйомного модуля, 9 – гідравлічний домкрат підйомного модуля

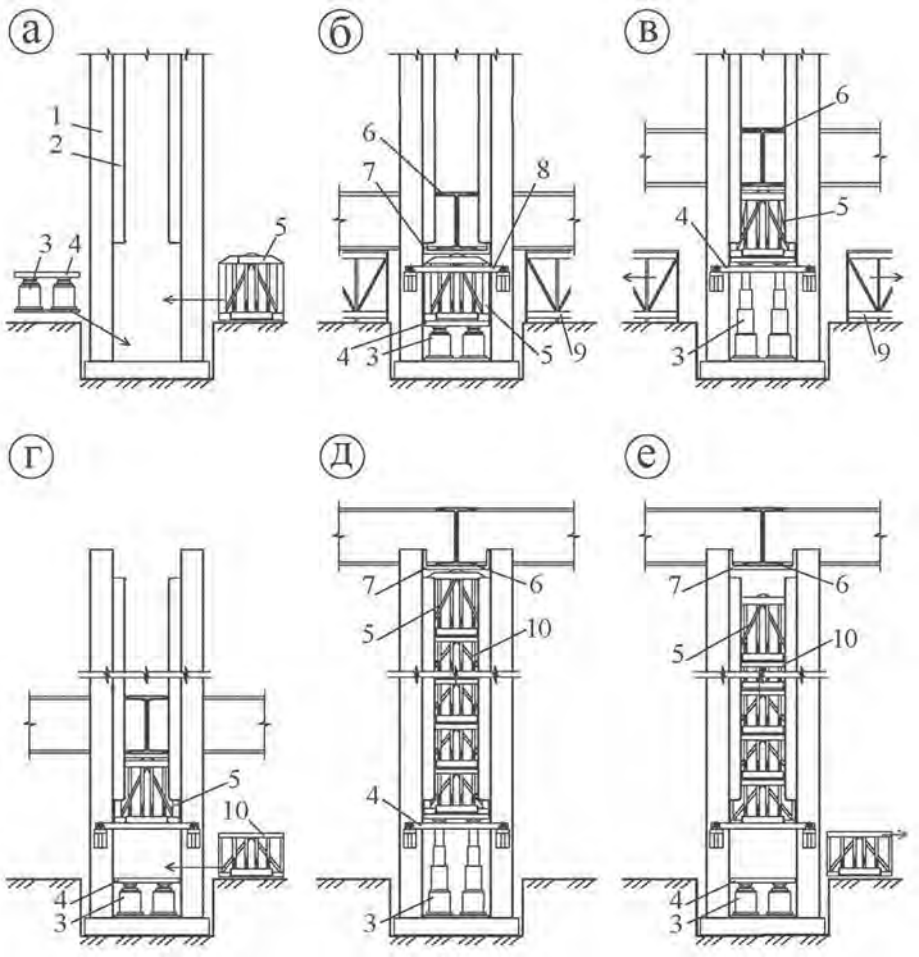


Рис. 4. Послідовність зведення блоку покриття зі спиранням ригелів покриття на оголовки підрощувальних монтажних колон:
а, б – передпідйомний етап, в, г, д – підйомний етап, е – післяпідйомний етап,
1 – колона каркасу, 2 – напрямний профіль, 3 – гідравлічний домкрат,
4 – опорна площадка, 5 – оголовок підрощувальної монтажної колони,
6 – ригель покриття, 7 – опорна рама, 8 – ригель фіксатора підйому,
9 – риштування, 10 – друга секція монтажної підрощувальної колони

Процес почергової передачі навантаження від секцій монтажних колон та конструкцій покриття, що піднімається, на гідравлічні домкрати підйомних модулів та на ригелі фіксаторів підйому продовжується до моменту виштовхування несучих ригелів покриття до рівня оголовків колон каркасу. На завершальній фазі «підйом-опускання» опорних рам покриття в межах 10–50 мм в просторі між оголовками спарених колон каркасу виконується, виключно, гідравлічними домкратами підйомних модулів. Після фінального закріплення покриття на проектній висоті виконують демонтаж підрощенних секцій монтажних колон. В процесі демонтажу задіяні гідравлічні домкрати підйомного модуля та ригелі фіксаторів підйому, які почергово сприймають навантаження від демонтуємих секцій монтажних колон. На останньому етапі розбирають конструкції фіксаторів підйому та демонтують складові підйомних модулів.

Використання розробленої технології дозволяє зменшити об'єми верхолазних робіт до операцій по остаточному закріпленню ригелів покриттів на проектній висоті, скоротити загальні строки підйомних робіт за умови виконання всього комплексу робіт по зведенню покриттів на майданчиках, розміри яких не перевищують габаритні розміри великопрогонового покриття, що піднімається. Всі процеси підрощування секцій стволів підйомних модулів та переміщення несучих ригелів покриття автоматизовані.

Висновки:

– з урахуванням переваг відомих варіантів підйому покриттів методом виштовхування було розроблене нове технологічне рішення по зведенню покриттів підйомними модулями, згідно з яким виштовхування несучих ригелів покриттів на проектну висоту відбувається в просторі між спареними колонами каркасу зі спиранням на оголовки монтажних підрощувальних колон. В підрощуванні монтажних колон задіяні гідравлічні домкрати підйомних модулів, розташовані на фундаментах в просторі між спареними колонами каркасу, та фіксатори підйому, закріпленні на зовнішніх поверхнях спарених колон каркасу.

– всі процеси підрощування секцій монтажних колон та переміщення ригелів покриття з рівня фундаментів на проектну висоту автоматизовані. До переліку висотних монтажних робіт входять тільки операцій по остаточному закріпленню ригелів покриття між оголовками колон каркасу.

– розроблена технологія зведення великопрогонових покриттів може бути використана в умовах щільної забудови на ділянках, розміри яких не перевищують розміри покриття, що піднімається.

Література

1. Черненко В.К., Осипов О.Ф., Тонкачеєв Г.М., Назаренко І.І. *Технологія монтажу будівельних конструкцій*. За редакцією Черненко В.К., Київ, Будівельник, 2011, 374 с.
2. Ignatenko, O. (2024). Improvement of technological solutions for erections of large-span coatings with lifting modules. *Slovak International Science Journal*.84. 28-35. http://doi:10.5281/zenodo.11624363
3. Tonkacheiev, H., Rashkivskyi, V., & Sobko Yu. (2022). Prerequisites for the creation of lifting and collecting technological modules for the installation of structural blocks of the coating. *AD ALTA*: No.12/01/XXVII. 204–206. http://www.magnanimitas.cz/ADALTA/120127/papers/J_05.pdf
4. Osipov, O., & Chernenko, K. (2020). Information Model of the Process of Lifting Long Span Roof.*Science innov*., 16 (4), 3-10, 2020, https://doi.org/10.15407/scine16.04.003
5. Черненко В.К., Собко Ю.Т. *Дослідження основних технологічних показників, що впливають на безкранові методи піднімання структурних покриттів*: Київ, Нові технології в будівництві. Науково-технічний журнал. 2016, № 36, С. 50–55. http://www.ntinbuilding.ndibv.org.ua/archive/2016/31/9.pdf
6. Собко Ю.Т., Новак Є.В. Відбір факторів, що впливають на трудомісткість процесу монтажу структурних плит покриттів одноповерхових будівель. *Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*, 2022, № 64, С. 343–350. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.64.343-350
7. Yang, Y., Du, H., & Men, W. (2023). Time -Varying Mechanical Analysis of Long-Span Special Steel Structures Integral Lifting in Construction Basing Building Information Model. *Sustainability*.15,11256. https://doi.org/10.3390/su15411256
8. Ruan, R., Lai, M., & Lin, Y. (2023). Integral Lifting of Steel Structure Corridor between Two Super High-Rise Building under Wind Load.*Buildings*.13. 2441. https://doi.org/10.3390/buildings13102441
9. FAGOLI Asotech. (2024). Innovative software and hardware for lifting systems with hydraulic Stand Jacks. 2024. https://www.asotech.com/en/portfolio/innovative-software-for-lifting-equipment/
10. SARENS GROUP. (2024). Direct Industry. Innovative solutions for hydraulic lifting system. https://www.directindustry.com/

References

1. Chernenko, V., Osypov, O., Tonkacheiev, H., Romanushko, Ye. (2011). Technology of installation of building structures. Horobets, Kyiv, 374 p. (in Ukrainian).
2. Ignatenko, O. (2024). Improvement of technological solutions for erections of large-span coatings with lifting modules. *Slovak International Science Journal*.84. 28-35. http://doi:10.5281/zenodo.11624363
3. Tonkacheiev, H., Rashkivskyi, V., & Sobko Yu. (2022). Prerequisites for the creation of lifting and collecting technological modules for the installation of structural blocks of the coating. *AD ALTA*: No.12/01/XXVII. 204–206. http://www.magnanimitas.cz/ADALTA/120127/papers/J_05.pdf
4. Osipov, O., & Chernenko, K. (2020). Information Model of the Process of Lifting Long Span Roof.*Science innov*., 16 (4), 3-10, 2020, https://doi.org/10.15407/scine16.04.003
5. Chernenko, V., & Sobko, Yu. (2016). Research of the main technological indicators influencing crane-less methods of lifting of structural coverings. *New Technologies in Construction*, 31, 50—58, (in Ukrainian). http://www.ntinbuilding.ndibv.org.ua/archive/2016/31/9.pdf
6. Sobko, Yu. & Novak, Ye., (2015). Research of methods of raising large-scale structural coverings of one-story industrial buildings. *Modern technologies and methods of calculations in construction,* 3, 157-162, (in Ukrainian). https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.64.343-350
7. Yang, Y., Du, H., & Men, W. (2023). Time -Varying Mechanical Analysis of Long-Span Special Steel Structures Integral Lifting in Construction Basing Building Information Model. *Sustainability*.15,11256. https://doi.org/10.3390/su15411256
8. Ruan, R., Lai, M., & Lin, Y. (2023). Integral Lifting of Steel Structure Corridor between Two Super High-Rise Building under Wind Load.*Buildings*.13. 2441. https://doi.org/10.3390/buildings13102441
9. FAGOLI Asotech. (2024). Innovative software and hardware for lifting systems with hydraulic Stand Jacks. https://www.asotech.com/en/portfolio/innovative-software-for-lifting-equipment/
10. SARENS GROUP. (2024). Direct Industry. Innovative solutions for hydraulic lifting system. https://www.directindustry.com/

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ERECTION OF LARGE-SPAN COATINGS BY LIFTING MODULES

Abstract. *At the basic of analysis of the features of organizational and technological variants for lifting large-span coatings through by pushing method, a new technology for erecting coatings using lifting modules was developed. According to the developed solution, forced lifting of large-span coatings from the level of foundations to the design height is carried out provided that the bearing crossbars of the coating are moved in the space between the paired columns of the frame from resting on the tips of the growing installation columns. Growth of mounting columns is performed by lifting modules, which are located on foundations between paired columns of frame, and lifting retainers, which are fixed on external surfaces of columns of frame. Optimization of technological processes for the construction of coatings is achieved by a significant reduction in the total number of works related to the growth of installation columns. At the same time, the list of high-altitude works, in which installers are involved, includes only works on the final fixation of roof crossbars between the heads of paired columns. Processes for growing the installation columns and moving the roof crossbars to the design height are automated. The entire complex of works on the construction of a large-span coating in conditions of dense buildings can be performed on a site whose dimensions do not exceed the dimensions of the rising coating.*

Key words: lifting modules, erection of large-span coatings, method of column growth.

Ignatenko O.O.
Candidate of Technical Science, Doctoral Student,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

УДК 528.92.504. 86
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.6

Казаченко Л.М.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID ID: 0000-0001-7188-2790

Казаченко Д.А.
викладач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID ID: 0000-0002-8309-53371

Казаченко В.А.
аспірант кафедри міського будівництва
Навчально-наукового інституту підготовки кадрів вищої кваліфікації
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків
ORCID ID: 0000-0002-9568-3136

Лобко-Зампассі М.
асистент кафедри образотворчого мистецтва і дизайну
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків
ORCID ID: 0000-0002-0945-6624

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ І 3-D МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ МІСТ

Анотація. *Пошкоджені житлові будинки та історичні будівлі Українських міст з боку військових дій РФ потребують якнайшвидшого відновлення. Для цього потрібні будівельні матеріали, кошти, час, фахівці будівельної справи. Є такі історичні будівлі, які для відновлення їх у тому вигляді, якому були вони створені, потребують скульпторів, художників, реставраторів, тобто фахівців дуже вузької спеціальності. В наш час комп'ютерних технологій, геоінформаційних систем і 3-D моделювання є можливість відтворення таких будівель не витрачаючи багато ресурсів. Застосування будівельного 3-D принтера як альтернативи у будівельній справі може значною мірою сприяти відновленню та відбудови пошкодженого житла, застосовуючи при цьому як будівельну суміш подрібнене будівельне сміття, яке залишається після бомбардування наших міст. Застосування лазерного 3-D сканування пошкоджених будівель, комп'ютерна обробка результатів дає змогу визначити ступінь пошкодження, порахувати витрати та підібрати будівельні матеріали. Новітні методи і технології, комп'ютерні програмні засоби дають змогу програмувати відновлення пошкоджень будівель. 3-D моделювання пошкоджених житлових будинків, історичних будівель і споруд допомагають у якнайшвидший час здійснити їх відбудову. Побудована 3-D модель зруйнованої будівлі показана можливості програмних засобів у відбудові. Проведення 3D-сканування для збереження об'єктів, що відносяться до архітектурної культурної спадщини у цифровому вигляді потрібно для створення єдиної бази даних культурного заповідання. Проведення робіт з 3-D сканування є вкрай необхідним в часи війни, оскільки є високий ризик пошкодження або зруйнування таких неповторних історичних будівель. Спираючись на досвід іноземних колег, можемо стверджувати, що це дуже потрібно для подальшої фотофіксації у цифровому вигляді найцінніших історичних об'єктів, які можна відтворити тільки за 3-D зображенням. На основі 3D-моделювання за допомогою програмних засобів можна з високою точністю відновлювати зруйновані війною будівлі, які . Такий підхід до збереження історико-культурної спадщини відкриває нові перспективи.*

Ключові слова: 3-D моделювання, ГІС-технології, відбудова пошкодженого житла.

Вступ. Повномасштабна війна, яку затіяла Росія повністю змінило обсяги будівництва та відновлення зруйнованих будівель в містах та населених пунктах України. Відомо такі факти, що внаслідок військових дій з боку РФ в містах і селах зруйновано або пошкоджено понад 20 000 багатоповерхівок, понад 150 000 приватних господарських житлових будинків. Величезна кількість – понад 3 500 пошкоджених або зовсім зруйнованих об'єктів інфраструктури та об'єктів охорони здоров'я. Знищено або зазнали значних руйнувань біля 4 000 закладів освіти. Все це потребує відновленню та відбудови.

Для відновлення та відбудови найбільш затребуваними будуть новітні технології будівництва. Вже відомо, що на сьогоднішній день втрати пошкоджених будівель і споруд становлять понад $150 млрд, з них житловий фонд зазнав збитків біля $56 млрд, об'єкти інженерної інфраструктури біля $37 млрд, промисловість біля $12 млрд. Уряд України разом з ООН та Світовим банком зробили приблизні розрахунки коштів на відновлення, які оцінюються понад 400 мрд доларів.

До збитків житлового фонду входять будівлі, що відносяться до історико-культурної спадщини. Але різниця в тім, що ці будівлі так просто не відновляться. Якщо звичайні будинки, де проживають громадяни України можуть відновити будівельники, то для відновлення історичних будівель потрібні вузькі фахівці – художники, скульптори, реставратори. Тому це дуже складна задача. Рішенням проблеми можуть стати новітні технології в будівництві з використанням простих матеріалів. Так застосування 3-D принтера у відбудівлі історичних будівель може стати якнайкращім варіантом. Заповнюючи будівельними сумішами елементів фасаду можна відтворити первозданний вигляд історичної будівлі. Будівельні 3D-принтери це роботизовані прилади, які працюють за допомогою керування фахівцем і створюють будівельні конструкції за розробленими кресленнями у 3-D форматі. Такі роботизовані принтери відрізняються конструктивними можливостями і методами зведення стін. Серед них є будівельні 3-D принтери портальної конструкції, двох і чотирьох опорної конструкції, маніпулятоної та циркульної конструкції. Будівельний 3-D-принтер створює будівельні конструкції та елементи оздоблення, які побудовані в програмному забезпеченні, тобто друкує елементи, які потім можна зібрати на будівельному майданчику. Такий робот-3-D принтер може збудувати за швидкий час невеликий за розміром одноповерховий будинок і з дешевих будівельних сумішей, які можна отримувати з будівельного сміття.

Для відновлення зруйнованих або пошкоджених будівель виникає потреба у будівельних матеріалах, але за часи війни понад 15% виробничих потужностей будівельних матеріалів зазнали руйнувань. Майже знищені виробництво металопрокату, цегли, сухих гіпсових сумішей та інших матеріалів, які вкрай необхідні для відбудови та відновлення. Як відомо чім раніше буде відбудова та відновлення зруйнованої або пошкодженої інфраструктури і житлових будинків, тим громадяни раніше повернуться у звичайне життя, тобто відновлення потрібно робити зараз. Нашу державу в цьому підтримують такі країни як Естонія, Данія, Японія, Франція, які надають експертизу, підтримку на відбудову.

Методика дослідження Українці сильна нація і не дуже чекають на допомогу залучаються до відбудови наших зруйнованих міст, як приклад наше місто Харків. Але для відновлення і відбудови потрібні нові унікальні методи та методики.

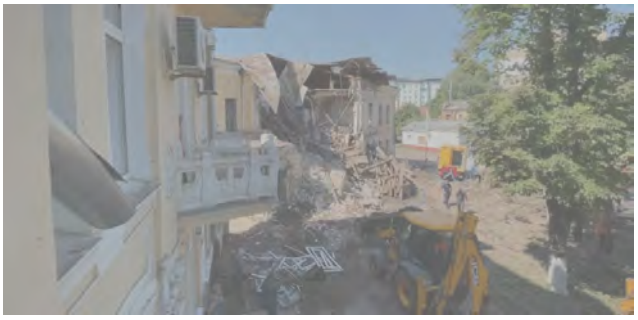


Рис. 1. Фіксація пошкодженого історичного будинку в м. Харків

Існує також проблема знищення будівельних відходів – побита цегла, цементна суміш, плитка. Проблема утилізації та розчищення будівельного майданчика від матеріалів руйнації. За даними Міністерства довкілля обсяг яких складає понад 700 000тон, значна частина з яких може бути використана для подальшої відбудови країни. На Київщині вже є такий досвід, створено такі майданчики з сортування будівельних матеріалів, на яких очищаються від цементних сумішей цегла інші будівельні матеріали, які сортуються та використовується заново у будів-

ництві та відновленні. А цементні суміші теж використовуються у будівництві шляхом їх перемелювання у малі фракції, в результаті чого утворюються нові матеріали. Такий досвід започаткували на Харківщині, нещодавно в Харківському районі за м. Дергачі є полігон побутових відходів, куди вивозять будівельні відходи, де їх сортують, вичищають і відправляють на повторну переробку. Такі матеріали як металеві, пластикові, скляні залишки та бетон після проведення сортування перероблюють, з використанням подрібнювача. Ці отримані матеріали використовують повторно у відбудові зруйнованих будинків (рис. 2).

Використання будівельного робота 3-D принтера у відновленні пошкодженого житла та конструктивних елементів, які можна запроектувати за допомогою комп'ютерних програм може вирішити частину проблеми відбудови. Будівельний робот 3-D принтер працює з будівельними сумішами, які можна отримати з будівельного сміття, шляхом подрібнення. Такі роботи можна створювати прямо на будівельних майданчиках і використовувати в якості утилізації будівельного сміття як нового будівельного матеріалу, що вирішує зразу декілька завдань - дає швидке відновлення пошкоджених будівель не витрачаючи багато коштів на будівельні матеріали і використовує будівельне сміття для утилізації і очищення територій. В часи війни, це альтернатива вирішення ряду завдань.

Харків'яни знайшли спосіб використання подрібненої фракції відходів – засипаючи їх між збудованими стінами як утеплювач за принципом колодязя, що дозволило максимально використати відходи без утилізації. Приклад в Гостомелі відбудоване військове містечко подрібненими цеглою, бетоном та цементом, які стають новими будівлями за принципом економного використання замкнутого циклу відбудови за допомогою використання будівельного 3-D принтера

Цей замкнений цикл відбудови створеній за ініціативою французької "материнської" компанії Neo-Eco, що спеціалізується на екологічному відновленні пошкоджених об'єктів методом циркулярної економії. Демонтаж зруйнованих житлових будинків та всі процеси переробки будівельних залишків проводиться на будівельному майданчику, які становлять будівельний матеріал для відбудови нових житлових будинків за допомогою застосування 3-D принтера. Частину будівельного сміття використовують для підняття рівня землі тимчасових проїздів будівельної техніки та будівництва нових доріг.

За таким принципом відбудови житлових будинків повідомила пресслужба визначені 6 населених пунктів в Київській області – с. Бородянка с .Мощун, м.Тростянець в Сумській області, с. Циркуни в Харківській області, м. Посад-Покровське в Херсонській області і с. Ягідне в Чернігівській області. За таким принципом відновлення згідно концепції відбудови планується здійснити відбудову у 3 етапи. На першому етапі – відновлення пошкоджених житлових будівель. На другому – реконструкція вулично-дорожньої мережі. На третьому – створення громадського простору – паркової зони, бібліотек. Тобто трансформація житлового середовища мешканців.

Пошкодження будівель, особливо історичних потребує визначення ступеня руйнації для нарахування збитків, заподіяних українським містам, які повинні відшкодувати країна агресор. Досвід зруйнованого пожежею історичної будівлі у Франції – Нотр-Дам у Парижі та його 3D-сканування і отримання знімків історичної будівлі свідчить про те, що відновити такий будинок можна за допомогою фотогра-

Рис. 2. Будівельні матеріали, що збираються для повторного використання у відбудові житла будівельним 3-D принтером

фій, тобто маючі знімки з усіх сторін є можливість відбудови у первозданному вигляді.

В зруйнованому війною м. Харкові для цілей фіксування пошкоджень будівель та їх відновлення застосовують 3D-сканування історичних будівель за допомогою ГІС-технологій, а саме використання 3D сканера (рис. 3).

Рис. 3. Фото пошкоджених будівель м. Харкова

Цей спосіб використовується зараз фахівцями міста Харків як спосіб проведення експертизи визначення ступеню руйнувань ракетними ударами та авіабомбардуваннями будинків.

3D-сканер – це роботизовіаний прилад, який працює за допомогою лазерного променя, який відбивається від оптичної системи приладу. 3D-сканер пошарово знімає об'єкт пошкодження шляхом керування фахівцем через дисплей і повертається в іншу оптичну систему. Фахівець фіксує кожне місце пошкодження в комп'ютері, яка накопичується (рис. 4).

Рис. 4. 3D-сканер роботизований прилад, що фіксує ступінь пошкодження історичної будівлі

Отриману інформацію в офісі обробляють за допомогою комп'ютерного програмного забезпечення. Це дозволяє створити 3D-модель руйнації будинку з міліметровою точністю і вирахуванням всіх пошкоджень (рис. 5).

Рис. 5. Фіксація всіх пошкоджень роботом – 3-D сканером

3D-сканер за стислі терміни фіксує пошкодження і при найменших витратах. Новітній спосіб визначення ступеню пошкоджень і побудови моделі пошкодження із застосуванням високоточного приладу 3D-сканеру дає змогу у найкоротші терміни порахувати збитки і визначити кошти для відбудови будівель. Це стосується також пошкоджених житлових будівель, на відновлення яких в наш час працює грошова підтримка громадян. Якщо громадянин, будівлю якого пошкоджено звернеться до експертів, які проводять такі дослідження для відшкодування заподіяної шкоди та збитків (рис. 6).

Рис. 6. Фіксація відображення на екрані планшету пошкодження

В місті Харкові дуже багато пошкоджено житлових багатоповерхівок, які потребують

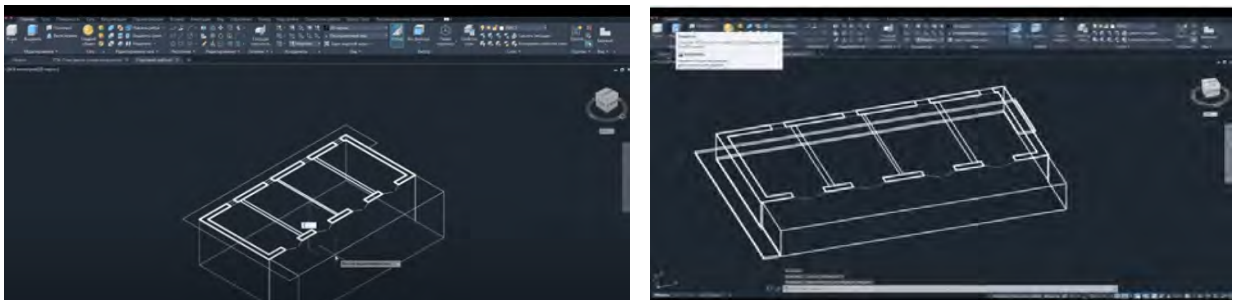


Рис. 7. Обрисовка конструкції будівлі

швидкого реагування щодо відновлення та відбудови. Ступінь пошкодження визначена за допомогою 3D - сканування дає уявлення за дуже короткий час. Так фахівці стверджують, що застосування методу 3D - сканування зруйнованого дев'ятиповерхового будинку займає біля двох годин часу. А комп'ютерна обробка отриманих результатів триває кілька годин.

Для обґрунтування доказів потрібен висновок фахівців – експертів, який об'єктивно підтверджував факт руйнування і склав Акт первинної експертизи про пошкоджене житло та про відшкодування збитків. В цьому випадку такий метод визначення ступеню пошкоджень із застосуванням 3D – сканера є досить точним і суттєвим, який фіксує фото збитків та робить модель пошкодження будівель.

Проведення 3D-сканування для збереження об'єктів, що відносяться до архітектурної культурної спадщини у цифровому вигляді потрібно для створення єдиної бази даних культурного заповідання. Проведення таких робіт є вкрай необхідним в часи війни, оскільки є високий ризик пошкодження або зруйнування таких неповторних історичних будівель. Спираючись на досвід іноземних колег, можемо стверджувати, що це дуже потрібно для подальшої фотофіксації у цифровому вигляді найцінніших історичних об'єктів, які можна відтворити тільки за 3-D зображенням.

Для відновлення пошкоджених будівель і споруд є метод 3-D планування реконструкції зруйнованих будівель. Для цього потрібно використовувати програмне забезпечення, яке дає змогу після 3-D сканування пошкоджених будівель і споруд отримати вихідні дані для розрахунку не тільки пошкодження, але й відбудови.

Таким чином завдяки 3-D скануванню можна запроектувати відбудову зруйнованого або пошкодженого будинку використовуючи програмне забезпечення. Ми в дослідженні побудували 3-D модель відбудови зруйнованої історичної будівлі після 3-D сканування пошкодження. Після отримання результатів сканування пошкоджень ми занесли в програмне забезпечення всі дані зруйнованих елементів конструкції будівлі. Для цього ми скористались програмним забезпеченням AutoCad (рис. 7).

Обрисувавши конструкцію будівлі в програмі ми отримали основні елементи будівлі для її відбудови (рис. 8).

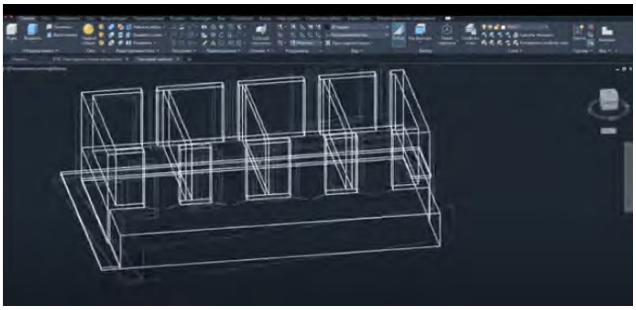


Рис. 8. Закладка фундаменту і основних будівельних конструкцій та обрисовка основних конструктивних елементів стін

Обрисовуємо основні конструктивні елементи в програмі AutoCad і за допомогою функції Витягування піднімаємо їх у програмі – витягуємо конструктивні елементи вікон, дверей (рис. 9).

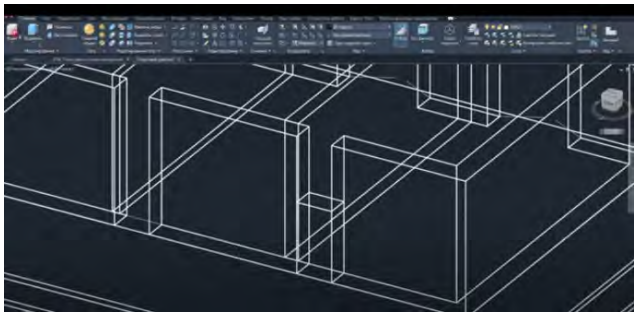


Рис. 9. Обрисовуємо і витягуємо двірні та віконні пройоми

Приступаємо до конструювання віконних пройомів за допомогою команди «Ящик». Обрисовуємо майбутні віконні пройоми (рис. 10).

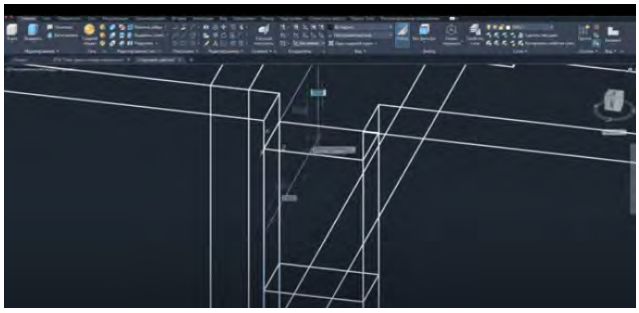


Рис. 10. Побудова в програмі
двірних та віконних пройомів

Моделюємо у форматі 3-D пройом вікна закладуючі ширину пройома, довжину та відстань від підлоги до стелі (рис. 11).

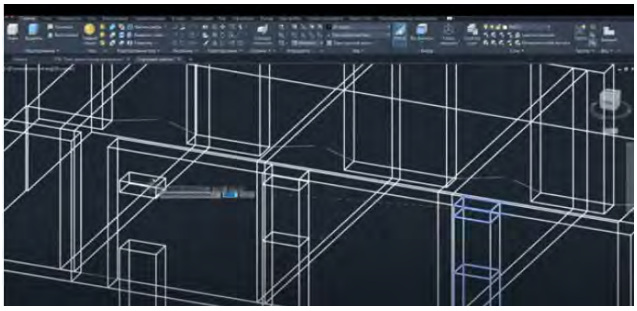


Рис. 11. 3-D моделювання проймів з закладкою
ширини і довжини кожного елементу

Копіюємо елементи віконних пройомів, які в будинку однакові і вставляємо їх в інші пройоми – отримуємо всі запроектовані конструкції вікон (рис. 12).

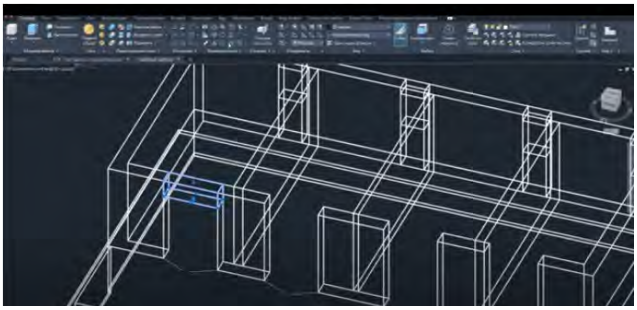


Рис. 12. Отримання всіх запроектованих
конструкцій вікон

Далі конструюємо двірні пройоми і копіюємо та переносимо на всі стіни ці конструктивні елементи, отримуємо побудовану 3-D модель конструкції відбудови (рис. 13).

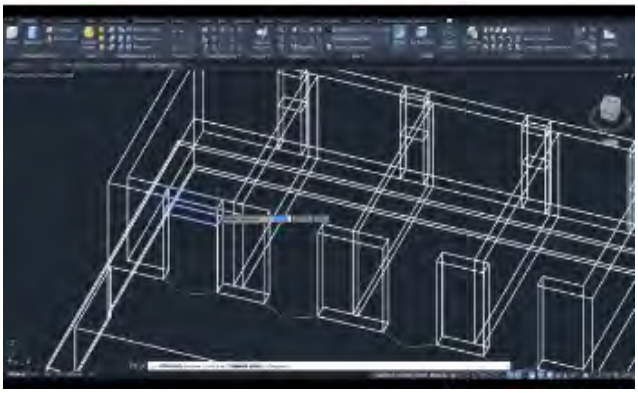


Рис. 13. Отримання конструктивних 3-D елементів
відбудованої будівлі

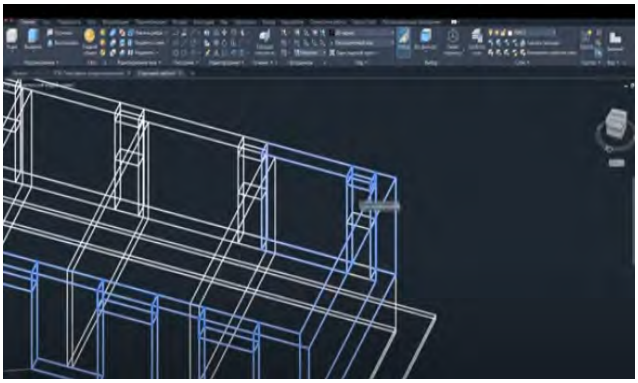


Рис. 14. Проектування двірних пройомів

Після отримання конструктивних 3-D елементів відбудованої будівлі. Виділяємо окремі 3-D тіла будівельної конструкції, копіюємо і вставляємо в конструктивні елементи відновленого будинку (рис. 15).

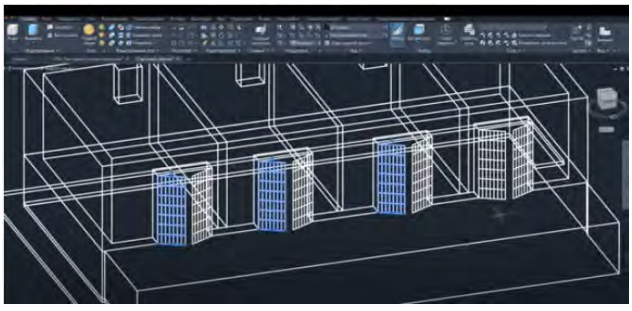


Рис. 15. Побудова 3-D тіла будівельної конструкції

Виділяємо двірні полотна та конструюємо їх у всіх двірних пройомах – отримуємо двірні 3-D тіла (рис. 16).

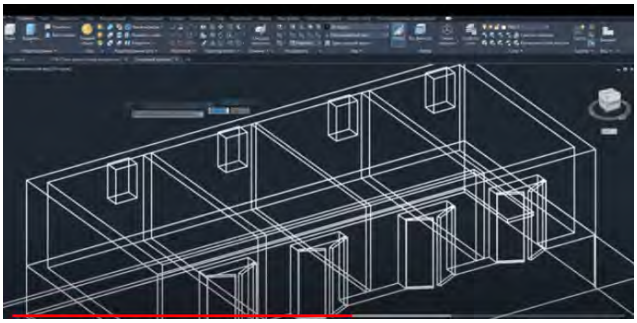


Рис. 16. Коструювання 3-D тіла двірних пройомів

Задавши товщину конструктивних елементів будуємо далі 3-D - модель відновлення пошкодженого війною будинку. Далі моделюємо заповнення стін будівельними матеріалами і отримуємо побудовану 3-D конструкцію будівлі із заповненими стінами та вікнами (рис. 17).

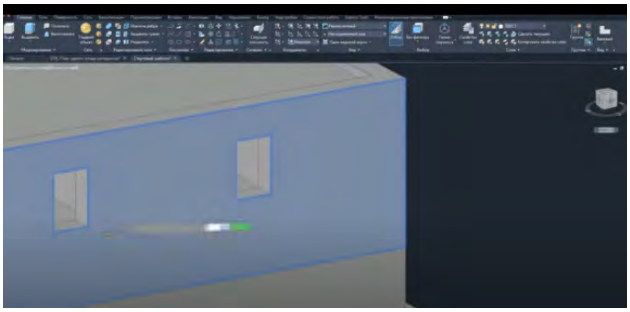


Рис. 17. Побудована 3-D конструкція будівлі із заповненими стінами та вікнами

Такий метод відновлення може бути застосований у будь-якій країні, у будь-якій час. Цей метод 3-D сканування пошкоджених будівель дає змогу визначити ступінь пошкодження і порахувати обсяги будівельних матеріалів. Методи 3-D моделювання відновлення будівель дає можливість приймати швидкі управлінські рішення щодо відновлення та відбудови нашої Держави

Висновки

1. Проведення 3D-сканування для збереження об'єктів, що відносяться до архітектурної культурної спадщини у цифровому вигляді потрібно для створення єдиної бази даних культурного заповідання.

2. Проведення робіт з 3-D сканування є вкрай необхідним в часи війни, оскільки є високий ризик пошкодження або зруйнування таких неповторних історичних будівель.

3. Спираючись на досвід іноземних колег, можемо стверджувати, що це дуже потрібно для подальшої фотофіксації у цифровому вигляді найцінніших історичних об'єктів, які можна відтворити тільки за 3-D зображенням.

4. На основі 3D-моделювання за допомогою програмних засобів можна з високою точністю відновлювати зруйновані війною будівлі, які .

5. Такий підхід до збереження історико-культурної спадщини відкриває нові перспективи відтворення втрачених об'єктів культурної спадщини України.

Література

1. Мережко, А. Закордонний досвід реновації історичної житлової забудови. // Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, №66,Київ 2023р. Стор. 179–190. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.179-190
2. Шумаков І.В., Табачніков С.В., Наливайко Т.А., Дорожко Є.В., Наливайко Т.Т. Інноваційні методи планування і реконструкції будівель історичної спадщини з використанням 3-D сканера // Науково-технічний збірник "Комунальне господарство міст", Серія: Технічні науки та архітектура, Том 4, Вип. 178. ХНУМГ ім О.М. Бекетова Харків 2023, С.65-71
3. For the history of architectural conservation in general and the origins of national practices in Italy, France, England and the German States through the early twentiety century, see: John H. Stubbs, Time Honored: A Global View of Architectural Conservation (Wiley & Sons: Hoboken, 2009), 183–226.
4. Giovanni Carbonara (compiler), Trattato di Restauro Architettonico, vols. 1-11 (Torino: UTET, 1996-2008).
5. John H. Stubbs, Emily G. Makaš. Architectural conservation in Europe and the Americas: national experiences and practice / John H. Stubbs, Emily G. Makaš. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. – 754 с.
6. Jukka Jokilehto. A History of Architectural Conservation / Jukka Jokilehto. – Great Britain: LIBERfabrica, 2002. – 354 с.
7. Казаченко В.А. ГІС-технології в особливостях планування забудови крупних міст європейських країн в XVIII – XIX ст. // Вісник Харківського автомобільно-дорожнього університету Вип.92 т.2 Харків ХНАДУ 2021 р с.98-103
8. В. Казаченко, М. Лобко-Зампассі Виявлення схожості планування та оздоблення міської забудови України та Європейських країн // Комунальне господарство міст Наук.техн.збірник серія технічні науки та архітектура Випуск 173 Т-6/ Харків ХНУМГ ім.Бекетова 2022 с. с.49-53
9. Л.М. Казаченко, В.А. Казаченко, М. Лобко-Зампассі , Д.А Казаченко Іноваційні методи відновлення та відбудови будівель і споруд у післявоєнні часи роботом-3D принтером // Нові технології в будівництві №41 2022 Київ КНУБА 2022 С.21-28
10. Сунак П.О, Синій С.В, Мельник Ю.А Ксьоншкевич Л.М., Крантовська О.М, Орешкович Матіа, Реконструкція інженерних споруд та мереж, ландшафту на основі технології лазерного сканування //"Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві", Вип.18, 2022 с.147-161 https://doi.org/10.36910/ 6775-2410-6208-2022-8(18)-16

References

1. Merezhko, A. Foreign experience of renovation of historical residential buildings. // Contemporary problems of Architecture and Urban Planning, No. 66, Kyiv 2023. Page 179–190. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.179-190
2. Shumakov I.V., Tabachnikov S.V., Nalyvaiko T.A., Dorozhko E.V., Nalyvayko T.T. Innovative methods of planning and reconstruction of buildings of historical heritage using a 3-D scanner // Scientific and technical collection "Utility management of cities", Series: Technical sciences and architecture, Volume 4, Issue. 178. XNUMG named after O.M. Beketova, Kharkiv 2023, pp. 65-71
3. For the history of architectural conservation in general and the origins of national practices in Italy, France, England and the German States through the early twentiety century, see: John H. Stubbs, Time Honored: A Global View of Architectural Conservation (Wiley & Sons: Hoboken, 2009), 183–226.
4. Giovanni Carbonara (compiler), Trattato di Restauro Architettonico, vols. 1-11 (Torino: UTET, 1996-2008).
5. John H. Stubbs, Emily G. Makaš. Architectural conservation in Europe and the Americas: national experiences and practice / John H. Stubbs, Emily G. Makaš. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. – 754 c.
6. Jukka Jokilehto. A History of Architectural Conservation / Jukka Jokilehto. – Great Britain: LIBERfabrica, 2002. – 354 c.
7. Kazachenko V.A. GIS technologies in the peculiarities of planning the development of large cities of European countries in the XVIII - XIX centuries. // Bulletin of the Kharkiv Automobile and Road University Issue 92 vol. 2 Kharkiv Khnadu 2021 p. 98-103
8. V. Kazachenko, M. Lobko-Zampassi Identification of similarities in the planning and decoration of urban buildings of Ukraine and European countries // Communal management of cities Science and technology collection series of technical sciences and architecture Issue 173 T-6/ Kharkiv KhNUMG named after Beketov 2022 p. . pp. 49-53
9. L.M. Kazachenko, V.A. Kazachenko, M. Lobko-Zampassi, D.A Kazachenko Innovative methods of restoration and reconstruction of buildings and structures in post-war times with a robot-3D printer // New technologies in construction #41 2022 Kyiv KNUBA 2022 P.21-28
10. Sunak P.O., Sinii S.V., Melnyk Yu.A. Ksionshkevich L.M., Krantovska O.M., Oreshkovich Matia, Reconstruction of engineering structures and networks, landscape based on laser scanning technology //"Modern technologies and calculation methods in construction", Issue 18, 2022 p. 147-161 https://doi.org/10.36910/ 6775-2410-6208-2022-8(18)-16

GIS TECHNOLOGIES AND 3-D MODELING FOR RESTORATION OF DAMAGED CITIES

Abstract. *Residential buildings and historical buildings of Ukrainian cities damaged by the military actions of the Russian Federation need to be restored as soon as possible. This requires construction materials, funds, time, and construction specialists. There are historical buildings that require sculptors, artists, restorers, i.e. specialists of a very narrow specialty, to restore them in the form in which they were created. In our time of computer technology, geographic information systems and 3-D modeling, it is possible to reproduce such buildings without spending a lot of resources. The use of a construction 3-D printer as an alternative in the construction business can greatly contribute to the restoration and reconstruction of damaged housing, while using as a construction mixture the crushed construction debris that remains after the bombing of our cities. Application of laser 3-D scanning of damaged buildings, computer processing of the results makes it possible to determine the degree of damage, calculate costs and select building materials. The latest methods and technologies, computer software tools make it possible to program the restoration of damage to buildings. 3-D modeling of damaged residential buildings, historic buildings and structures helps to rebuild them as soon as possible. The built 3-D model of the destroyed building shows the possibilities of software tools in reconstruction. Conducting a 3D scan to preserve objects related to architectural cultural heritage in digital form is required to create a single database of cultural heritage. 3-D scanning work is essential in times of war, as there is a high risk of damage or destruction to such unique historic buildings. Based on the experience of foreign colleagues, we can say that this is very necessary for further digital photo-fixation of the most valuable historical objects, which can be reproduced only by 3-D image. On the basis of 3D modeling, with the help of software, it is possible to restore with high accuracy the buildings destroyed by the war, which . This approach to the preservation of the historical and cultural heritage opens up new prospects for the reproduction of the lost objects of the cultural heritage of Ukraine.*

Key words: 3D modeling, GIS technologies, reconstruction of damaged housing.

Kazachenko L.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Road Design,
Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko D.A.
Teacher at the Road Design, Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko V.A.
Postgraduate Student at the Department of Urban Construction of the Educational
and Scientific Institute for the Training of Highly Qualified Personnel,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

Lobko-Zampassi M.
Assistant at the department of "Fine Art and Design"
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

УДК 528.92.504. 86
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.7

Казаченко Д.А.
викладач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID ID: 0000-0002-8309-53371

Казаченко Л.М.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID ID: 0000-0001-7188-2790

Казаченко В.А.
аспірант кафедри міського будівництва
Навчально-наукового інституту підготовки кадрів вищої кваліфікації
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків
ORCID ID: 0000-0002-9568-3136

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ І ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ПЛАНУВАННІ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ

Анотація. *Геопросторовий розвиток територій в Україні за останній час відбувається дуже стрімко. Замість раніш утворених сільських, селищних, міських рад утворилися територіальні громади, які об'єднали у себе сільські, селищні, міські ради. Зміни у структурі управління новосформованими територіями потребують їх геопросторового визначення в єдиній цифровій картографічній системі. У зв'язку з цим потребує вирішення проблема геодезичного наповнення баз даних Держгеокадастру геопросторовими даними про межі територіальних громад з виділенням і встановленням меж населених пунктів, що входять до цих громад та розробки генеральних планів на змінені території населених пунктів. Визначення координат поворотних точок новостворених територій напряму залежить від точності визначення вихідних геодезичних даних, якими є пункти Державної геодезичної мережі, для цього потрібно вирішення наукових задач рівноточних або нерівноточних вимірів в геодезичній практиці. Унесення до бази даних єдиної цифрової картографічної системи геопросторових даних про межі територій громад, населених пунктів, об'єктів, земельних ділянок шляхом розроблення містобудівної документації та документації із землеустрою потребує точності визначення вихідних геодезичних даних. Математичне опрацювання вихідних геодезичних даних на пунктах Державної геодезичної мережі методами GPS-спостережень дало змогу отримати вихідні геодезичні дані, що дало змогу практичного застосування з визначення геопросторових даних та розробки цифрових картографічних матеріалів – геодезичної основи на території населених пунктів. В результаті проведення дослідження були побудовані цифрові картографічні дані на населені пункти для подальшої розробки генеральних планів та встановлені межі їх територій і занесені до бази даних Держгеокадастру України.*
Ключові слова: територіальне планування, геопросторові дані, цифрові картографічні матеріали, математичне опрацювання.

Вступ. Постановою КМУ «Про порядок розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації», від 1 вересня 2021 року № 926 [1] регулюється топографо-геодезична діяльність у сфері розробки містобудівної документації, до якої відноситься План просторового розвитку території ОТГ. Комплексні плани просторового розвитку територій ОТГ розробляють в сучасних умовах виключно у цифровому вигляді і роздруковують на паперових носіях, які зберігають у ОТГ та передають до Державного архіву збереження

геодезичних та картографічних джерел. Для цих цілей необхідно проведення комплексних геодезичних вимірювальних робіт, до яких пред'являють певні вимоги щодо точності знімань, побудови картографічних творів. Такі роботи виконують на сучасному етапі виключно цифровими та електронними геодезичними вимірними системами.

Організація робіт з просторового розвитку території територіальних громад має за мету визначення геодезичних координат і встановлення їх меж у Держгеокадастрі України, як єдиної цифрової картографічної основи.

Методи дослідження Визначення геопросторових даних межі об'єднаної територіальної громади починається з вибору варіантів які території будуть в об'єднаній територіальній громаді. При виконанні дослідження були застосовані методи ранжування за формальними ознаками вихідних геодезичних даних пунктів ДГМ. Для класифікації опорних пунктів ДГМ за зональним принципом та класами використані методи систематичного аналізу. Для вивчення точності сигналів на базових станціях опорних пунктів ДГМ використані кількісні методи "дослідження кількості прийомів". Для формулювання вимог та переліків обмежень у функціонуванні опорних станцій пунктів ДГМ були застосовані методи класифікації.

Отримані результати Для опрацювання результатів обстеження пунктів ДГМ були взяті вихідні геодезичні координати пунктів ДГМ, що у базах даних ДП «Інститут геодезії та картографії» (рис. 1).

Для цього ми використовували дані Геопорталу України вихідні геодезичні дані *X, Y, B, L*, також похибки m_x, m_y і занесли ці дані в GPS-приймач. На пунктах розташування ДГМ визначили τ_{min} – мінімальний час сеансу, при якому виходять стійкі і надійні результати вимірів. При вимірюванні встановили тривалість одного сеансу τ_{min} – *10хв;* τ_{max} – *40хв*, кожний раз фіксуючі дані. Допустиму похибку, обчислювали за формулою:

$$\Delta_{доп} = 2(a + b \times 10^{-6} \times D)$$

де *a* і *b* – чисельні значення в мм;
D – довжина базису в мм.

Різниці між вимірами та еталонними значеннями базису не перевищували допустимої. У своєму дослідженні ми використовували ГІС-технології, а саме електронну карту даних геопорталу України про пункти ДГМ п. Веденське, п. Новопокровка, п. Зачугуївка Чугуївського району Харківської області і замовили довідку про ці пункти в ДП НДГіК. Отримані вихідні геодезичні дані про пункти, перекачали геодезичні дані пунктів ДГМ в GPS-приймач.

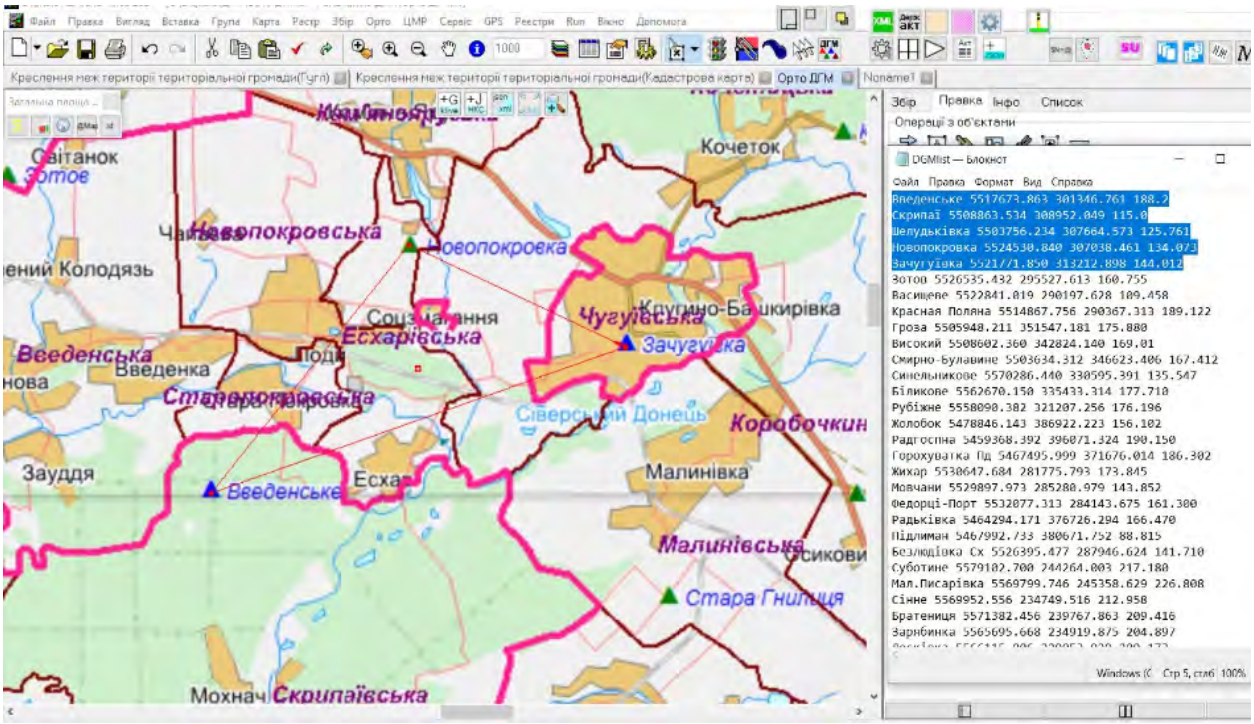


Рис. 1. Дані геопорталу України про пункти ДГМ п. Веденське, п. Новопокровка, п. Зачугуївка Чугуївського району Харківської області

На пунктах ДГМ спостереження вели в різ пори року і різні погодні умови і отримали результати зсунення геодезичних даних від дійсного їх місцеположення.

Ми скористалися офіційними вихідними даними про геодезичні координати пунктів ДГМ, для цього ми замовили на платній основі вихідні координати на пункти в ДП «Інститут геодезії і картографії» (підтвердження в Додатках). Ми отримали наступні вихідні дані про кожний пункт – «Адміністратора банку геодезичних даних» на п. Веденське, п. Новопокровка, п. Зачугуївка – Система координат – UA_UCS_2000/LCS_63 (місцева система координат Харківської області – УСК-2000). Роботи виконуються у двох системах координат у СК-63 та УСК-2000 (таблиця 1).

Точність визначення координат базових пунктів ДГМ нам була потрібна для практичного виконання геодезичних знімальних робіт – для створення планової геодезичної основи на с. Первомайське оскільки від точності отриманих результатів геодезичних вимірів залежить побудова цифрового картографічного матеріалу в масштабі М: 1:5000.

Порівняння математично опрацьованих величин ориманих геодезичних координат, які були досліджені в різні пори роки, а отже і різних температур доведено вплив на отримання координат пунктів в різні пори року і різних температур. Математично визначення остаточного значення вихідних геодезичних даних наводиться в таблиці 2.

Оскільки обсяги знімальних геодезичних робіт були великими, територія населених пунктів була доволі складною, виконували свої знімальні геодезичні роботи у декілька етапів, тому кожний раз ми прив'язувалися

Таблиця 1. Вихідні геодезичні дані пунктів ДГМ (адміністратор БД)

Назва пункту	Індекс БГД	Клас пункту	Клас нівелюв	Вихідні геодезичні дані		
				X	Y	Z
п. Веденське	М371910200	2	Геод нів	5517673.863	301346.761	188.2
п. Новопокровка	М371932400	3	IV	5524530.840	307038.461	134.0
п. Зачугуївка	М371921300	2	IV	5521771.850	313212.898	144.0

Таблиця 2. Проведення досліджень на пунктах ДГМ

	X	Y	Z	δ_x	δ_Y	δ_z	δ_x^2	δ_Y^2	δ_z^2
п. Веденське									
1	5517673.863	301346.761	188.0	0.06	0.007	0	0.0036	0.0049	0
2	5517673.901	301346.765	188.3	0.044	0.011	0.3	0.001936	0.000121	0.09
3	5517673.892	301346.759	188.2	0.035	0.005	0.2	0.001225	0.000025	0.04
4	5517673.857	301346.767	188.1	0	0.013	0.1	0	0.000169	0.01
5	5517673.880	301346.776	188.5	0.023	0.022	0.5	0.000529	0.000484	0.25
6	5517673.859	301346.780	188.0	0.002	0.026	0	0.000004	0.000676	0
7	5517673.868	301346.765	188.4	0.011	0.011	0.4	0.000121	0.000121	0.16
8	5517673.875	301346.754	188.1	0.018	0	0.1	0.000324	0	0.01
п. Новопокровка									
1	5524530.840	307038.461	134.0	-0.042	-0.012	0	0.001764	0.000144	0
2	5524530.829	307038.469	134.2	-0.031	-0.020	0.2	0.000961	0.0004	0.04
3	5524530.798	307038.472	134.1	0	-0.023	0.1	0	0.000529	0.01
4	5524530.813	307038.476	134.3	-0.015	-0.027	0.3	0.000225	0.000729	0.09
5	5524530.800	307038.449	134.0	-0.002	0	0	0.000004	0	0
6	5524530.822	307038.453	134.1	-0.024	-0.004	0.1	0.000576	0.000016	0.01
п. Зачугуївка									
1	5521771.850	313212.898	144.0	0.010	0.026	0	0.0001	0.000676	0
2	5521771.852	313212.902	144.3	0.012	0.030	0.3	0.000144	0.0009	0.09
3	5521771.840	313212.876	144.1	0	0.022	0.1	0	0.000484	0.01
4	5521771.857	313212.884	144.2	0.017	0.014	0.2	0.000289	0.000196	0.04
5	5521771.862	313212.890	144.0	0.022	0.002	0	0.000484	0.0004	0
6	5521771.858	313212.872	144.4	0.018	0	0.4	0.000324	0	0.16

$\tau = 6 \times 10^{-8}$

до пунктів ДГМ – п. Веденське (8), п. Новопокровка (6), п. Зачугуївка (6) і фіксували їх у GPS-приладі (таблиця 2).

При обробці геодезичних вимірів в програмному забезпеченні Digitals ми помітили розбіжності у координатах базових станцій. Коли ми проаналізували їх, то виникла необхідність у математичному опрацюванні їх і вирахуванні йомвірного значення координат на базових станціях – пунктах Державної геодезичної мережі (ДГМ).

п. Веденське

$$X_0=5517673.857\ Y_0=301346.754\ Z_0=188.0$$

$$X = X_0 + \frac{[\delta]}{n} = 5517673.857 + \frac{0.193}{8} = .5517673.857 +$$

$$0.024125=5517673.881125$$

$$Y = Y_0 + \frac{[\delta]}{n} = 301346.754 + \frac{0.095}{8} =$$

$$= 301346.754+0.011875 = 301346.765875$$

$$Z = Z_0 + \frac{[\delta]}{n} = 188.0 + \frac{0.16}{8} = 188.0 + 0.02 = 188.02$$

$$m_x = \sqrt{\frac{[\delta x^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.0060326}{7}} = 0.01109$$

$$m_y = \sqrt{\frac{[\delta y^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.0507121}{7}} = 0.03217$$

$$m_z = \sqrt{\frac{[\delta z^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.56}{7}} = 0.282842712$$

$$m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}}$$

$$m_x = \frac{0.01109}{\sqrt{2(8-1)}} = 0.0548926$$

$$m_y = \frac{0.03217}{\sqrt{2(8-1)}} = 0.1592337$$

$$m_z = \frac{0.282842712}{\sqrt{2(8-1)}} = 0.075592896$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

$$M_x = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.0548926}{\sqrt{8}} = 0.056259749$$

$$M_y = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.1592337}{\sqrt{8}} = 0.05629761$$

$$M_z = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.075592896}{\sqrt{8}} = 0.026728268$$

п. Новопокровка

$$X_0=5524530.798\ Y_0=307038.449\ Z_0=134.0$$

$$X_0=5524530.798 + \frac{0.114}{6} = .5524530.798+ 0.019 =$$

$$=5524530.817$$

$$Y_0=307038.449+ \frac{0.086}{6} = 307038.463+0.011875 =$$

$$= 307038.474875$$

$$Z_0=134.0 + \frac{0.7}{6} = 134.0 +0.116666 = 134.11666$$

$$m_x = \sqrt{\frac{[\delta x^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.00353}{5}} = 0.0265707$$

$$m_y = \sqrt{\frac{[\delta y^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.001818}{5}} = 0.0189736$$

$$m_z = \sqrt{\frac{[\delta z^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.15}{5}} = 0.06707604$$

$$m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}}$$

$$m_x = \frac{0.0265707}{\sqrt{2(6-1)}} = 0.0084023$$

$$m_y = \frac{0.0189736}{\sqrt{2(6-1)}} = 0.0059999$$

$$m_z = \frac{0.0189736}{\sqrt{2(6-1)}} = 0.06707604$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

$$M_x = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.0084023}{\sqrt{6}} = 0.00343022$$

$$M_y = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.0059999}{\sqrt{6}} = 0.0024494489$$

$$M_z = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.06707604}{\sqrt{6}} = 0.027383679$$

п. Зачугуївка

$$X_0=5521771.840\ Y_0=313212.872\ Z_0=144.0$$

$$X_0=5521771.840+ \frac{0.114}{6} = .5521771.840+ 0.258358 =$$

$$= 5521771.86258358$$

$$Y_0=313212.872+ \frac{0.086}{6} = 313212.872+0.011875 =$$

$$= 313212.883875$$

$$Z_0=144.0 + \frac{1.}{6} = .144.0 + 0.16666 = 144.1666$$

$$m_x = \sqrt{\frac{[\delta x^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.00353}{5}} = 0.0265707$$

$$m_y = \sqrt{\frac{[\delta y^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.001818}{5}} = 0.0189736$$

$$m_z = \sqrt{\frac{[\delta z^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.30}{5}} = 0.24494897$$

$$m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}}$$

$$m_x = \frac{0.0265707}{\sqrt{2(6-1)}} = 0.0084023$$

$$m_y = \frac{0.0189736}{\sqrt{2(6-1)}} = 0.0059999$$

$$m_z = \frac{0.24494897}{\sqrt{2(6-1)}} = 0.07745966$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

$$M_x = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.0084023}{\sqrt{6}} = 0.00343022$$

$$M_y = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.0059999}{\sqrt{6}} = 0.0024494489$$

$$M_z = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.07745966}{\sqrt{6}} = 0.031622777$$

Математичне опрацювання результатів геодезичних вимірювань на пунктах ДГМ дало можливість визначити дійсне місцеположення пунктів для прив'язки, вирахувати їх середньоквадратичну похибку, знайти ймовірне значення геодезичних даних та здійснити геодезичне знімання території в масштабі М:1:5000. Математично опрацьовані вихідні дані пунктів ДГМ дали можливість здійснити геодезичні виміри території з високою точністю. В результаті комп'ютерної обробки результатів геодезичних вимірів в програмному забезпеченні Digitals було побудовано план території населеного пункту у цифровому вигляді і створити картографічну основу для подальшої розробки генерального плану території (рис. 2, 3).

Далі потрібно було перевірити побудову карти шляхом суміщення цифрового картографічного зображення з космічним знімком (рис. 5).

Далі цифрову карту сумістили з Публічною кадастровою картою – на сьогоднішній день – kadastr.live., робили для суміщення з прийнятими в Держгеокадастрі земельними ділянками і уникнення помилок (рис. 6).

В результаті проведеного дослідження було розроблено цифрову картографічну основу на територію населеного пункту, яка у подальшому буде використана для розробки генерального плану населеного пункту у цифровому вигляді. Ці цифрові матеріали ми відправили до відділу урбанізації і містобудівного кадастру Харківської ОДА, після чого було внесені цифровий план на територію населеного пункту до єдиної картографічної системи Держгеокадастру.

Таблиця 3. Математично опрацьовані результати досліджень

.Назва пункту	Опрацьовані геодезичні дані								
	X	Y	Z	m_x	m_y	m_z	M_x	M_y	M_z
п. Веденське	5517673.881125	301346.765875	188.02	0.0548926	0.1592337	0.075592896	0.056259749	0.05629761	0.026728268
п. Новопокровка	5524530.817	307038.474875	134.11666	0.0084023	0.0059999	0.06707604	0.00343022	0.0024494489	0.027383679
п. Зачугуївка	5521771.86258358	313212.883875	144.1666	0.0084023	0.0059999	0.07745966	0.00343022	0.0024494489	0.031622777

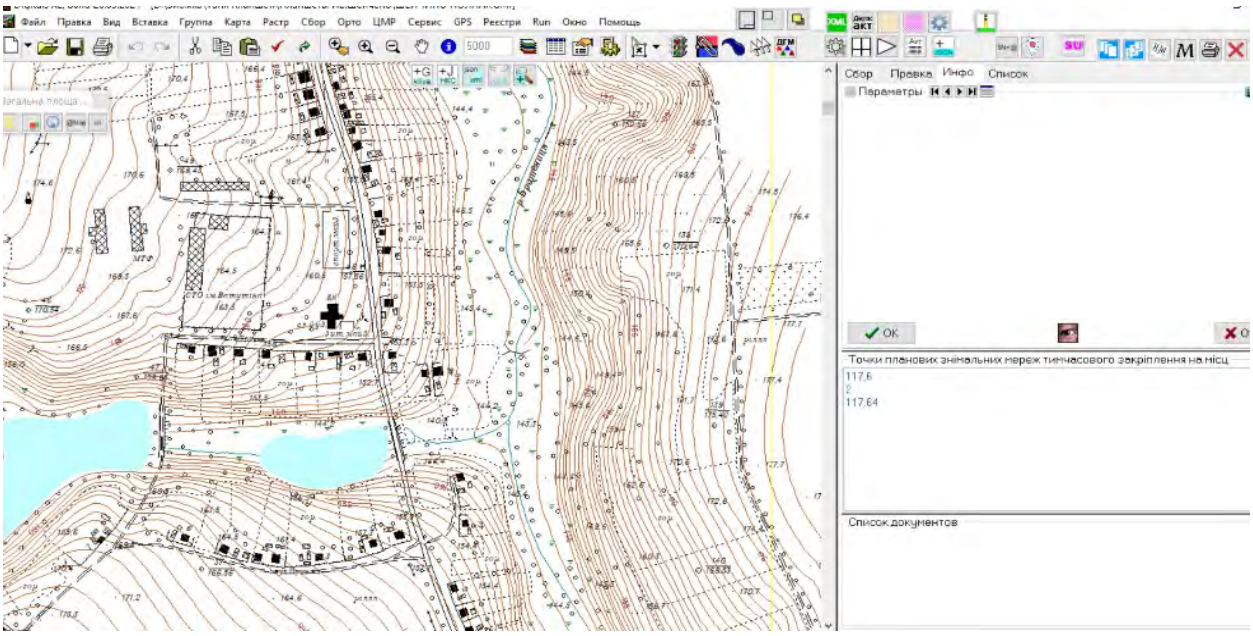


Рис. 2. Картографічна основа населеного пункту в програмі Digitals

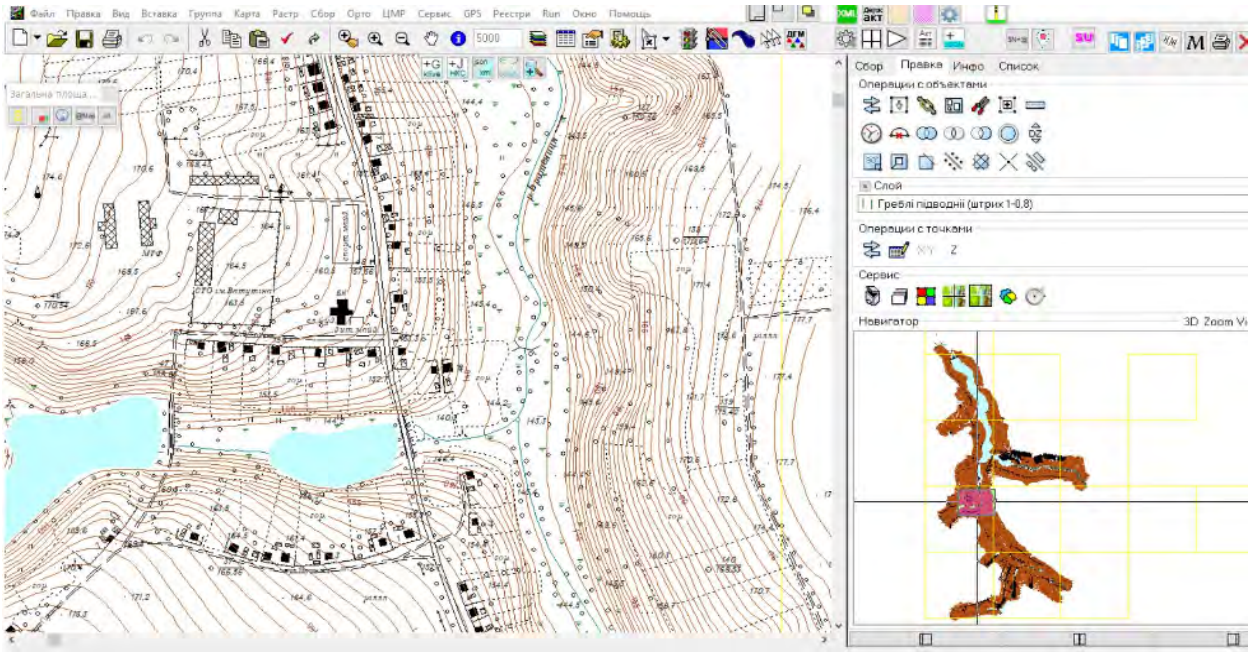


Рис. 3. Побудована картографічна основа розбита на листи карти

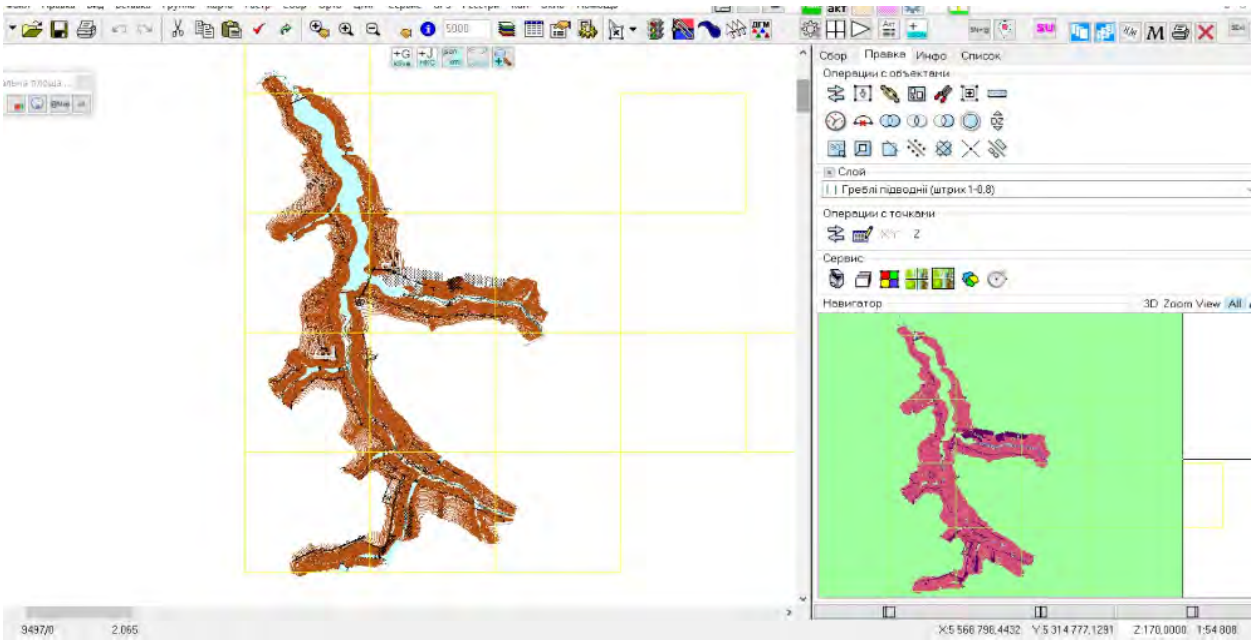


Рис. 4. Програма розбиває всю територію населеного пункту на планшети

Далі нам потрібно було визначити межі населеного пункту і унести геопросторові дані кожної поворотної точки до Держгеокадастру. Це ми зробили шляхом розробки Проекту із землеустрою щодо встановлення меж населеного пункту. Ми скористалися матеріалами нашого дослідження і геодезичними даними, які були розроблені на територію населеного пункту. В програмному забезпечені Digitals ми визначили кожну поворотну точку межі населеного пункту і побудували її для формування та унесення до бази даних Держгеокадастру інформації про сформовані межі.

На рисунку 7 показаний фрагмент формування межі населеного пункту у Держгеокадастрі за допомогою програми Digitals.

Висновки. Проведені дослідження довели, що математичне опрацювання вихідних геодезичних даних пунктів Державної геодезичної мережі супутниковими методами дає

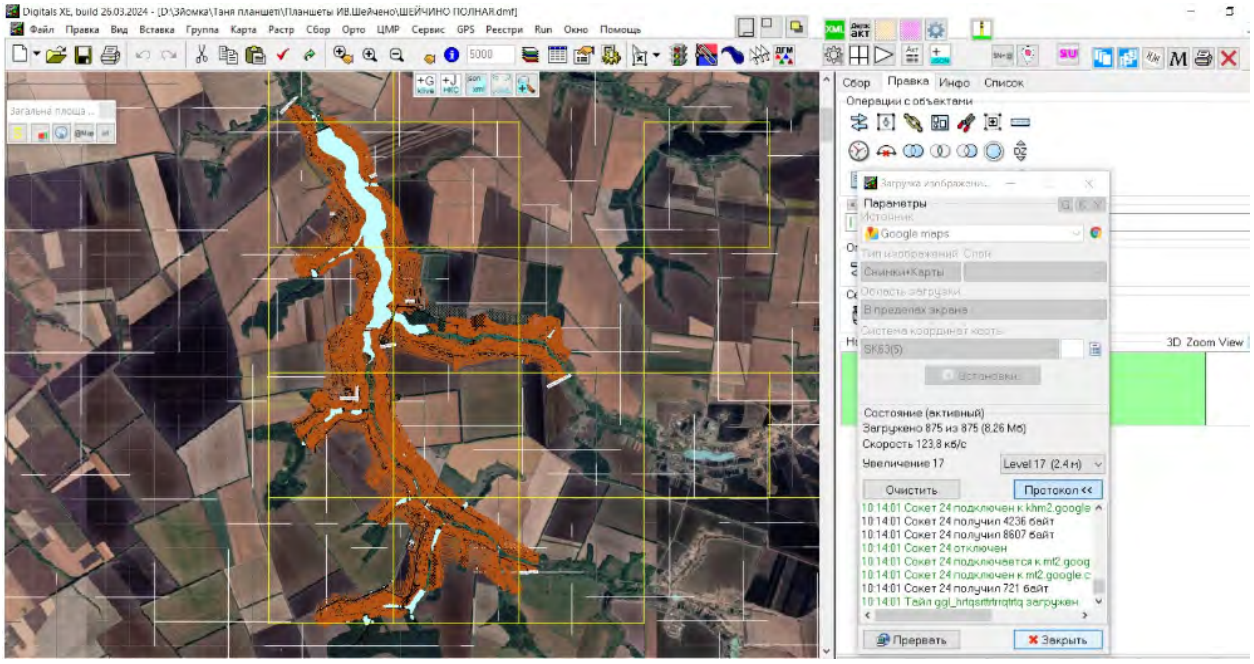


Рис. 5. Побудована цифрова карта населеного пункту суміщена з космічним знімком

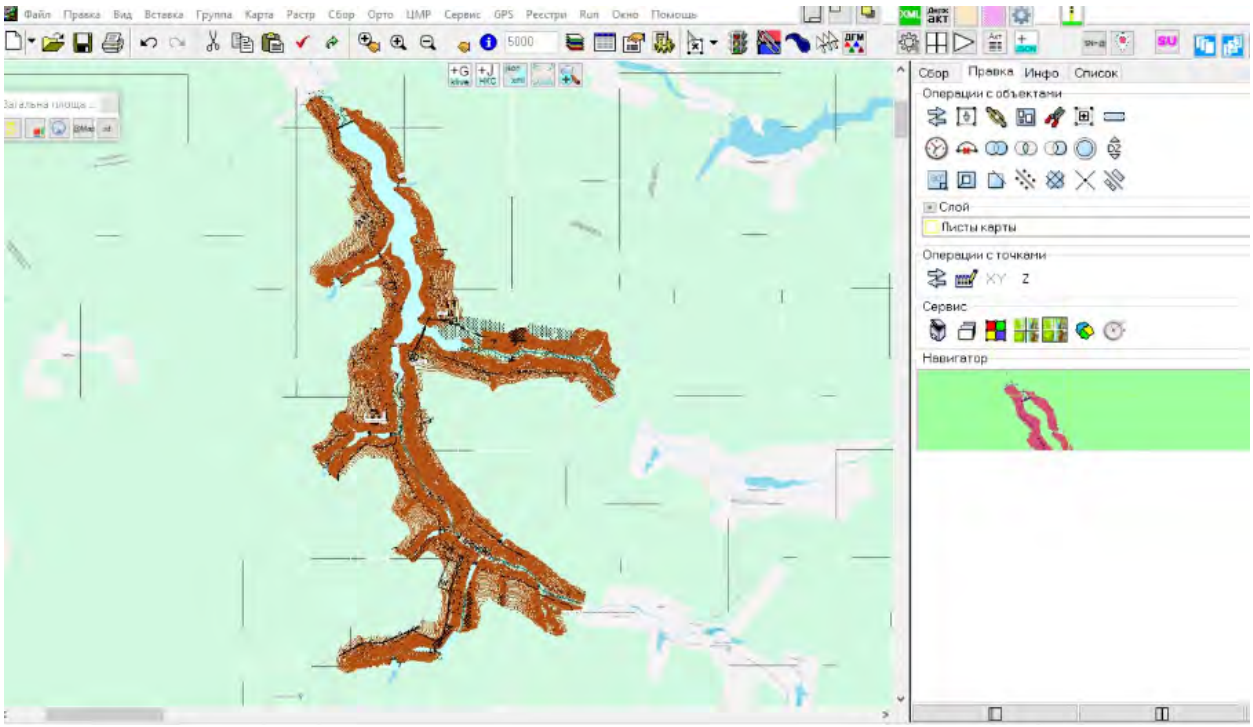


Рис. 6. Унесення сформованої території населеного пункту
на електронній картографічній системі Держгеокадастру

можливість виконувати геодезичні роботи з мінімальними похибками і визначає точне місцеположення об'єктів. Застосування геодезичних програмних засобів обробки інформації дає змогу побудови цифрових картографічних матеріалів, які вносяться до єдиної електронної картографічної системи. Ці картографічні дані використовуються у подальшому для розробки нових сучасних генеральних планів в цифровому вигляді, що дає змогу вносити у будь який час будь-які зміни та корективи.

Математично опрацьовані вихідні геодезичні дані на пункти Державної геодезичної

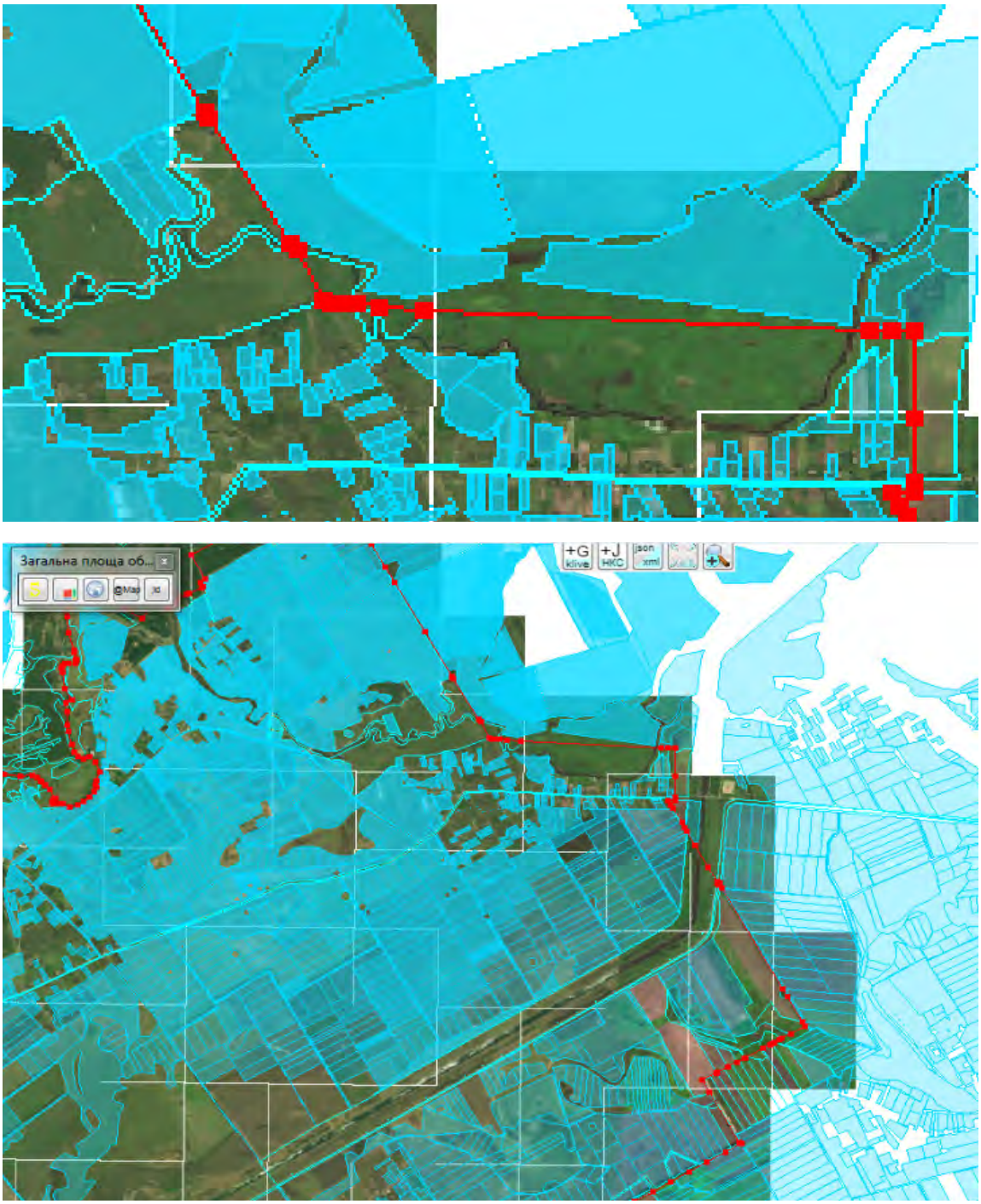


Рис. 7. Формування межі населеного пункту в Держгеокадастрі

мережі дало змогу визначення геопросторових даних кожної поворотної точки межі населеного пункту та сформувати межі у Держгеокадастрі. Такий метод може бути широко використаний у подальшому в топографо-геодезичній та картографічній галузі і містобудуванні.

Література

1. Постанова КМУ «Про порядок розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації», від 1 вересня 2021 року № 926 [1]

2. Казаченко Д., Наливайко Т., Казаченко В. Застосування геодезичного забезпечення і ГІС-технологій у формуванні територій об'єднаних територіальних громад //Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2024», 10–12 квітня 2024 р., Львів– Брюховичі. – Львів: Вид Львівської політехніки, 2024. – Режим доступу: http://zgt.com.ua/wpcontent/uploads/2024/03/тези_ГЕОФОРУМ_2024 с.35-38

3. Казаченко Л., Дорожко Є., Мусієнко І. Використання ГІС-технологій в адмініструванні та цифровому картографуванні земель населених пунктів Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2024», 10–12 квітня 2024 р., Львів– Брюховичі. – Львів: Львівської політехніки, 2024. – Режим доступу: http://zgt.com.ua/wpcontent/uploads/2024/03/ ТЕЗИ_ГЕОФОРУМ_2024.pdf,
4. Казаченко Д.А., Рохманов М.Я., Казаченко Л.М Застосування геоінформаційних систем при вирішенні питань моніторингу земель Харківської області / Вісник Харківського національного університета ім. В.В. Докучаєва. 2009. №12 (2). С. 19-23
5. Казаченко Л.М. Досвід отримання вихідних даних з Google Планета Земля для побудови цифрової моделі місцевості / І.В. Мусієнко, Л.М. Казаченко // Комунальне господарство міст : Науково-технічний збірник. Сер.: Технічні науки та архітектура. 2022. Вип. 3 (170). С. 247-251.
6. Казаченко Д.А., Рохманов М.Я. Проблеми моніторингу забруднених земель від підприємств – забруднювачів довкілля / Матеріали міжнародної конференції професорсько-викладацького складу ХНАУ ім.В.В. Докучаєва Харків ХНАУ 2011р. с.113-115
7. Казаченко Д.А. Можливості супутникових технологій при побудові екомережі Харківської області// Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип.72. 2009. Львів Львівська Політехніка с.62-65
8. Постанова КМУ від 06.08.2014 № 385. «Про Державну стратегію регіонального розвитку на період до 2020 року
9. Канівець О. М., Костян Д. О. Державна геодезична мережа України як частина геодезичної інфраструктури, нинішній стан та проблеми // «Актуальные научные исследования в современном мире» ISCIENCE.IN.UA Випуск 4(84) ч. 2 с.104-106
10. Тревого І., Гур'єва М. Сучасні центри геодезичних пунктів. //Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2011. № 21. С. 115-117. URL: http://ena.lp.edu.ua:8080 /bitstream/ntb/10518/1/28.pdf
11. І. Тревого, Є. Ільків, М. Галярник Аналіз сучасного стану ДГМ України //Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва випуск II (38), 2019. С. 54-62.
12. Рудницкая Н. В. Современная координатная основа Республики Беларусь //. *Автоматизированные технологии изысканий и проектирования* (2013)., № 1, С. 86-88.
13. В.Д. Шипулін Системи земельного адміністрування // навч посібн // Харків ХНУМГ 2016 221с. RL:https://core.ac.uk/download/pdf/78066649.pdf
14. Williamson Ian. Land administration for sustainable development / Ian Williamson, Stig Enemark, Jude Wallace, Abbas Rajabifard. – Esri Press. 2010, 506 p. ttp://www.esri.com/landing–pages/industries/land–administration/e–book#sthash.KF25CaWH.dpbs
15. Land administration guidelines with Special Reference to Countries in Transition. – United Nations Economic Commission for Europe. – 1996. – 112 p.ttp://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/
16. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні» від 1 квітня 2014 р. № 333-р
17. United Nations–FIG Bathurst Declaration on Land Administration for Sustainable Development: Development and Impact. – 1999 – 12 p. http://www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm
18. Land administration in the UNECE region. Development trends and main principles. – United Nations Economic Commission for Europe. – 2005 . – 112 p. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2005/wpla/ECE–HBP

References

1. Resolution of the CMU "On the procedure for developing, updating, amending and approving urban planning documentation", dated September 1, 2021 No. 926
2. Kazachenko D., Nalivayko T., Kazachenko V. The use of geodetic support and GIS technologies in the formation of territories of united territorial communities // Materials of the International Scientific and Technical Conference "Geoforum-2024", April 10-12, 2024, Lviv – Bryukhovychy. – Lviv: View of Lviv Polytechnic, 2024. – Access mode: http://zgt.com.ua/wpcontent/uploads/2024/03/ TEZY_GEOFORUM _2024 pp. 35-38
3. Kazachenko L., Dorozhko E., Musienko I. The use of GIS technologies in the administration and digital mapping of the lands of settlements. Proceedings of the International scientific and technical conference "Geoforum-2024", April 10-12, 2024, Lviv-Bryukhovychi. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2024. – Access mode: http://zgt.com.ua/wpcontent/uploads /2024/03/ TEZY_GEOFORUM_2024.pdf, and. Kazachenko D.A., Rokhmanov M.Ya., Kazachenko L.M. Application of geo-information systems in solving land monitoring issues of the Kharkiv region / Bulletin of the Kharkiv National University named after VV Dokuchaeva. -2009.- No. 12 (2).- P.19-23
4. Kazachenko L.M. The experience of obtaining raw data from Google Earth for the construction of a digital terrain model / I.V. Musienko, L.M. Kazachenko // Communal management of cities: Scientific and technical collection. Ser.: Technical sciences and architecture. 2022. Issue 3 (170). P. 247-251.
5. Kazachenko D.A., Rokhmanov M.Ya. Problems of monitoring contaminated land from polluting enterprises / Materials of the international conference of professors and teachers of KhNAU named after V.V. Dokuchaeva, Kharkiv National University of Science and Technology, 2011. pp. 113-115
6. Kazachenko D.A. Possibilities of satellite technologies in the construction of the eco-network of the Kharkiv region// Geodesy, cartography and aerial photography. Issue 72. 2009. Lviv Lviv Polytechnic p. 62-65
7. Resolution of the CMU of August 6, 2014 No. 385. "On the State Strategy of Regional Development for the Period Until 2020
8. Kanivets O. M., Kostyan D. O. State geodetic network of Ukraine as a part of geodetic infrastructure, current state and problems // "Actual scientific researches in the modern world" ISCIENCE.IN.UA Issue 4(84) part 2 p. 104-106

9. Trevogo, M. Gur'eva. Modern centers of geodetic points. //Modern achievements of geodetic science and production. 2011. No. 21. P. 115-117. URL: http://ena.lp.edu.ua:8080 /bitstream/ntb/10518/1/28.pdf
10. Trevogo, E. Ilkiv, M. Galyarnyk Analysis of the current state of land surveying of Ukraine //Modern achievements of geodetic science and production issue II (38), 2019 p. 54-62
11. Rudnytskaya N. V. Modern coordinate base of Respublika Belarus //. Automated research and design technologies (2013), No. 1, pp. 86–88
12. V.D. Shipulin Systems of land administration // study guide // Kharkiv KhNUMG 2016 221p. RL: https://core.ac.uk/download/pdf/78066649
13. Williamson Ian. Land administration for sustainable development /Ian Williamson, Stig Enemark, Jude Wallace, Abbas Rajabifard. – Esri Press. 2010, 506 p. ttp://www.esri.com/landing–pages/industries/land–administration/e–book#sthash.KF25CaWH.dpbs
14. Land administration guidelines with Special Reference to Countries in Transition. – United Nations Economic Commission for Europe. – 1996. – 112 p.ttp://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/
15. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On the approval of the Concept of Reforming Local Self-Government and Territorial Organization of Power in Ukraine" dated April 1, 2014 No. 333
16. United Nations–FIG Bathurst Declaration on Land Administration for Sustainable Development: Development and Impact. – 1999 – 12 p. http://www.sli.unimelb.edu.au/UNConf99/proceedings.htm
17. Land administration in the UNECE region. Development trends and main principles. – United Nations Economic Commission for Europe. – 2005 . – 112 p. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2005/wpla/ECE–HBP

APPLICATION OF MATHEMATICAL PROCESSING METHODS AND GIS TECHNOLOGIES IN TERRITORY DEVELOPMENT PLANNING

Abstract. *The geospatial development of territories in Ukraine has recently been very rapid. Territorial communities were formed instead of the previously formed village, settlement, and city councils, which united village, settlement, and city councils. Changes in the management structure of newly formed territories require their geospatial definition in a single digital cartographic system. In this regard, the problem of geodetic filling of the State Geocadastre databases with geospatial data on the boundaries of territorial communities with the selection and establishment of the boundaries of settlements included in these communities and the development of master plans for the changed territories of settlements needs to be solved. Determining the coordinates of the turning points of the newly created territories directly depends on the accuracy of the determination of the initial geodetic data, which are the points of the State Geodetic Network, for this it is necessary to solve the scientific problems of equidistant or non-discrete measurements in geodetic practice. Entering geospatial data about the boundaries of the territories of communities, settlements, objects, and land plots into the database of a single digital cartographic system by developing urban planning documentation and land management documentation requires the accuracy of the initial geodetic data. Mathematical processing of the initial geodetic data at the points of the State Geodetic Network using GPS observation methods made it possible to obtain the initial geodetic data, which enabled practical application in the determination of geospatial data and the development of digital cartographic materials – the geodetic basis on the territory of populated areas. As a result of the research, digital cartographic data on settlements were built for the further development of master plans and the boundaries of their territories were established and entered into the database of the State Geocadastre of Ukraine.*
Key words: territorial planning, geospatial data, digital cartographic materials, mathematical processing.

Kazachenko D.A.
Teacher at the Road Design, Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko L.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Road Design, Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko V.A.
Postgraduate Student at the Department of Urban Construction of the Educational and Scientific Institute for the Training of Highly Qualified Personnel,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

УДК 528.482.4
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.8

Мусієнко І.В.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Казаченко Л.М.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID ID: 0000-0001-7188-2790

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗГІДНО ДОСЛІДЖЕНЬ ОСІДАНЬ ГУРТОЖИТКУ ХНАДУ № 5 У 2023 РОЦІ

Анотація. *У статті розглядаються дослідження осідань гуртожитку ХНАДУ № 5 у 2023 році. Дослідження виконувалися з використанням геометричного нівелювання по маркам, які були закріплені у цоколі будівлі у 1996 році. Для спостережень було використано електронний нівелір LEIKA "Sprinter" 100. Усього було зафіксовано два ряди по 15 марок у вигляді сталевих штирів. Також для спостерігання за осіданнями було створено ґрунтовий репер, якому була надана умовна позначка – 100 м. У статті аналіз вівся згідно динаміки осідань з 2000 року. Дослідження показали складну для інтерпретації динаміку: гуртожиток начебто не осідав, а навпаки – «виринав». Було зроблено припущення про осідання самого ґрунтового реперу. Тому, починаючи з 2017 року були розпочаті дослідження осідань гуртожитку № 5 з використанням додаткового тимчасового реперу, який розташовано в 100 м від основного реперу вздовж Студентського провулка. Було зафіксовано динаміку осідання основного реперу по відношенню до тимчасового на 4 мм у рік. З основним репером осідає гуртожиток з усією прилеглою територією. Візуально виявлено геологічну нестабільність території навколо гуртожитку. У якості допоміжного доказу надано фотографії візуальної оцінки. На фотографіях видно осідання прилеглої території, тріщини на будівлі гуртожитку. Непрямим підтвердженням осідання території навколо гуртожитку є ускладнення зйомки у зв'язку з нестачею висоти інструменту для зйомки деяких марок. Зроблено висновок щодо необхідності створення додаткового реперу, розташованого за межами схилів уздовж Студентського провулку. Надано дві схеми розташування додаткового реперу: 1 схема – вздовж Студентського провулку з довжиною ходу більше 300 м; 2 схема – по найкоротшій відстані до підошви спуску. В другій схемі відстань від реперу до будівлі гуртожитку складає близько 70 м. Перевагу надано другій схемі з залученням безвідбивного електронного тахеометру. Запропоновано біля схилу розбити мікротріангуляційну мережу, а на північно-східному і південно-східному кутах будівлі закріпити марки для спостереження з нержавіючих пластин розміром 200х200 мм товщиною 1 мм з вигравіруваним перехрестям на глибину 0,5 мм і заповненим бітумом.*

Ключові слова: моніторинг осідань будівлі, репер, геометричне нівелювання, нівелір, відмітка, перевищення, нівелірний хід.

Постановка проблеми. У Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті з 1996 року проводився моніторинг осідань будівлі гуртожитку № 5 на замовлення господарчої частини. Цей дев'ятиповерховий гуртожиток, розташований на Журавлівському схилі, може бути геологічно нестабільним, особливо навесні та восени, що впливає на стійкість будівлі у цілому або її окремих частин.

Під час зазначених періодів проводили дослідження змін положення контрольних марок, закладених у цокольній частині будівлі. Спостереження виконувалися за допомогою геодезичних приладів, а результати та висновки були відображені у звітах.

За означений період склалася не стандартна ситуація: з осіданням ґрунту навколо гуртожитку можна припустити і осідання ґрунтового реперу, який був закріплений для

спостереження за осіданнями гуртожитку. У статті робиться аналіз цієї ситуації і розглядаються рекомендації що до часткової зміни схеми спостереження.

Аналіз останніх досліджень. Стаття [1] присвячена дослідженню осідань гуртожитку ХНАДУ № 5. У статті розглядаються методи спостережень, будова трубчатого ґрунтового реперу, геодезичні прибори, точність вимірювань, та динаміка осідань, але не робиться висновку що до осідань самого реперу. У 2017 році були розпочаті дослідження осідань гуртожитку № 5 з використанням додаткового тимчасового реперу, який розташовано в 100 м від основного реперу вздовж Студентського провулка. У статті [2] вже наведено динаміку зміни положення основного реперу по відношенню до тимчасового: становиться зрозумілим, що основний репер осідає до 6 мм на рік, але на той момент ще були не зрозумілі шляхи зміни схеми майбутніх досліджень.

Метою роботи є надання рекомендацій згідно досліджень осідань гуртожитку ХНАДУ № 5 у 2023 році.

Метод та схема спостереження за спорудою. Спостереження за просадками споруди проводяться протягом декількох років. Для цього в стінах споруди були закладені точки спостереження – марки (забиті металеві штирі), за допомогою яких проводиться нівелювання – визначення відміток точок. Знімання здійснювалось нівеліром LEIKA “Sprinter”, з допустимою похибкою на станції до 4 мм. Нівелювання проводилось двічі кожної точки, при різних горизонтах візирного променю прибору, перевищення визначалися по штриховій розсувній рейці, що входить в комплект нівеліру.

Відмітки точок визначались від репера з умовною відміткою 100,000 м. В якості репера використовувався ґрунтовий репер.

Для орієнтування на місцевості були зроблені фотографії, які показують розташування ґрунтового реперу по відношення до залізобетонних елементів цвинтарного паркану (рис. 1).

У всіх проведених вимірюваннях хід замикався на відмітці репера з незначною нев’язкою 1-2 мм. Розташування точок та станцій приведено на схемі (з індексом 23 – розташування у 2023 році, рис. 2).

Репер R_p 1 закріплено близько до гуртожитку № 5 (рис. 2). Границя зсуву може проходити таким чином, що репер R_p 1 може знаходитися у зоні зсуву, тому потрібно виконати контрольну перевірку. Для реалізації цієї мети у 2017 році було прийнято рішення прив’язатися до тимчасового реперу $R_{p\ врем}$, який знаходиться напроти головного входу у гуртожиток ХНАДУ № 3 (рис. 3).

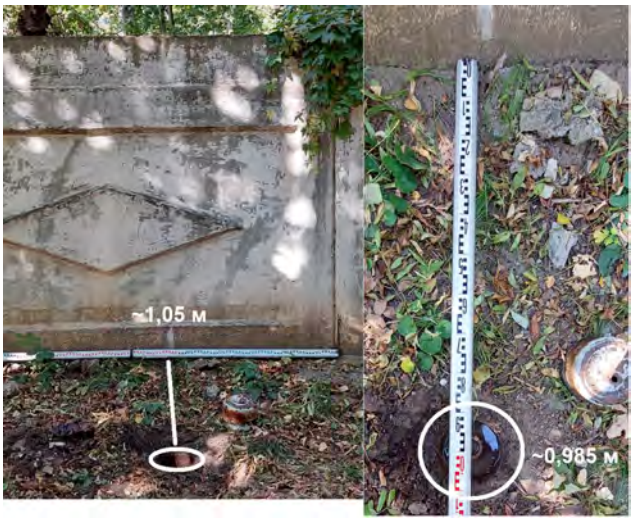


Рис. 1. Фотографії ґрунтового реперу для встановлення його розташування

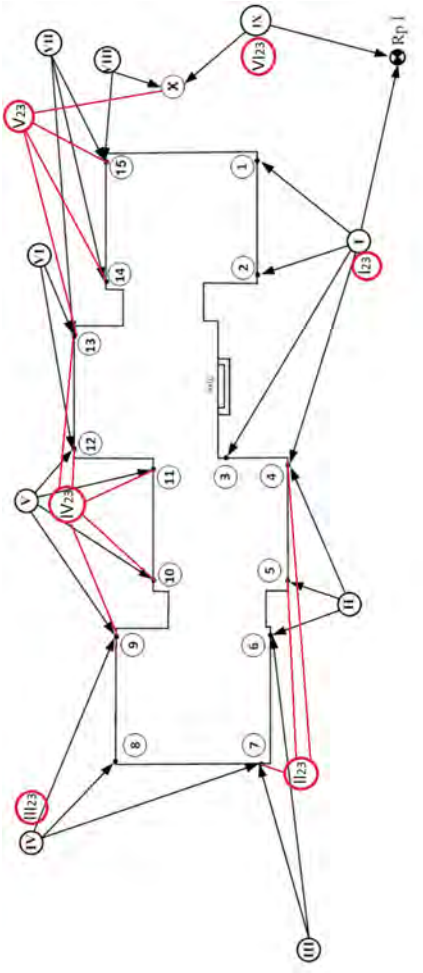


Рис. 2. Схема розміщення станцій спостереження

Рис. 3. Тимчасовий репер $R_{р\ врем}$ напроти головного входу у гуртожиток ХНАДУ № 3 (ліворуч – 2017 рік, праворуч – 2023 рік)

Результати досліджень. Коливання позначки тимчасового реперу за усі роки спостережень (2017 –2023 роки) наведено на рисунку 4.

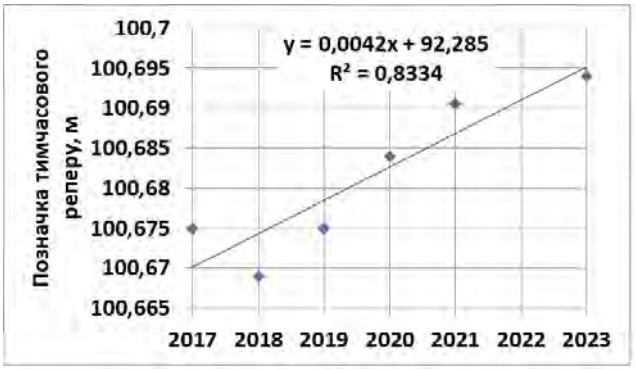


Рис. 4. Коливання позначки тимчасового реперу $R_{р\ врем}$ напроти головного входу у гуртожиток ХНАДУ № 3

Більш наглядно динаміку зміни марок по висоті можна бачити на рисунках 5–6.

Якщо, узяти тимчасовий репер біля гуртожитку ХНАДУ № 3 за основний і перерахувати усі позначки з 2017 року по відношення до нього, то отримаємо динаміку згідно рис. 7, та для наочності динаміку марки №10 (рис. 8).

Була проведена візуальна оцінка осідань ґрунту навколо будівлі гуртожитку, оскільки наслідки осідань ґрунту навколо будівлі гуртожитку можна бачити по зовнішнім ознакам (без приборів). Найбільш показовий – північно-східний кут будівлі (в області марки № 8). Тут ми бачимо осідання ґрунту більше 10 см (рис. 9).

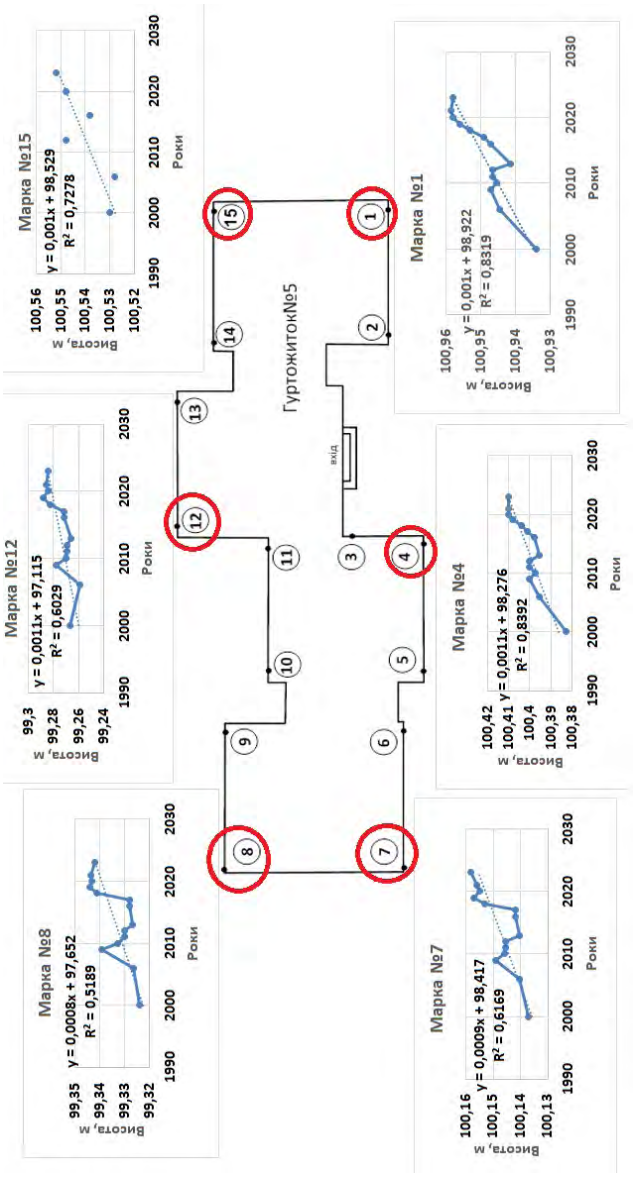


Рис. 5. Динаміка зміни висот основних марок

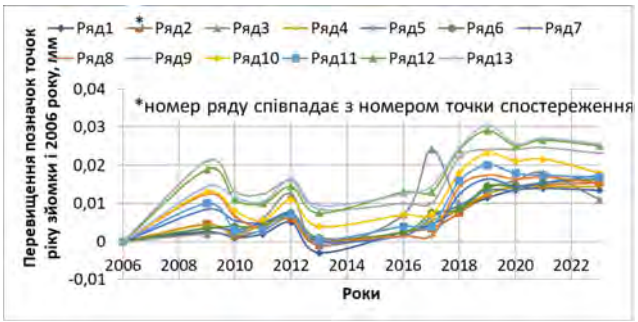


Рис. 6. Порівняння відміток точок кожного року з позначками 2006 року

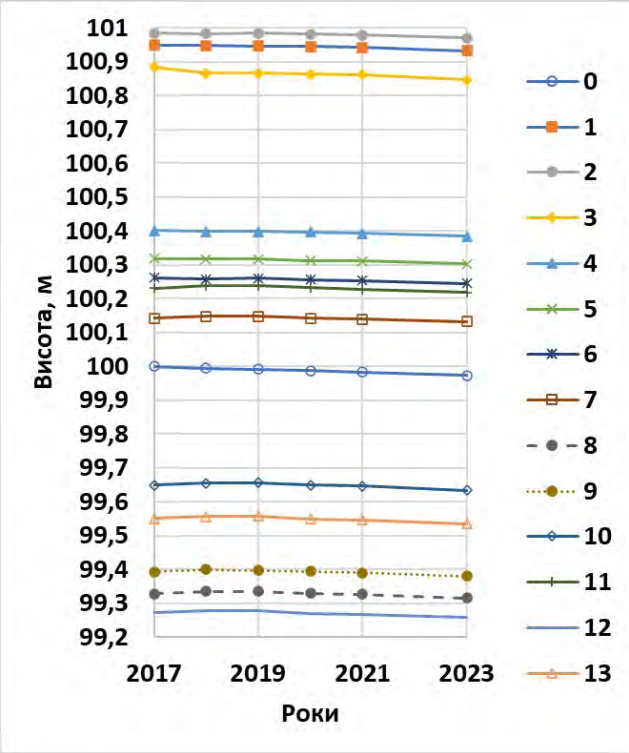


Рис. 7. Динаміка змін позначок по відношенню до тимчасового реперу біля гуртожитку ХНАДУ № 3

Такий рівень осідань притаманний усій східній (задній) стороні гуртожитку, але особливо це видно на рівні опускання нижніх сходинок (рис. 10).

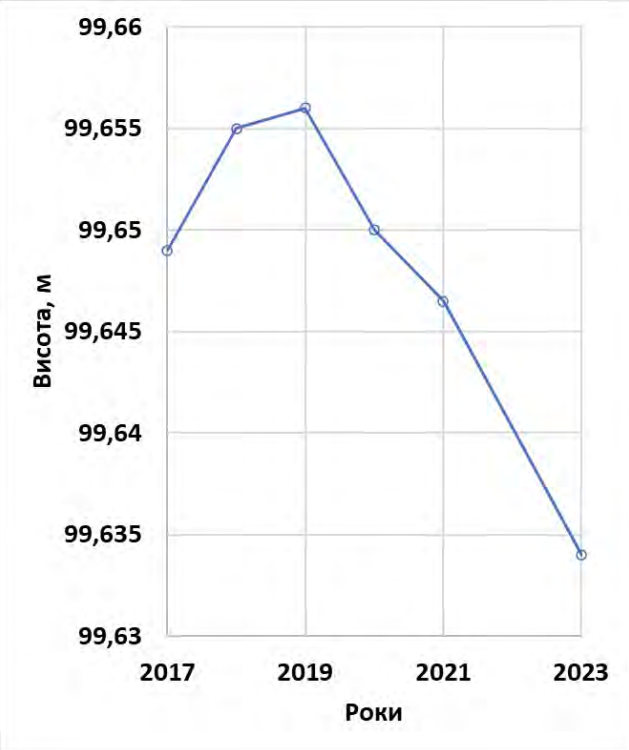


Рис. 8. Динаміка змін позначок марки №10 по відношенню до тимчасового реперу біля гуртожитку ХНАДУ № 3

Рис. 9. Північно-східний кут будівлі (в області марки № 8)

Рис. 10. Опускання нижніх сходинок на східній (задній) стороні

З фронтальної сторони (західної) також можна бачити осідання ґрунту, але менше, на стіні наслідки осідання оштукатурюються цементним бетоном. Наслідки осідань видно на сходинках і руйнуванні асфальтобетонного майданчику перед парадним входом (рис. 11).

Рис. 11. Фронтальна сторона гуртожитку

Добудовані сходинки на південній стороні гуртожитку також мають сліди руйнування (рис. 12–13).

Рис. 12. Сліди руйнування на добудованих сходинках на південній стороні гуртожитку

Рис. 13. Деталізація руйнування
на добудованих сходинках

У зв'язку з осіданням грунта навколо гуртожитки вже є деякі марки, які важко знімати, оскільки поверхня опустилася по відношенню до марок. Не вистачає висоти штативу щоб визначити перевищення. Це торкається IV_{23} і V_{23} станцій (рис. 14).

Рис. 14. Станції IV_{23} і V_{23}

Марку № 3 вже давно зрізали, штир залишився у стіні, до нього прикладається рейка, але результати можуть відрізнятися стохастично, що показує графік на рисунку 6.

Нижній штир марки № 14 також вже давно витягнуто, а зняти верхній штир вже не вистачає висоти штативу на самому високому місці, тому потрібно знову забити металевий штир унизу і переходити до його зйомки.

На марці № 15 у цьому році вперше було проведено зйомку по верху і понизу, оскільки зйомку поверху проводити вже дуже складно по вищенаведеним причинам.

Висновки. Можна зробити наступні висновки:

– динаміка зміни висот марок (рис. 5, 6) показали збільшення висоти будівлі гуртожитку по відношенню до ґрунтового репера, що є маловірогідним;

– більш вірогідним є припущення просідання ґрунтового реперу по відношенню до будівлі гуртожитку (рис. 15), про це свідчить візуальна оцінка осідань ґрунту навколо будівлі гуртожитку, про це також свідчить 6-річне спостерігання за динамікою зміни перевищення між ґрунтовим репером і тимчасовим репером (рис. 4);

Рис. 15. Імовірна схема зміни місцеположення
ґрунтового реперу

– при такій нестабільності ґрунтового реперу важко оцінити зміни безпосередньо самої будівлі; не виникає сумнівів, що і сама будівля змінює своє місцеположення по вертикалі.

– виходячи з вищенаведеного, потрібно змінити основну схему спостереження за будівлею гуртожитку № 5, залишаючи попередні схеми спостереження.

Рекомендації щодо наступних геодезичних вимірювань. До попередніх схем спостереження за будівлею гуртожитку №5 потрібно додати схему, при якій безвідбивний електронний тахеометр розташовується над фундаментальним репером, з якого встановлюються координати марок по нижньому і верхньому кутах східної сторони будівлі (рис. 16).

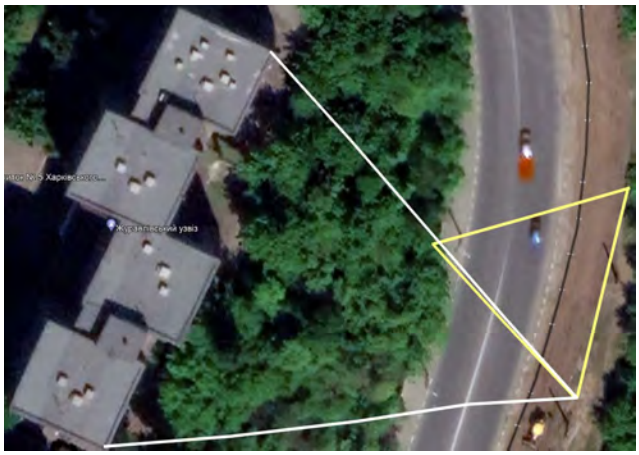


Рис. 16. Запропонована схема спостереження за будівлею гуртожитку № 5

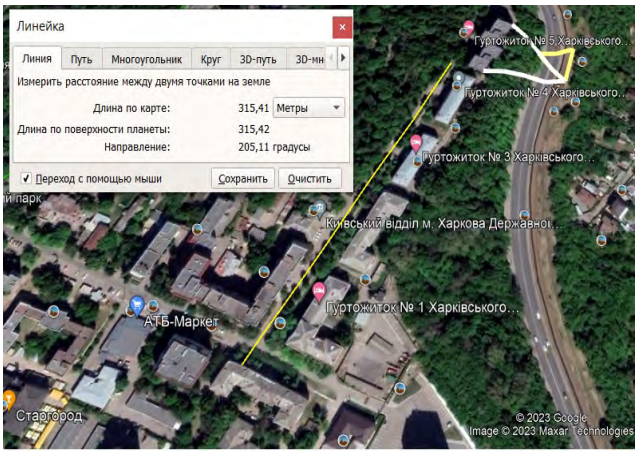


Рис. 17. Альтернативна схема прокладення ходу до реперів

Для встановлення умовної системи координат потрібно розбити мікротріангуляційну мережу (рис. 16). Марки для спостереження на кутах потрібно робити з нержавіючих пластин розміром 200х200 мм товщиною не менше 1 мм, з вигравіруваним перехрестям на глибину 0,5 мм і заповненим бітумом.

Альтернативна схема прокладення ходу має ряд недоліків (рис. 17):

– збільшення ходу;

– збільшення часу проведення робіт.

Література

1. Мусієнко І.В. Дослідження просадок інженерної споруди на студентському провулку м. Харкова (гуртожиток № 5 ХНАДУ). *Науковий вісник будівництва*. 2018. Том 94, № 4. Харків: ХНУБУ. С. 95 – 99.

2. Мусієнко І.В., Казаченко Л.М. Результати дослідження осідань гуртожитку ХНАДУ №5 у 2018 році. *Вісник ХНАДУ*. 2019. № 84. Харків: ХНАДУ. С. 51 – 55.

References

1. Musiienko, I. (2018). Doslidzhennia prosadok inzhenernoi sporudy na studentskomu provulku m. Kharkova (hurtozhytok № 5 KhNADU) [Scientific bulletin of construction]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 94(4), 95 – 99.

2. Musiienko, I., Kazachenko, L. (2019). Rezultaty doslidzhennia osidan hurtozhytku KhNADU №5 u 2018 rotsi [Bulletin of KhNAHU]. *Visnyk KhNADU*, 84, 51 – 55.

RECOMMENDATIONS ACCORDING TO THE SUBSIDENCE STUDY OF KHNAHU HOSTEL NO. 5 IN 2023

Abstract. *The article deals with the research of subsidence of the hostel of KHNADU No. 5 in 2023. The research was carried out using geometric levelling on the marks fixed in the basement of the building in 1996. LEIKA Sprinter 100 electronic leveller was used for observations. A total of two rows of 15 marks each in the form of steel pins were recorded. Also for observation of precipitation a ground rapper with a conditional mark - 100 m was created. The paper analysed the subsidence dynamics since 2000. The research showed a difficult dynamics for interpretation: the hostel did not seem to be subsiding, but on the contrary - 'rising'. An assumption was made about the subsidence of the ground rapper itself. Therefore, starting in 2017, subsidence studies of hostel No. 5 were initiated using an additional temporary rapper, which is located 100 m from the main rapper along Student Lane. A subsidence trend of 4 mm per year was recorded for the main rapper relative to the temporary rapper. With the main rapper the hostel with all the surrounding area settles. The geological instability of the area around the hostel is visually detected. Photographs of the visual assessment are provided as supporting evidence. The photographs show subsidence of the surrounding area, cracks on the hostel building. Indirect evidence of subsidence of the area around the hostel is provided by the increased difficulty of surveying due to the lack of tool height for surveying some marks. It is concluded that there is a need for an additional rapper located off-slope along Student Lane. Two schemes of location of the additional rapper are given: 1 scheme - along the Studentskyi Lane with the length of the*

course more than 300 m; 2 scheme - along the shortest distance to the bottom of the slope. In the second scheme, the distance from the rapper to the hostel building is about 70m. Preference is given to the second scheme with the involvement of non-reflective electronic total station. It is suggested that a microtriangulation network be laid out near the slope, and observation stamps made of stainless steel plates 200x200 mm in size, 1 mm thick, with an engraved intersection at a depth of 0.5 mm and filled at the northeast and southeast corners of the building be fixed.

Key words: building subsidence monitoring, rapper, geometric levelling, leveller, mark, elevation, exceedance, levelling run.

Musiienko I.V.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the of Road Design,
Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko L.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Road Design,
Geodesy and Land Management Department,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

УДК 528.5
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2024.44.9

Юрченко Ю.В.
інженер-технолог І категорії відділу № 77
«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ
ORCID ID: 0000-0001-9253-009X

Сіора О.В.
науковий співробітник відділу № 77
«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ
ORCID ID: 0000-0003-1927-790X

Соколовський М.В.
провідний інженер відділу № 77
«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ
ORCID ID: 0000-0003-3243-5060

Бондарєва В.І.
заступник завідувача відділу № 77
«Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ
ORCID ID: 0009-0003-6177-6048

Бернацький А.В.
к.т.н., старший дослідник,
завідувач відділу № 77 «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання»,
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ
ORCID ID: 0000-0002-8050-5580

ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ

Анотація. *У статті детально аналізуються сучасні лазерні технології, що знаходять застосування у будівництві. Увагу приділено використанню лазерного сканування, яке дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі будівельних об'єктів. Це значно підвищує точність проектування та полегшує процес реконструкції та реставрації будівель. Розглянуто лазерні системи вирівнювання, що забезпечують високоточне встановлення конструкційних елементів та контроль їх положення під час будівництва. Детально розглянуто лазерні тахеометри, теодоліти і далекоміри для точного вимірювання відстаней, кутів і об'ємів на будівельних майданчиках. Лазерні тахеометри забезпечують автоматизоване збирання та обробку даних, що значно скорочує час на проведення геодезичних робіт. Лазерні теодоліти використовуються для високоточного визначення кутів і напрямків, що є критичним для зведення складних конструкцій. Лазерні далекоміри дозволяють швидко і точно вимірювати відстані, що є необхідним для ефективного планування та контролю будівельних робіт. Наведено переваги використання лазерних технологій, такі як підвищена точність вимірювань, зниження людського фактору, скорочення витрат часу на підготовчі та контрольні роботи, а також підвищення загальної ефективності будівельних процесів. Висновки підтверджують, що лазерні технології мають значний потенціал для революціонізування будівельної галузі, сприяючи її інноваційному розвитку.*

Ключові слова: лазер, нівелір, далекомір, лазерні системи сканування, теодоліт, тахеометр, оптимізація процесу будівництва, історія розвитку геодезичних приладів.

Постановка проблеми. Застосування інноваційних технологій у будівництві є ключовим фактором для підвищення ефективності, точності та безпеки будівельних процесів. Однією з таких технологій, що стрімко розвивається та знаходить широке застосування, є використання лазерів. Лазерні технології стали незамінним інструментом для виконання геодезичних робіт, контролю якості будівельних конструкцій, а також для різних процесів вирівнювання та налаштування [1-2].

Аналіз останніх досліджень. Лазери забезпечують високу точність вимірювань, що є критично важливим для сучасних будівельних проектів [3]. Вони використовуються для топографічних зйомок, побудови цифрових моделей місцевості, встановлення рівнів та вертикалей, а також для визначення точних координат будівельних елементів. Геодезичні лазерні інструменти, такі як лазерні рівні, нівеліри та далекоміри, дозволяють зменшити людський фактор і мінімізувати похибки, забезпечуючи при цьому високу швидкість та ефективність виконання робіт. Однією з головних переваг використання лазерів у будівництві є їх здатність до автоматизації процесів [4]. Лазерні системи можуть бути інтегровані з комп'ютерними програмами для створення BIM (Building Information Modeling) моделей, що дозволяє більш точно планувати та виконувати будівельні проекти. Використання лазерних сканерів дозволяє створювати тривимірні моделі існуючих об'єктів та місцевості, що є важливим для реконструкції та реставрації будівель. Лазерні технології також сприяють підвищенню безпеки на будівельних майданчиках [5]. Вони дозволяють виконувати точні вимірювання на відстані, зменшуючи необхідність роботи на висоті або в небезпечних умовах. Наприклад, використання лазерних далекомірів дозволяє швидко і безпечно вимірювати великі відстані або висоти конструкцій, без потреби підйому на будівельні риштування або використання інших небезпечних методів. Загалом, впровадження лазерних технологій у будівництві відкриває нові можливості для підвищення точності, швидкості та безпеки виконання робіт.

Метою роботи є дослідження та аналіз впровадження лазерних технологій у будівельній галузі, з акцентом на огляд існуючих лазерних пристроїв, що використовуються в сучасному будівництві. У статті будуть розглянуті основні типи лазерних інструментів, їхні функції та переваги, їхня роль у підвищенні ефективності, точності та безпеки будівельних робіт, а також історія розвитку.

Основна частина

Далекоміри. Історія використання лазерних далекомірів розпочалася у середині 20-го століття з розвитку лазерних технологій, що відкрило нові можливості для точних вимірювань. У 1960 році Теодор Майман створив перший робочий рубіновий лазер, і його властивості стали основою для розробки перших лазерних далекомірів [6]. Цей лазер працював у імпульсному режимі та мав довжину хвилі 694 нм. Перші випробування лазерного далекоміра ХМ-23 почалися у 1963 році в США. Цей далекомір був з потужністю лазерного випромінювання 2,5 Вт та вимірював відстань в діапазоні 200-9995 м [7]. На початку 1960-х років далекомір ХМ-23 був не секретний та доступний для широкого кола цивільних дослідників. Протягом 1970-х і 1980-х років розвиток електроніки та мініатюризація компонентів призвели до створення компактніших і доступніших лазерних далекомірів. Їх почали активно використовувати не тільки в геодезії, але й у військових застосуваннях, будівництві, а також у наукових дослідженнях. З впровадженням цифрових технологій лазерні далекоміри стали ще досконалішими. З'явилися моделі з функціями автоматичного обчислення, збереження даних і передачею інформації на комп'ютери або інші пристрої [8]. Ці інновації розширили можливості використання лазерних далекомірів у будівництві, архітектурі, ландшафтному дизайні та інших сферах.

Лазерний далекомір – прилад для вимірювання відстаней із застосуванням лазерного променя. Завдяки своїй точності та зручності, лазерні далекоміри знайшли широке застосування в різних галузях: використовуються для вимірювання відстаней при плануванні та будівництві споруд в інженерній геодезії; для створення топографічних карт і планів місцевості в топографічній зйомці; для визначення відстаней до цілей, що важливо для точного наведення зброї та розвідки у військовій справі; лазерні далекоміри допомагають точно визначати відстані до об'єктів, що важливо для налаштування фокусу та композиції кадру у фотографії. Сучасні лазерні далекоміри зазвичай компактні, що дозволяє легко носити їх з собою і використовувати в будь-яких умовах. Вони забезпечують

високу точність вимірювань і швидкість отримання результатів. Стандартні моделі здатні вимірювати відстані від 30 до 60 метрів, проте є й потужніші варіанти для спеціалізованих задач. Такі далекоміри часто використовують будівельні та ремонтні бригади [9].

За принципом дії лазерні далекоміри поділяються на імпульсні та фазові.

Імпульсний лазерний далекомір це пристрій, що складається з імпульсного лазера та приймача відбитого випромінювання. Принцип дії імпульсного лазерного далекоміра заснований на вимірюванні часу, за який лазерний імпульс проходить від далекоміра до об'єкта і повертається назад. Суть імпульсного методу вимірювання полягає в наступному: до об'єкта надсилається зондуючий імпульс, який одночасно запускає таймер у далекомірі. Коли імпульс відбивається від об'єкта і повертається до далекоміра, таймер зупиняється. Відстань до об'єкта визначається на основі виміряного часового інтервалу (затримки відбитого імпульсу).

Фазові лазерні далекоміри — це прилади, які використовують фазовий метод вимірювання відстані (рис. 1). У цьому методі лазерний промінь модулюється по амплітуді з певною частотою (10...150 МГц), і відстань до об'єкта визначається за зміною фази сигналу після його відбиття від об'єкта. Саме фазові далекоміри набули широкого поширення в побуті [9].

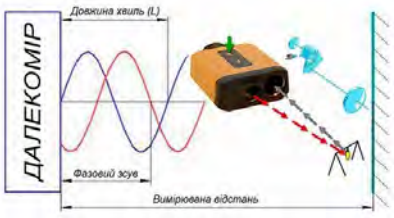


Рис. 1. Фазовий далекомір [10]

Для більш точних вимірів на далеких відстанях потрібен високоточний лазерний далекомір, здатний здійснювати виміри на відстані 400 – 500 метрів з невеликою похибкою всього 1 метр. Зовні такий прилад нагадує бінокль (рис. 2). Конструктивними особливостями високоточного далекоміра є наявність високоточних вимірювальних датчиків і якісних оптичних систем. Корпус приладу має протиударне водонепроникне покриття, завдяки чому далекомір можна використовувати в будь-яку погоду. Високоточний лазерний далекомір буде вкрай корисним в умовах масштабного будівництва, особливо при вимірі відстаней на поверхні з нерівним рельєфом [11].

Рис. 2. Високоточний далекомір
Leica Rangemaster CRF 2400-R [12]

Існують ще точніші далекоміри, розраховані на вимірювання на відстанях до 2000 метрів з похибкою всього в 0,01%. Проте застосовуються такі прилади нечасто, переважно, лише з великих будівельних об'єктах стратегічного значення.

Переваги лазерного далекоміра:

– вимірювання можна виконувати наодинці, досить просто навести прилад на ціль, і натиснути на кнопку. Цей легкий і компактний інструмент зручний і простий в експлуатації, і дозволяє з високою точністю вимірювати не тільки довжину, а й ширину, висоту об'єктів, обчислювати обсяги та площі, а також виконувати арифметичні обчислення. При цьому лазерний далекомір дозволяє зберігати результати вимірів у своїй пам'яті.

– лазерні далекоміри з часом практично не схильні до зносу – достатньо лише вчасно змінювати батарейки.

– висока точність вимірювань, швидкість роботи, простота експлуатації та надійний захист від пилу та вологи

Системи сканування. У 1953 році ще за довго до винаходу лазера, була запропонована абревіатура LIDAR в роботі Міддлтона та Спілхауса «Метеорологічні інструменти» [13]. Перші лідари використовували в якості джерела світла звичайні або імпульсні лампи зі швидкісними затворами, що формували короткий імпульс. Сучасні лазерні сканери багато в чому є подальшим розвитком добре відомих та активно застосовуваних у наземній геодезії оптичних далекомірів та споріднених ним приладів – лазерних тахеометрів, які визначають дальність шляхом вимірювання часу поширення зондуючого променя від випромінювача до об'єкта та назад (рис. 3). З іншого боку, вони багато запозичували

від активних лазерних скануючих систем авіаційного базування, що використовуються з 70-х років переважно як військова розвідувальна апаратура. Саме дослідження в галузі використання напівпровідникових лазерів у лідарах забезпечили підготовку технологічної бази для розробки перших лазерних сканерів [14].

Рис. 3. Лазерні сканери Leica BLK360, Leica RTC360, Z+F IMAGER 5010, Z+F IMAGER 5016 та Faro Focus3D X330 [15]

Однак виділення лазерних сканерів в окремий клас приладів стало можливим лише на початку 90-х років з появою інтегральних бортових навігаційних комплексів, які забезпечують досить точне обчислення в реальному часі просторових та кутових координат носія. Тільки до цього моменту використання GPS та лазерних далекомірів міцно утвердилося в практиці аерозйомки, інерційні системи стали активно застосовуватися для безпосереднього визначення елементів зовнішнього орієнтування, а за точністю визначених параметрів усі компоненти лазерного сканера досягли взаємного узгодженого рівня.

Принцип технології лазерного сканування полягає у визначенні просторових координат точок об'єкта. Під час роботи лазерного сканера здійснюється вимірювання відстані до всіх точок об’єкта сканування за допомогою фазового або імпульсного безвідбивного далекоміра. Сканування відбувається з надзвичайно високою швидкістю, що може досягати мільйонів вимірювань на секунду. На шляху до об'єкта імпульси лазерного далекоміра проходять через систему з одного рухомого дзеркала, яке відповідає за вертикальне зміщення променя. Горизонтальне зміщення лазерного променя здійснюється шляхом повороту верхньої частини сканера відносно нижньої, яка жорстко закріплена на штативі. Прецизійні сервомотори керують дзеркалом і верхньою частиною сканера, забезпечуючи точне направлення лазерного променя на об'єкт. Знаючи кут повороту дзеркала і верхньої частини сканера в момент спостереження та виміряну відстань, процесор обчислює координати кожної точки [14].

Особливістю лазерного сканера є його здатність знімати об'єкти в будь-якій точці сфери – з повним охопленням по горизонталі 360° і 270° по вертикалі. Результатом такого сканування є хмара точок (рис. 4), яка містить мільйони вимірювань.

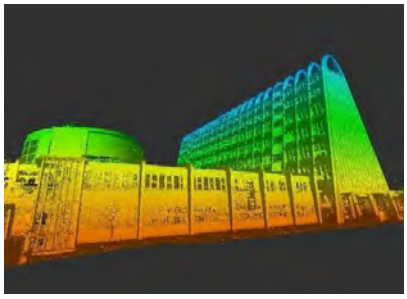
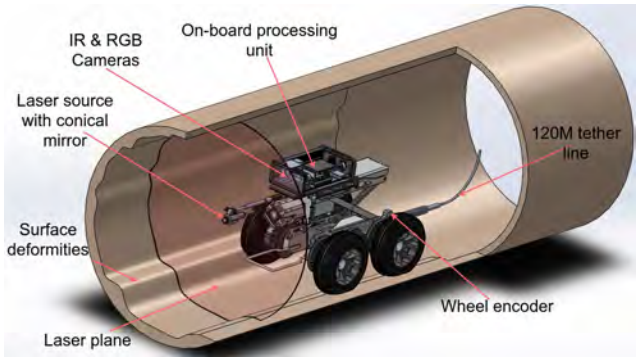


Рис. 4. Хмара точок в результаті лазерного 3D сканування [16]

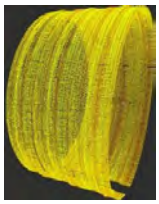
Високий рівень автоматизації наземного сканування має декілька переваг перед іншими методами отримання інформації. Лазерне сканування, в першу чергу, може визначати координати заданих точок об'єкта навіть у польових умовах. Тривимірна візуалізація в реальному часі дозволяє відокремлювати неробочі зони під час виконання польових робіт. Також цей метод не потребує сканування об'єкта з двох різних точок стояння, оскільки забезпечує дуже високу точність вимірювань. Крім того, при зйомці в небезпечних і важкодоступних районах, завдяки можливості віддаленого отримання результатів, підвищується безпека працівників. Інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) – це сучасний тренд, який значно впливає на фахівців у сфері геодезії, проектування та будівництва. Цифрове зображення будівлі за допомогою BIM дозволяє керувати її фізичними та функціональними властивостями. Лазерне сканування, у свою чергу, значно підвищує ефективність створення точних інтелектуальних 3D моделей. Збір і комплексна обробка всієї інформації про будівлю в єдиному інформаційному середовищі є головною перевагою інформаційного моделювання перед іншими методами проектування. Всі елементи моделі є взаємопов'язаними та взаємозалежними між собою, що робить модель максимально реалістичною, наближеною до реальної будівлі і ситуації. Використання цієї технології дозволяє модернізувати об'єкти на основі отриманих даних, координувати проекти та оптимізувати робочі процеси [17].

Актуальною сферою застосування лазерного сканування є безконтактне дослідження технічного стану трубопроводів інженерних мереж. Сучасні розробки дозволяють здійснювати інспекцію як зовнішніх поверхонь трубопроводів, так і внутрішніх, що є більш складною задачею, оскільки вони безпосередньо контактують з робочими середовищами, які транспортуються трубопроводами. Лазерний сканер дозволяє досліджувати не лише зміни геометрії поверхні внутрішнього трубопроводу, рівень рідини у ньому, пропускну здатність, але й різні дефекти поверхонь, такі як ерозія, корозія, тріщини. Це дозволяє вчасно розробляти плани для ремонту, обслуговування, а в разі необхідності - і реконструкції окремих частин трубопроводів.

Для профілометрування трубопроводів та інспекції колодязів інженерних мереж застосовується лазерний профілометр (рис. 5, а). Цей інструмент дозволяє безконтактно виявляти змін у вертикальній та горизонтальній формі трубопроводів з різних матеріалів, які мають внутрішній діаметр від 6 дюймів (рис. 5, б). Технологія з використанням лазерного профайлера генерує світлове кільце на внутрішню поверхню трубопроводу. Камера, що прикріплена до сканера, виявляє це кільце світла і записує лазерне зображення у формі інтерактивної 3D моделі трубопроводу (рис. 5, в). Ця модель є зручною для подальших досліджень і дозволяє користувачеві переміщатися по ній [18].



а



б в

Рис. 5. Лазерне сканування трубопроводу [19]

Крім того, спеціально розроблене програмне забезпечення [20] має можливість інтегрувати цифрові дані, отримані під час інспекції трубопроводів та колодязів, з ГІС-даними. Це дозволяє вбудувати систему каналізації у загальне середовище міської інфраструктури, яке включає в себе рельєф ландшафту, будівлі, інженерні та транспортні мережі, а також об'єкти благоустрою та ландшафтної архітектури. Двонаправлена інтеграція дозволяє обмінюватися інформацією про ділянки каналізаційної мережі в режимі реального часу. Аналіз цих даних допомагає вирішити, чи потрібно реконструювати або ремонтувати систему каналізації. Застосування подібних методів інспекції трубопроводів може також сприяти удосконаленню процесу прогнозування надійності роботи інших інженерних мереж, таких як системи водопостачання, теплопостачання, газопостачання і т.д. [21].

Переваги геодезичного лазерного сканера:

– Збільшена точність та деталізація моделювання;

– Швидкість сканування;

– Високошвидкісна обробка інформації в польових умовах;

– Зйомка важкодоступних предметів;

– Автоматичне порівняння нових знімків із попередніми, щоб визначити ступінь деформації;

– Складання з урахуванням даних сканування топографічних планів тощо.

Лазерні нівеліри. Нівелір вважається одним з перших геодезичних інструментів. У своєму творі в II столітті до н.е. Герон Александрійський описував простий нівелір, що складався з двох сполучених сосудів, заповнених рідиною. У 17 столітті нівелір був значно вдосконалений: Галілей у 1609 році створив окуляр, Кеплер у 1611 році додав ниткову сітку, а Монтенарі у 1674 році використав дальні нитки. Прорив у розвитку нівелірів в будівництві, топографічних роботах та інженерних дослідженнях відбувся після винайдення перекладного рівня Амслером-Лаффоном у 1857 році та створення високоточного оптичного нівеліра російським геодезистом Д. Д. Гедеоновим у 1890 році. Спеціалісти та вчені з різних країн продовжували вдосконалювати нівеліри. Швейцарія внесла вклад у внутрішнє фокусування окуляра, контактний рівень та оптичний мікрометр, Німеччина розробила самоналаштовувальну лінію спостереження, а СРСР – автоматичні компенсатори Стодолкевича і Гусєва [22]. На сьо-

годнішній день вдосконалення та виробництво нівелірів проводяться практично у всіх розвинених та розвиваючихся країнах, таких як Японія, США, Китай, Німеччина, Швейцарія та інші. Основна частина ринку належить нівелірам зарубіжних виробників і торгових марок: geo-Fennel (Німеччина), Robotoolz (США), Sokkia/Topcon і Nikon (Японія), Zeiss (Німеччина), Trimble/Spectra precision (США) та ін. Процес вдосконалення нівеліра триває й досі. У 20 столітті з'явилися дві нові групи нівелірів поряд з оптичними: електронні та лазерні. Методика роботи з цими приладами, а також принцип їхньої роботи відрізняються, але вони переслідують одну й ту ж мету.

Лазерні нівеліри – це сучасні прилади, які використовують лазерне випромінювання для побудови ліній. Вони працюють за тим же принципом, що й механічні нівеліри, але замість нитки тут використовується лазерний промінь. Ці прилади створюють горизонтальні та вертикальні лінії, що дозволяє зручно орієнтуватися при розмітці стін або підлоги (рис. 6) [9].

Рис. 6. Принцип роботи лазерного нівеліра [23]

Принцип роботи лазерного нівеліра базується на використанні лазерного випромінювання для створення видимих ліній або точок на поверхні. Основна ідея полягає в тому, що лазерний промінь виходить з пристрою і формує лінію або точку на поверхні, яка використовується для вимірювань або орієнтування. Типова конструкція лазерного нівеліра включає в себе джерело лазерного випромінювання, оптичну систему для формування потрібної лінії або точки, електроніку для керування пристроєм, а також корпус для захисту та регулювання пристрою. Коли пристрій увімкнено, джерело лазерного випромінювання створює лазерний промінь, який потім проходить через оптичну систему. Вона створює бажану форму променя - лінію або точку - на поверхні, на яку він направлений.

Лазерні нівеліри поділяються на лінійні та ротаційні.

Лінійні лазерні рівні також відносяться до статичних типів. Вони проектують одну неперервну лінію на поверхню, але деякі моделі можуть показувати 2 перпендикулярні лінії (хрести) і додаткові точки. Лінії створюються шляхом розсіювання лазерного променя через призму. Робоча відстань таких лазерних рівнів зазвичай не перевищує 30 метрів, але цього вистачає для виконання монтажних, оздоблювальних та ремонтних робіт у приміщенні. Важливою функцією для таких рівнів є автовирівнювання. Більшість сучасних моделей мають цю функцію, що значно спрощує роботу з приладом.

Ротаційні лазерні рівні належать до професійного інструменту. Особливістю їх конструкції є те, що промінь світла виходить з ротаційної головки, розташованої зверху корпусу. Обертаючись з високою швидкістю, промінь охоплює область в радіусі 360º і формує неперервну лінію на відстані до 400 метрів. Звичайно, для виконання робіт на таких відстанях необхідно використання додаткового обладнання, такого як приймач для лазерного рівня. Такий тип рівнів, крім побудови ліній, також можуть обчислювати різницю висот, проводити маркування великих будівельних об'єктів.

Ротаційні нівеліри поділяються на:

– Ручні (застарілий варіант), де горизонтальна площина встановлюється вручну.

– Півавтоматичні, де горизонтальна площина автоматично вирівнюється, а вертикальна встановлюється вручну.

– Автоматичні горизонтальні, які мають високу точність і дальність роботи, застосовні для спеціалізованих завдань.

– Повністю автоматичні, де горизонтальна і вертикальна площини автоматично вирівнюються, мають широкий діапазон роботи.

Використання лазерного рівня не потребує спеціальних знань; достатньо встановити пристрій на штатив, ввімкнути потрібний режим маркування (один промінь, два промені або кілька променів), спрямувати пристрій на поверхню і нанести маркери по червоних лініях або одразу почати роботу з обробкою або будівельними матеріалами (найпростіший у використанні нівелір).

Лазерний оптичний прилад має високу точність. Похибка професійного лазерного приладу не перевищить 0,3 мм на метр, а більш прості прилади можуть помилятися максимум на 1 мм на метр. Сучасні лазерні нівеліри відрізняються наявністю багатьох додаткових функцій. Лазерний нівелір побудує горизонтальний промінь, вертикальний промінь, зробить хрест, за бажанням користувача побудує додаткові контрольні точки у зеніті або надирі.

Лазерний нівелір має ряд переваг:

– Широкі можливості застосування. Він дозволяє створювати як вертикальні, так і горизонтальні проекції, що розширює його застосування в будівництві та ремонтних роботах.

– Збільшення швидкості виконання робіт. Використання лазерного нівеліра дозволяє швидше і ефективніше виконувати роботи з маркування та орієнтації на рівні поверхні.

– Точність побудов та вимірювань. Лазерний нівелір забезпечує високу точність результатів, що дозволяє досягти високої якості виконаних робіт.

– Функція самовирівнювання. Багато моделей лазерних нівелірів оснащені функцією автоматичного самовирівнювання, що спрощує процес установки та забезпечує точність роботи.

– Можливість роботи в одиночку. Лазерний нівелір можна використовувати без допомоги інших осіб, що дозволяє збільшити продуктивність та незалежність у процесі роботи.

Лазерні теодоліти. Історія виникнення лазерного теодоліта пов'язана з розвитком лазерної технології у другій половині 20 століття. Перші лазерні теодоліти з'явилися у 1980-х роках, коли технологія лазерного випромінювання була інтегрована з традиційними теодолітами. З цього моменту техніка постійно вдосконалювалася, стаючи ще точнішою та більш функціональною. Сучасні лазерні теодоліти оснащені електронними дисплеями, автоматичними функціями вирівнювання та можливістю підключення до комп'ютерів для обробки даних.

Лазерний теодоліт — це прилад, у якому візирна вісь формується за допомогою вузькоспрямованого світлового променю (рис. 7). Він особливо підходить для розбивочних робіт, необхідних при будівництві мостів, доріг, тунелів, будівель та інших споруд [11].

Рис. 7. Лазерний теодоліт LDT520 [24]

Істотна відмінність полягає в лазерному випромінювачі, який змонтовано над зоровою трубою. Два прилади - електронний теодоліт і лазерний візир - можуть бути з легкістю замінені одним теодолітом, оскільки лазерний промінь використовується в ньому як покажчик, а всі результати, отримані шляхом вимірювань, відображаються на дисплеї.

Лазерний теодоліт оснащений лазерним випромінювачем, завдяки якому з'явилася можливість отримувати і сфокусований промінь для точного наведення на об'єкт, і паралельний лазерний. Альтернативою цьому виду кутомірного інструменту може бути стандартний теодоліт і окремо придбана лазерна насадка [14].

Лазерний теодоліт має свої переваги та недоліки.

До переваг лазерного теодоліта можна віднести:

– Наявність дисплея, що виключає помилки зчитування показників.

– Економія часу при виконанні робіт.

– Можливість роботи в темний час доби.

– Здатність працювати при низьких температурах.

– Виключно якісні характеристики за будь-яких умов.

До недоліків належать:

– Необхідність зберігати та транспортувати прилад у спеціальній упаковці, щоб уникнути поломок.

– Потреба в живленні від акумуляторів.

На жаль, лазерні теодоліти менш популярні через їх високу вартість. Однак саме ці вимірювальні прилади незамінні при роботі в тунелях та шахтах, де недостатнє освітлення ускладнює використання інших приладів. Лазерний промінь чудово видно в темний час доби або в затемнених приміщеннях,

а дані на підсвіченому дисплеї легко читати. На будівельному майданчику за допомогою лазера легше знайти точку вимірювання. Ці теодоліти також ефективні при роботі з об'єктами, розташованими на великій відстані один від одного та від точки вимірювання, оскільки довжина лазерного променя не має обмежень.

Лазерні тахеометри. Перші геодезичні прилади, що віддалено нагадують сучасні тахеометри, з'явилися 50 років тому. У цих напівмеханічних і напівелектронних пристроях незалежно встановлювалися світловий далекомір та теодоліт. Згодом теодоліти і світлові далекоміри почали об'єднувати в одному корпусі, оснащеному спеціальною панеллю для введення значень кутів. Перша повноцінна модель тахеометра була розроблена у Швеції, де відлік кутів замінили з оптичного на електронний. Це створило можливість автоматизувати геодезичні роботи. Електронні тахеометри з'явилися на ринку приблизно 25 років тому і виготовляються американськими, японськими та швейцарськими компаніями [24].

Лазерний тахеометр — це сучасний геодезичний прилад, який використовує лазерну технологію для вимірювання відстаней та кутів. Він об'єднує функції теодоліта та світлового далекоміра в одному компактному корпусі (рис. 8). Лазерний тахеометр може вимірювати вертикальні та горизонтальні відстані з високою точністю до 1 см на відстані до 5 км. Він також може вимірювати кути з точністю 2″-20″. На додачу, цей прилад автоматично зберігає дані про кілька тисяч точок на виміряній площі і може передавати ці дані через мережу GPRS на віддалений комп'ютер [22].

Рис. 8. Лазерний тахеометр SOUTH NTS-355R [22]

Принцип роботи електронного тахеометра ґрунтується на двох методах. Перший метод це фазовий та другий метод імпульсний, який використовується у більш сучасних моделях. Перший метод базується на вимірюванні різниці фаз між випроміненим та відбитим від об'єкта променями. Другий метод вимірює час, за який лазерний промінь проходить від тахеометра до відбивача і назад. Відстань, на якій може працювати тахеометр, залежить від режиму роботи і властивостей поверхні, на яку спрямовано промінь. У режимі без відбивача, тахеометр може працювати на відстані до 1000–1200 метрів, залежно від відбивної здатності поверхні. У режимі з відбивачем, він здатний вимірювати відстані до 5000 метрів і більше [9-22].

Усі моделі тахеометрів поділяються на кілька типів залежно від їх застосування:

– ***Технічні тахеометри:*** Електронні пристрої цього типу зазвичай є більш доступними за ціною та використовуються для проведення простих геодезичних робіт, таких як вимірювання відстаней і кутів.

– ***Будівельні тахеометри:*** Вони оснащені як відбивальним, так і безвідбивальним далекоміром, що дозволяє проводити зйомку як з використанням відбивальних марок, так і без них. В будівельних тахеометрах відсутня алідада.

– ***Інженерні тахеометри:*** Ці прилади мають розширений функціонал, включаючи фотокамери для побудови тривимірних моделей місцевості, сенсорні дисплеї, різноманітні комунікаційні канали (Wi-Fi, Bluetooth) та програмне забезпечення для розширеного аналізу даних.

В свою чергу, тахеометри поділяються на модульні, що складаються з окремих незалежних елементів, і інтегровані, де різні пристрої об'єднані в одному корпусі. Останні включають моторизовані і автоматизовані тахеометри. Перші з них мають сервопривід, який дозволяє вести вимірювання в багатьох точках одночасно, а другі мають сервопривід і системи, здатні впізнавати, захоплювати і відстежувати цілі. Фактично, це роботизовані геодезичні комплекси. Пристрої такої конструкції призначені для проведення вимірювань однією людиною, і роботизовані тахеометри дозволяють виконувати віддалені вимірювання з гарантовано високою точністю результатів [9].

За характеристиками зйомки, електронні тахеометри поділяються на наступні типи:

– Кругові, оснащені нитяним далекоміром і циліндричним рівнем на вертикальному крузі алідади;

– Номограмні, де висоти і горизонтальні відліки визначаються за номограмою, що розпізнається у трубі приладу під час спостереження, а також за допомогою вертикальної рейки;

– Авторедукційні, де висоти і горизонтальні відліки визначаються за допомогою горизонтальної рейки дальномером з подвійним зображенням;

– Внутрішньобазові, база яких розташована поруч з тахеометром і призначена для прямого розрахунку горизонтального положення. Вимірювання вертикальних кутів дозволяють розрахувати висоту.

– Електрооптичні, оснащені додатковим електронним пристроєм, що дозволяє автоматизувати вимірювання.

Порівнюючи роботу з теодолітом і тахеометром, можна зазначити, що для першого потрібно вести записи в журналі, у той час як для другого — лише вести абрис, оскільки дані про відстані, кути та номери пікетів прилад автоматично записує і зберігає у пам'яті.

Конструкція електронного тахеометра мається припускає його використання у польових умовах. Вплив факторів навколишнього середовища, такі як дощ, сніг, пил, бруд не зашкодять вимірювальному пристрою. Кожен виробник має у своєму асортименті моделі тахеометрів, призначених для роботи в екстремальних умовах, з можливістю працювати при низьких температурах до мінус 30°С. Проте рекомендується вибирати їх лише у тих випадках, коли робота планується в північних регіонах або в особливо вимогливих умовах [11].

Висновки. У сучасному будівництві будівельні лазери є ключовими інструментами, що надають будівельникам інноваційні можливості для точнішого та ефективнішого виконання завдань. Вони забезпечують підвищену точність вимірювань, прискорюють процеси вирівнювання та гарантують високу якість будівельних робіт. Використання будівельних лазерів не лише скорочує час будівництва, але й знижує ризик помилок, що є критично важливим для безпеки та якості кінцевого результату. Спостерігається тенденція до сталого розвитку будівельних лазерів, що відкриває нові перспективи для їхнього ширшого використання в майбутньому. Інтеграція нових технологій, таких як автоматичне управління, самокалібрування та розширення функціоналу, робить ці інструменти ще більш універсальними та пристосованими до різних завдань у будівельній галузі. Майбутнє будівельних лазерів обіцяє нові можливості для покращення будівельних процесів, оптимізації витрат та забезпечення високих стандартів якості проектів. Завдяки їм будівельники зможуть швидше та точніше виконувати завдання, що сприятиме підвищенню ефективності та конкурентоспроможності у будівельній індустрії.

Література

1. Kuttykadamov M.E., Rysbekov K.B., Milev I., Ystykul K.A., B.K Bektur. Geodetic monitoring methods of high-rise constructions deformations with modern technologies application. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology.* 2016. Vol. 93, №1. P. 24-31. URL: https://www.researchgate.net/profile/Kanay-Rysbekov/publication/311258904_Geodetic_monitoring_methods_of_high-rise_constructions_deformations_with_modern_technologies_application/links/5c0552dc299bf169ae2e62c8/Geodetic-monitoring-methods-of-high-rise-constructions-deformations-with-modern-technologies-application.pdf
2. Markiewicz J., Łapiński S., Kot P., Tobiasz A., Muradov M., Nikel J., Shaw A., Al-Shamma'a A. The Quality Assessment of Different Geolocalisation Methods for a Sensor System to Monitor Structural Health of Monumental Objects. *Sensors.* 2020. Vol. 20, №10. 2915. URL: https://doi.org/10.3390/s20102915
3. Baltsavias Emmanuel P. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* 1999. Vol. 54, №2–3. P. 83-94. URL: https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00014-3
4. Zhang C., Arditi D. Automated progress control using laser scanning technology. *Automation in Construction.* 2013. Vol. 36. P. 108-116. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.012
5. Yap J. B. H., Skitmore M., Lam C. G. Y., Lee W. P., Lew Y. L.. Advanced technologies for enhanced construction safety management: investigating Malaysian perspectives. *International Journal of Construction Management.* 2024. Vol. 24, №6. P. 633–642. URL: https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2135951
6. Bernatskyi A., Khaskin V. The history of the creation of lasers and analysis of the impact of their application in the material processing on the development of certain industries. *History of Science and Technology.* 2021. Vol. 11, №1. P. 125-149. URL: https://doi.org/10.32703/2415-7422-2021-11-1-125-149
7. Marcus I. R., Rangemeter for XM23 Rangefinder, U. S. DoD report of 17/02/1964.
8. Marshall A., Martin R., Hutber D. Automatic inspection of mechanical parts using geometric models and laser range finder data. *Image and Vision Computing.* 1991. Vol. 9, №6. P. 385–405. URL: https://doi.org/10.1016/0262-8856(91)90005-A
9. Мороз І., Тревога І. Геодезичні прилади. Львів : Львів. політехніка, 2012. 240 с.
10. Як вибрати лазерний далекомір для точних вимірювань. *STORGOM.* URL: https://storgom.ua/ua/novosti/yak-vibrati-lazernij-dalekomir-dlya-tochnih-vimiryuvan.html (дата звернення: 23.05.24)

11. Павлів П. В. Геодезія. Київ : ІЗМН, 1997. 200 с.
12. Лазерний далекомір Leica Rangemaster CRF 2400-R. *OpticStore*. URL: https://opticstore.com.ua/ua/product/lazernyj-dalnomer-leica-rangemaster-crf-2400-r (дата звернення: 23.05.24)
13. Middleton W. E. K. Meteorological instruments. 3rd ed. Toronto: Univ. of Toronto Press, 1953. 286 p.
14. Molebny V., Kamerman G., & Steinvall O.. Laser radar: from early history to new trends. *Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications IV*. 2010. URL: https://doi.org/10.1117/12.867906
15. Kersten T. P., Lindstaedt M. Geometric accuracy investigations of terrestrial laser scanner systems in the laboratory and in the field. *Applied geomatics*. 2022. Vol.14, №2. P. 421-434. URL: https://doi.org/10.1007/s12518-022-00442-2
16. 3D Laser Scanning. *Indiamart*. URL: https://www.indiamart.com/proddetail/3d-laser-scanning-14314865848.html
17. Уль А. В., Мельник О. В., Рудик О. В., Мельник Ю. А., Синій С. В. Принципи моделювання динамічних систем при інженерно-геодезичному моніторингу споруд. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2021. Т. 15. С. 85-92. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-12
18. Xi W., Lu W. G. Formation mechanism of an adherent vortex in the side pump sump of a pumping station. *International Journal of Simulation Modelling*. 2021. Vol. 20, №2. P. 327-338. URL: https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-2-562
19. Gunatilake, A., Piyathilaka, L., Kodagoda, S., Barclay, S., & Vitanage, D.. Real-Time 3D Profiling with RGB-D Mapping in Pipelines Using Stereo Camera Vision and Structured IR Laser Ring. *2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. 2019. P. 916-921. URL: https://doi.org/10.1109/ICIEA.2019.8834089
20. Han K., DeGol J., Golparvar-Fard M. Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2018. Vol. 144, №2. 04017110. URL: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001428
21. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*. 2010. Vol. 19, №7. P. 829-843. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007
22. Калинич І. В., Радиш І. П., Ваш Я. І. Електронні геодезичні прилади. Конспект лекцій /уклад. Калинич І.В., Радиш І.П., Ваш Я.І.– Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2021р. 156 с. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/34491/1/%d0%9a%d0%be%d0%bd%d1%81%d0%bf%d0%b5%d0%ba%d1%82%20%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%86%d1%96%d0%b9%20%d0%bf%d0%be%20%d0%95%d0%93%d0%9f%201.pdf
23. Як вибрати лазерний рівень? *Sigma Ukraine*. URL: https://sigma.ua/blog/stati/kak-vybrat-lazernyy-uroven/ (дата звернення: 24.05.24)
24. Нестерчук І. К. Історія розвитку кутомірних приладів. *Часопис картографії*. 2012. Т. 4. С. 144-153. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2012_4_17

References

1. Kuttykadamov M.E., Rysbekov K.B., Milev I., Ystykul K.A., Bektur B.K. (2016). Geodetic monitoring methods of high-rise constructions deformations with modern technologies application. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 93 (1), 24-31. URL: https://www.researchgate.net/profile/Kanay-Rysbekov/publication/311258904_Geodetic_monitoring_methods_of_high-rise_constructions_deformations_with_modern_technologies_application/links/5c0552dc299bf169ae2e62c8/Geodetic-monitoring-methods-of-high-rise-constructions-deformations-with-modern-technologies-application.pdf
2. Markiewicz J., Łapiński S., Kot P., Tobiasz A., Muradov M., Nikel J., Shaw A., Al-Shamma'a A. (2020). The Quality Assessment of Different Geolocalisation Methods for a Sensor System to Monitor Structural Health of Monumental Objects. *Sensors*, 20(10), 2915. URL: https://doi.org/10.3390/s20102915
3. Baltsavias Emmanuel P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3), 83-94. URL: https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00014-3
4. Zhang C., Arditi D. (2013). Automated progress control using laser scanning technology. *Automation in Construction*, 36, 108-116. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.012
5. Yap J. B. H., Skitmore M., Lam C. G. Y., Lee W. P., Lew Y. L. (2024). Advanced technologies for enhanced construction safety management: investigating Malaysian perspectives. *International Journal of Construction Management*, 24(6), 633–642. URL: https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2135951
6. Bernatskyi A., Khaskin V. (2021). The history of the creation of lasers and analysis of the impact of their application in the material processing on the development of certain industries. *History of Science and Technology*, 11(1), 125-149. URL: https://doi.org/10.32703/2415-7422-2021-11-1-125-149
7. Marcus I. R. (1964). Rangemeter for XM23 Rangefinder, U. S. DoD report of 17/02/1964.
8. Marshall A., Martin R., Hutber D. (1991). Automatic inspection of mechanical parts using geometric models and laser range finder data. *Image and Vision Computing*, 9(6), 385–405. URL: https://doi.org/10.1016/0262-8856(91)90005-A
9. Moroz I., Trevoha I. Heodezychni prylady. [Geodetic devices]. Lviv : Lviv. politekhnika, 2012. 240 s.
10. Yak vybraty lazernyi dalekomir dlia tochnykh vymiriuvan. [How to choose a laser rangefinder for accurate measurements]. URL: https://storgom.ua/ua/novosti/yak-vibrati-lazernij-dalekomir-dlya-tochnih-vimiryuvan.html
11. Pavliv P. V. Heodeziia. [Geodesy]. Kyiv : IZMN, 1997. 200 s.
12. Lazernyi dalekomir Leica Rangemaster CRF 2400-R. [Laser range finder Leica Rangemaster CRF 2400-R]. URL: https://opticstore.com.ua/ua/product/lazernyj-dalnomer-leica-rangemaster-crf-2400-r
13. Middleton W. E. K. Meteorological instruments. 3rd ed. Toronto: Univ. of Toronto Press, 1953. 286 p.
14. Molebny V., Kamerman G., & Steinvall O. (2010). Laser radar: from early history to new trends. *Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications IV*. URL: https://doi.org/10.1117/12.867906
15. Kersten T. P., Lindstaedt M. (2022). Geometric accuracy investigations of terrestrial laser scanner systems in the laboratory and in the field. *Applied geomatics*, 14(2), 421-434. URL: https://doi.org/10.1007/s12518-022-00442-2
16. 3D Laser Scanning. URL: https://www.indiamart.com/proddetail/3d-laser-scanning-14314865848.html
17. Ul A. V., Melnyk O. V., Rudyk O. V., Melnyk Yu. A., Synii S. V. (2021). Pryntsypy modeliuvannia dynamichnykh system pry inzhenerno-heodezychnomu monitorynhu sporud. [Principles of modeling dynamic systems in engineering and geodetic monitoring of structures]. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, (15), 85-92. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-12

18. Xi W., Lu W. G. (2021). Formation mechanism of an adherent vortex in the side pump sump of a pumping station. *International Journal of Simulation Modelling*, 20(2), 327-338. URL: https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-2-562
19. Gunatilake, A., Piyathilaka, L., Kodagoda, S., Barclay, S., & Vitanage, D. (2019). Real-Time 3D Profiling with RGB-D Mapping in Pipelines Using Stereo Camera Vision and Structured IR Laser Ring. *2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 916-921. URL: https://doi.org/10.1109/ICIEA.2019.8834089
20. Han K., DeGol J., (2018). Golparvar-Fard M. Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(2), 04017110. URL: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001428
21. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19(7), 829-843. URL: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007
22. Kalynych I. V., Radysh I. P., Vash Ya. I. Elektronni heodezychni prylady. Konspekt lektsii. [Electronic geodetic instruments. Lecture notes] /uklad. Kalynych I.V., Radysh I.P., Vash Ya.I.– Uzhhorod: Vydavnytstvo UzhNU «Hoverla», 2021r. 156 s. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/34491/1/%d0%9a%d0%be%d0%bd%d1%81%d0%bf%d0%b5%d0%ba%d1%82%20%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%86%d1%96%d0%b9%20%d0%bf%d0%be%20%d0%95%d0%93%d0%9f%201.pdf
23. Yak vybraty lazernyi riven? [How to choose a laser level?]. URL: https://sigma.ua/blog/stati/kak-vybrat-lazernyy-uroven
24. Nesterchuk I. K. (2012). Istoriia rozvytku kutomirnykh pryladiv. [History of the development of angle measuring devices]. *Chasopys kartohrafii*, 4, 144-153. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2012_4_17

USAGE OF LASER TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Abstract. *In this study, modern laser technologies used in construction are analyzed in detail. Emphasis of the research is placed on the usage of laser scanning, which allows for creation of high-precision three-dimensional models of construction objects. As a result, it significantly improves design accuracy and facilitates the process of reconstruction and restoration of buildings. Laser alignment systems that provide high-precision installation of structural elements and control of their position during construction are analyzed. Laser total stations, theodolites, and rangefinders for accurate measurement of distances, angles, and volumes at construction sites are reviewed in detail. Laser total stations provide automated data collection and processing, which significantly reduces the time required for surveying. Laser theodolites are used for high-precision determination of angles and directions, which are critical for the construction of complex structures. Laser rangefinders allow for fast and accurate distance measurement, which is essential for effective planning and control of construction projects. The advantages of the use of laser technologies, such as increased measurement accuracy, reduction of the human factor, reduction of time spent on preparatory and control work, and increase in the overall efficiency of construction processes, are presented in the study. In summary, it is concluded that laser technologies have significant potential to revolutionize the construction industry, contributing to its innovative development.*

Key words: laser, laser level, rangefinder, laser scanning systems, theodolite, total station, construction process optimization, development history of geodetic instruments.

Yurchenko Yu.V.
Engineer-Technologist, 1-st category at the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Siora O.V.
Researcher at the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Sokolovskyi M.V.
Lead Engineer at the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Bondarieva V.I.
Deputy Head of the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
ORCID ID: 0009-0003-6177-6048

Bernatskyi A.V.
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Department №77 «Specialized high-voltage equipment and laser welding»,
E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

ЗМІСТ

Батракова А.Г., Урдзік С.М.
ЗАЛУЧЕННЯ ГЕОРАДАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ У ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ **3**

Григоровський П.Є., Червяков Ю.М., Басанський В.О., Мурасьова О.В., Халупка Ю.М., Бількевич Ю.В.
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ ДО ВИКОРИСТАННЯ **8**

Деркач С.І.
АНАЛІЗ ПОТОЧНОЇ СИТУАЦІЇ ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ БАГАТОКВАРТИРНОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ ЯК ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ **14**

Дорожко Є.В., Захарова Е.В., Штонда Є.О., Онищенко О.С.
ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТОПОПЛАНУ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ TOPOCAD **21**

Ігнатенко О.О.
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВЕДЕННЯ ВЕЛИКОПРОГОНОВИХ ПОКРИТТІВ ПІДЙОМНИМИ МОДУЛЯМИ **29**

Казаченко Л.М., Казаченко Д.А., Казаченко В.А., Лобко-Зампассі М.
ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ І 3-D МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ МІСТ **37**

Казаченко Д.А., Казаченко Л.М., Казаченко В.А.
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ І ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ПЛАНУВАННІ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ **45**

Мусієнко І.В., Казаченко Л.М.
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗГІДНО ДОСЛІДЖЕНЬ ОСІДАНЬ ГУРТОЖИТКУ ХНАДУ № 5 У 2023 РОЦІ **55**

Юрченко Ю.В., Сіора О.В., Соколовський М.В., Бондарєва В.І., Бернацький А.В.
ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ **62**

CONTENTS

Batrakova A.G., Urdzik S.M.
THE INVOLVEMENT OF GEORADAR TECHNOLOGIES IN SOLVING THE PROBLEMS OF THE ROAD-CONSTRUCTION INDUSTRY 3

Hrihorovskyi P.Ye., Chervyakov Yu.M., Basanskyi V.O., Murasyova O.V., Khalupka Yu.M., Bilkevych Yu.V.
TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR PREPARATION CONSTRUCTION WASTE FOR USE 8

Derkach S.I.
ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION OF ENERGY MODERNIZATION OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDING AS ACHIEVEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS 14

Dorozhko Ye.V., Zakharova E.V., Shtonda Ye.O., Onyshchenko O.S.
FEATURES OF TOPOPLAN CREATION IN TOPOCAD AUTOMATED DESIGN SYSTEM 21

Ignatenko O.O.
OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ERECTION OF LARGE-SPAN COATINGS BY LIFTING MODULES 29

Kazachenko L.M., Kazachenko D.A., Kazachenko V.A., Lobko-Zampassi M.
GIS TECHNOLOGIES AND 3-D MODELING FOR RESTORATION OF DAMAGED CITIES 37

Kazachenko D.A., Kazachenko L.M., Kazachenko V.A.
APPLICATION OF MATHEMATICAL PROCESSING METHODS AND GIS TECHNOLOGIES IN TERRITORY DEVELOPMENT PLANNING 45

Musiienko I.V., Kazachenko L.M.
RECOMMENDATIONS ACCORDING TO THE SUBSIDENCE STUDY OF KHNAHU HOSTEL NO. 5 IN 2023 55

Yurchenko Yu.V., Siora O.V., Sokolovskyi M.V., Bondarieva V.I., Bernatskyi A.V.
USAGE OF LASER TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION 62

Регламенти контролю якості виконання будівельних робіт

1. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ**
2. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ**
3. Регламент контролю якості **ПРИ ЗВЕДЕННІ МОНОЛІТНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
4. Регламент контролю якості **ПРИ МОНТАЖІ ЗБІРНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
5. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
6. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**
7. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ МОНТАЖІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
8. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ НЕПРОХІДНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛІВ**
9. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ**
10. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПОКРІВЕЛЬ**
11. Регламент контролю якості **ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**
12. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПІДЛОГ**
13. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ВІКОН І ДВЕРЕЙ**
14. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ ВНУТРІШНІХ САНІТАРНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**
15. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИХ РОБІТ**
16. Регламент контролю якості **РОБІТ ІЗ БЛАГОУСТРОЮ ТЕРИТОРІЇ**

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

Науково-технічний журнал

Випуск № 44

Підписано до друку 19.04.2024 р. Формат 60×84/8. Обл.-вид. арк. 6,01, ум. друк. арк. 8,84.
Папір офсетний. Цифровий друк. Наклад 200 примірників. Замовлення № 0824/573.

Видавничий дім «Гельветика»
(Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.)
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua