

Даншина Світлана Юрївна

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, <https://orcid.org/0000-0001-7354-4146>

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків

Андрєєв Сергій Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, <https://orcid.org/0000-0003-4256-2637>

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків

ДИСТАНЦІЙНІ ДАНІ В ПРОЦЕСІ РЕСТАВРАЦІЇ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ

***Анотація.** Аналіз статистичних даних підтверджує, що збереження культурної спадщини – це не лише питання національної автентичності, це завдання, вдале вирішення якого сприяє економічному добробуту та конкурентній перевазі країни в світі. Отже, метою дослідження є підвищення ефективності процесу реставрації пам'яток архітектури шляхом застосування сучасних засобів збирання й опрацювання інформації про їхній стан. Відбудова, реставрація й утримання об'єктів культурної спадщини потребують значних коштів, зменшення яких можливе з використанням сучасних досягнень науки і техніки. Тому, на етапі розроблення планів реконструкції та реставрації перспективним стає створення систем моніторингу за станом об'єктів культурної спадщини, наприклад інтерактивних мап із застосуванням сучасних ГІС-інструментів. Розроблено Data Flow Diagram як графічну модель інформаційного процесу, яка узагальнює і формалізує процедуру інтеграції розрізаних даних, отриманих з різних джерел, до загальної бази даних пам'яток історії, археології та архітектури під час створення мапи. Наведено приклад практичної реалізації розробленої моделі – фрагмент інтерактивної мапи пам'яток історії, археології та архітектури Харківської області, яка широко застосовує дистанційні дані і спирається на дані, отримані на засадах краудсорсингу. Узагальнюючи вимоги чинного законодавства у сфері реставрації пам'яток архітектури, визначено і проаналізовано етапи, де є можливими полегшення та пришвидшення процесу створення проєкту реставрації шляхом застосування тут даних дистанційного зондування та ГІС. Спираючись на досвід їх використання, показано, на яких роботах, за рахунок яких даних з'являється можливість підвищити якість проєктної документації, мінімізувати кількість виїздів спеціалістів на об'єкт реставрації, пришвидшити створення основних креслень.*

Ключові слова: культурна спадщина; інтерактивна мапа; діаграма потоків даних; історико-археологічні та натурні дослідження; проєктна документація

Вступ

Культурно-історична спадщина – це фундамент для формування світогляду національних, гуманітарних цінностей і спадкоємності та збереження традицій. Збереження культурної спадщини – це основа розвитку суспільства, що поєднує заходи, спрямовані не лише на підтримання, а й на одночасне зміцнення та довгострокову стійкість історичних і культурних цінностей [1].

Конвенція про охорону Всесвітньої культурної та природної спадщини, прийнята ООН у 1972 р., як об'єкти захисту визначає культурну (архітектурні, монументальні скульптурні та мальовничі твори, конструкції та елементи археологічних пам'яток і печерного житла) і природну (природні пам'ятки та цікаві місця) спадщини. Вона зобов'язує країни, де

розташовані ці об'єкти, забезпечувати їх виявлення, охорону, збереження, популяризацію і передачу майбутнім поколінням [2].

Збереження історичної спадщини – концепція, пов'язана з відновленням і реставрацією історичних будівель, результати реалізації якої сприяють сталому розвитку країн світу в контексті соціальної інтеграції, економічного зростання та захисту навколишнього середовища. Ця концепція стає основою створення почуття одночасної ідентичності та глобальної спільності [3; 4]. У цьому контексті культурний туризм розглядають як ефективну стратегію, яка в поєднанні зі спільною діяльністю не лише підвищує туристичне сприйняття і сприяє набуттю знань, пов'язаних із культурною спадщиною, а й водночас створює нові робочі місця та відкриває нові можливості для бізнесу, зміцнюючи

місцеву економіку. Основна ідея цього виду туризму – сприяти захисту і збереженню історичної спадщини та культури, ділитися культурним спадком з відвідувачами країни, поряд з цим отримувати економічні вигоди, покращувати якість життя мешканців і відвідувачів країни та ін. [3 – 5]. Аналізуючи дані Всесвітньої туристичної організації (<https://www.unwto.org/tourism-data/>) за 2022 р. (у звіті 2023 р. надано лише проміжні відомості для регіонів), зазначимо, що наявна додатна кореляція з коефіцієнтом $r \approx 0,7$ між кількістю туристів, що відвідали країну, і загальними надходженнями від туризму. За підсумками аналізу звіту 2022 р. у топ туристичних країн світу ввійшли (рис. 1): Франція (загальна кількість туристів, що відвідали країну, – 79,4 млн, прибуток від туризму – 59,7 млрд \$), Іспанія (загальна кількість туристів, що відвідали країну, – 71,66 млн, прибуток від туризму – 72,9 млрд \$), Сполучені Штати Америки (загальна кількість туристів, що відвідали країну, – 50,87 млн, прибуток від туризму – 136,9 млрд \$), Туреччина (загальна кількість туристів, що відвідали країну, – 50,45 млн, прибуток від туризму – 41,4 млрд \$), Італія (загальна кількість туристів, що відвідали країну, – 49,94 млн, прибуток від туризму – 46,6 млрд \$).

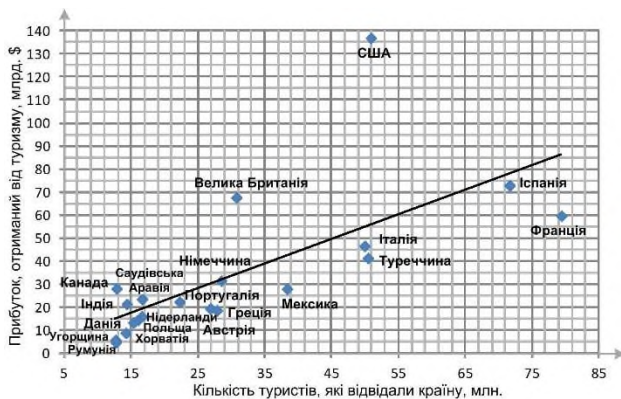


Рисунок 1 – Діаграма розсіювання, яка показує статистичний зв'язок між кількістю туристів, що відвідали країну, та прибутком, отриманим від туризму, для 20 країн-лідерів у сфері туризму

Отже, економічний підхід до збереження культурної спадщини, заснований на туризмі, може використовуватися як один із ключових елементів моделі стратегічного розвитку країни [6]. Розуміючи ці світові тенденції, керівництво України ще в 2021 р. затвердило програму «Велика реставрація», спрямовану на збереження об'єктів української культурної спадщини та модернізацію туристичної інфраструктури країни.

Бойові дії, що відбуваються на території України, внесли свої корективи. Станом на 26.07.2023 р. ЮНЕСКО підтвердило знищення або пошкодження 281 об'єкта культурної спадщини України: 118 релігійних споруд, 103 історичних будівель та культурних закладів, 19 пам'ятників, 27

музіїв, 13 бібліотек та одного архіву. За даними Міністерства культури та інформаційної політики від початку вторгнення до 25.03.2024 р. зруйновано або пошкоджено 1 046 пам'яток культурної спадщини у 17 областях: з них пам'яток національного значення – 121, місцевого значення – 852, щойно виявлених об'єктів культурної спадщини – 73. Найбільше, за даними уряду постраждали об'єкти Харківської області (294), на Херсонщині (136) і Донеччині (125) [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відбудова, реставрація й утримання об'єктів культурної спадщини потребують значних коштів [2; 6]. Навіть у довоєнні часи можливості України в реалізації інвестиційних проектів цієї сфері були вкрай обмеженими, тому перспективними в цьому випадку стають підходи, засновані на використанні потенціалу науки, техніки та інновацій, які базуються на високопродуктивних методах збирання інформації про ці об'єкти [2; 8].

В умовах глобалізації найважливішим завданням стає збереження культурної різноманітності та самобутності. Бум цифрових технологій і масове застосування методів оцифрування та 2D-моделювання сприяли збереженню спадщини і досі забезпечують її доступність [1; 2].

Епоха оцифрування поступається епосі створення оцифрованих форм історичних артефактів із залученням нових методів аналізу зображень, машинного інтелекту, комп'ютерного зору, розпізнавання образів тощо. Удосконалюються методи і засоби обстеження стану будівель та споруд. Засновані на швидкому маніпулюванні великими обсягами графічної інформації щодо пошкоджених / зруйнованих об'єктів спадщини, вони вдало відтворюють форми і зовнішній вигляд об'єктів з урахуванням інформації про глибину та колір. Така 3D-реконструкція культурної спадщини – складна область досліджень, що складається з низки етапів і досі невирішених проблем, пов'язаних з необхідністю відтворення різноманітності та неповторності об'єктів при дотриманні вимог максимальної точності та подібності [9; 10]. При цьому, крім вирішення проблеми збереження, з'являються додаткові функції виявлення підробок витворів мистецтва, збирання певної інформації про них в умовах, коли її важко отримати від реального об'єкта та ін. [10].

Будівельні проекти реалізуються в динамічному середовищі, яке створює значну кількість даних, великий обсяг яких не використовують повною мірою, проте вони мають вирішальне значення для прийняття обґрунтованих рішень [11; 12], особливо в умовах, коли будівельна галузь України переживає не найкращі часи.

Для підвищення рівня вітчизняного будівництва при вирішенні завдань збереження культурної спадщини, а також для покращення функціонування будівельної галузі України в цілому актуальним стає впровадження перспективного інформаційного моделювання будівель. Таке моделювання спрямовано на врахування всіх змін у стані об'єкта, дає змогу підлаштувати всі пов'язані критерії для отримання найточнішого результату, особливо в проєктах реставрації пам'яток історії, археології та архітектури. Використання цієї технології дає змогу фахівцям з різних галузей будівництва, проєктування й архітектури більш ефективно проєктувати, будувати, реконструювати й експлуатувати історичні будівлі, оцінювати інформацію про їхній стан з урахуванням ситуації на прилеглий місцевості тощо [12]. Однак наявні аналітичні дослідження (наприклад у роботах [10; 13; 14]) засвідчують, що відсутність загальних методів та інструментів інформаційного моделювання пам'яток архітектури, труднощі урахування наявної інформації, невизначеність у її якості та надійності, неможливість безпосереднього вимірювання всіх параметрів об'єкта реставрації, забезпечення необхідного рівня продуктивності під час розроблення проєктів реставрації, необхідність спільного використання моделі в декількох прикладних системах за участю всіх зацікавлених сторін стають суттєвими перешкодами для поширення інформаційного моделювання пам'яток архітектури.

Сучасні засоби збирання інформації про об'єкт реставрації, зокрема дані дистанційного зондування (ДЗЗ) та інструменти її оброблення, особливо ГІС-технології, стають основою під час розроблення проєктів відбудови та реставрації об'єктів культурної спадщини в контексті розвитку туризму. Старі карти об'єктів культурної спадщини прив'язують до місцевості, оцифровують і візуально зіставляють з поточним станом об'єкта за допомогою геоінформаційних систем (ГІС), створюючи «часовий ланцюг» між історичними будівлями, наявними будинками та оточуючими об'єктами. Використання подібних технологій, заснованих на математичній точності, забезпечує візуальне розуміння розташування будівель, їх фундаментів, неушкоджених або зруйнованих, ідентифікованих структур, зруйнованих діяльністю людини, відкриває нові можливості для перевірки проєктів реставрації на відповідність вимогам законодавства, дотримання законодавчих норм з охорони культурної спадщини тощо, відтворює закінчений образ місця розташування історичної будівлі, що служить керівництвом для пошуку шляхів її відбудови, створюючи суттєвий внесок у збереження пам'яток архітектури [14; 15].

Мета дослідження

Мета статті – підвищення ефективності процесу реставрації пам'яток архітектури шляхом застосування сучасних засобів збирання й оброблення інформації про стан історичних будівель.

Об'єкт дослідження – процес реставрації пам'яток архітектури.

Предмет – дистанційні методи збирання даних і геоінформаційні засоби їх оброблення, що прискорюють процес реставрації пам'яток архітектури.

Викладення основного матеріалу

Моніторинг стану пам'яток архітектури з використанням даних ДЗЗ та ГІС

Навіть у ХХ ст. Україна переживала, і зараз переживає, немало криз і воєн. Занепад, нестача коштів, бойові дії впливають на стан архітектурної спадщини. Через неможливість реставрації Україна втратила та втрачає чимало значних пам'яток архітектури та історії, зруйновані до фундаментів або частково, вони існують як непотріб [7; 16].

Закон України «Про охорону культурної спадщини» визначає процес реставрації як сукупність науково-обґрунтованих заходів з укріплення фізичного стану об'єктів культурної спадщини із забезпеченням збереження їхньої автентичності [17]. Закон України «Про комплексну реконструкцію кварталів застарілого житлового фонду» визначає реконструкцію будівель як «...перебудову об'єкта з метою зміни його техніко-економічних показників для підвищення ефективності його використання, пов'язану зі зміною геометричних розмірів, функціонального призначення, заміною окремих конструкцій, їхніх елементів, основних техніко-економічних показників». З цих означень випливає основне протиріччя і формується головна проблема у сфері охорони історичних будівель до початку воєнних дій: реконструкція – це зміна об'єкта культурної спадщини, тобто дії, що призводять (або можуть призвести) до часткового або повного зникнення об'єкта охорони. Реконструкція історичних будівель є найскладнішим видом будівельних робіт, що передбачає збереження історичного вигляду будівлі зовні та всередині. Тому, фізичні особи, яким належить земельна ділянка під історичною будівлею, виконуючи її реконструкцію задля потреб власного бізнесу, не маючи паспорту будівлі, лише маскують цей процес під реставрацію [16]. Унаслідок цього історичні будівлі втрачають свій статус, а отже, втрачається культурна спадщина країни. Також серед інших проблем збереження історичних будівель відзначимо:

- відсутність відповідальності за незаконну реконструкцію;
- незацікавленість влади в реставрації історичних будівель;
- недостатня свідомість громадян України щодо важливості культурної спадщини;
- військові дії на території країни.

Отже, величезна кількість історичних будівель України перебуває в занедбаному стані, ще більша частина з них зараз знищується. При цьому аналіз відкритої інформації (за даними сервісу <https://ua.wikipedia.org/wiki/>) засвідчує, що добробут країни залежить також від наявності на її території об'єктів всесвітньої спадщини (рис. 2). Так, для європейських країн-лідерів сфери туризму фіксується сильна додатна кореляція з коефіцієнтом $r \approx 0,78$ між кількістю об'єктів культурної та природної спадщини й узагальненими фінансовими показниками країни.

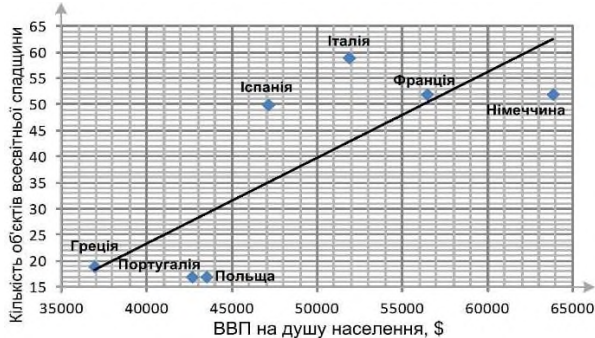


Рисунок 2 – Діаграма розсіювання для європейських країн-лідерів у сфері туризму, яка показує статистичний зв'язок між ВВП на душу населення та кількістю об'єктів всесвітньої спадщини, розташованих у країні

Тому слід максимально консолідувати фахівців і вже зараз розробляти плани реконструкції та реставрації, але ситуацію ускладнено тим, що на сьогодні немає засобів моніторингу і контролю стану історично цінних споруд [10; 14; 16].

Перспективним напрямом розв'язання цієї складної задачі може стати створення інтерактивної мапи пам'яток історії, археології та архітектури України. Вдалий досвід застосування подібного підходу наведено, наприклад, в роботах [9; 15], де йдеться про картографічні проекти фіксації даних про зруйновані та пошкоджені об'єкти цивільної інфраструктури України, а також відомостей щодо відновлювальних робіт. Цікавим також є аматорський досвід, втілений у краєзнавчому сайті про архітектурні та природні пам'ятки України, де авторка сайту систематизує дані про історико-культурну спадщину за результатами власних подорожей [18]. Засновані на використанні технологій online-картографування даних про пам'ятки архітектури, ці проекти стають успішним прикладом візуального подання актуальної тематичної інформації [15].

Для моніторингу стану пам'яток історії, археології та архітектури (ПШАА) при створенні інтерактивної мапи слід урахувати три типи інформації: безпосередньої дані щодо культурної цінності об'єктів спадщини, дані щодо їх місця розташування та дані про їхній стан (попередній і наявний). Це потребує поєднання, узагальнення та систематизації різномірних даних, що із застосуванням ГІС-технологій проводять у такій послідовності (рис. 3): збирання інформації про ПШАА, оцінювання стану ПШАА; верифікація даних та їх візуалізація. Як бачимо, перші три етапи пов'язані з формуванням бази даних щодо стану ПШАА, внутрішній вміст якої регламентують відповідні вимоги згідно з метою її створення.

Дані щодо культурної цінності об'єктів спадщини безпосередньо отримують з архівних фондів і, формуючи перелік ПШАА, корегують з урахуванням відомостей Державного реєстру національного культурного надбання.

Для оцінювання стану ПШАА на другому етапі використовують офіційну інформацію відповідних міністерств та відомств, наприклад, Міністерства культури та інформаційної політики, Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України та ін., а також спираються на інформацію від волонтерів, отриману на засадах краудсорсингу. Це дає змогу швидко отримати дані про пошкоджені ПШАА і сформувати перелік пам'яток для оперативного прийняття рішень про реставрацію та відновлення.

З рис. 3 бачимо, що оцінку стану ПШАА отримують шляхом оброблення значної кількості інформації, яка надходить з різних джерел. Отже, важливим моментом стає її уточнення та верифікація не лише за результатами технічного обстеження об'єктів, а також з використанням даних ДЗЗ. Дистанційні дані охоплюють великі території, зокрема у важкодоступних місцях, що дає змогу визначати зруйновані об'єкти, особливо в динамічних умовах бойових дій, отримувати точну, актуальну та детальну інформацію про стан ПШАА, визначати ті, які потребують першочергової реконструкції або відновлення [15; 19; 20].

Безпосередньо візуалізація одержаних даних відбувається із застосуванням сучасних засобів картографування, наприклад ArcGIS Online (рис. 4). ArcGIS Online – програмне забезпечення, перевагою якого є можливість швидкого додавання нових шарів даних (відповідно до мети моніторингу) і мап, наявність конструкторів web-застосунків, що дає змогу групам людей не лише сумісно використовувати мапу, а й постійно оновлювати й актуалізувати дані, наявність інструментів аналізу із застосуванням моделей Data Science [9; 15] оцінювання стану ПШАА.

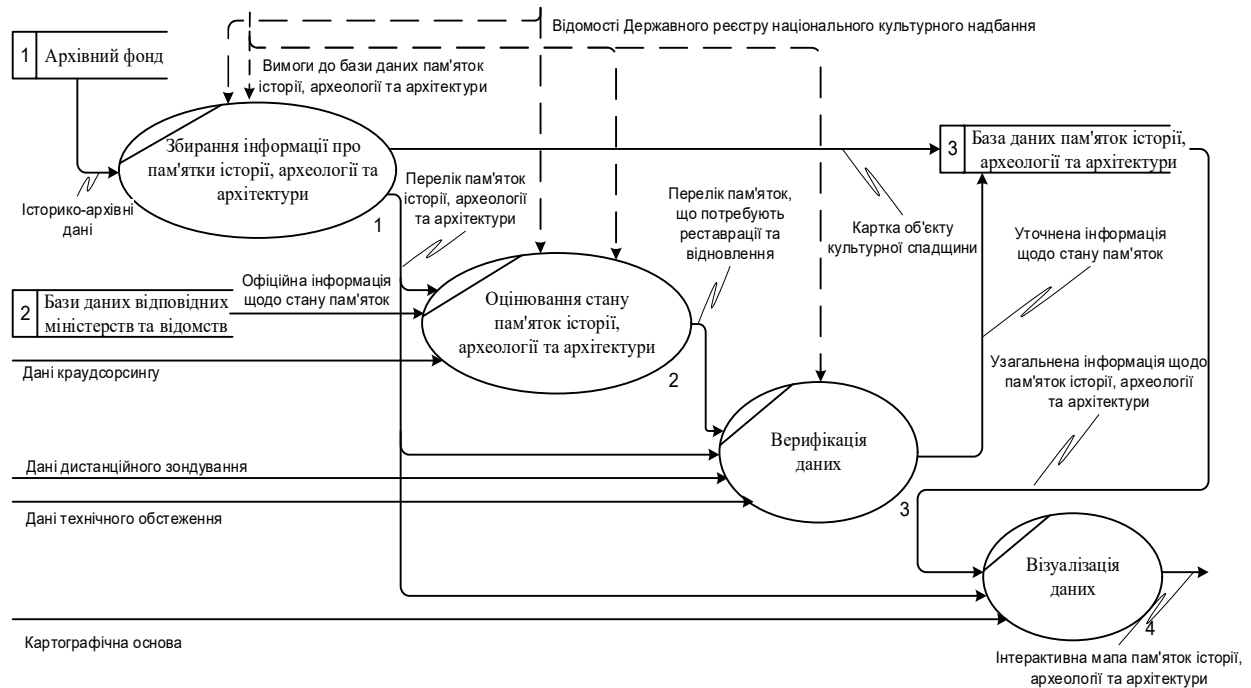


Рисунок 3 – Data Flow Diagram як графічна модель інформаційного процесу створення інтерактивної мапи пам'яток історії, археології та архітектури

Отже, отримана інтерактивна мапа ПІАА (рис. 4) містить актуальну інформацію про кожен об'єкт на карті (історично-культурні відомості, розташування (координати), адресу, стан, дату та дані про ступінь руйнувань, фотографії до руйнування, наслідки руйнування, посилання на джерело інформації про подію тощо). Мапу побудовано так, що є можливість додавання будь-якої іншої кількісної або якісної інформації про ПІАА.

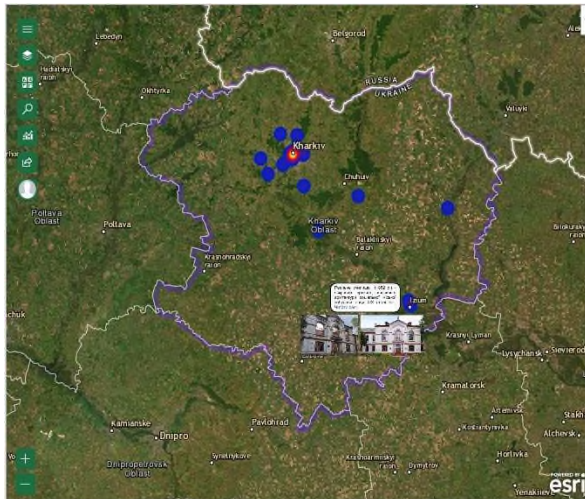


Рисунок 4 – Фрагмент інтерактивної мапи пам'яток історії, археології та архітектури для Харківської області

Дані ДЗЗ і ГІС-технології в процесі розроблення проєкту реставрації пам'яток архітектури

Процес розроблення проєктної документації на збереження пам'яток архітектури регламентують

ДБН А.2.2-14:2016 (зі змінами від 2022 р.), згідно з якими формують сукупність текстових і графічних матеріалів, що визначають архітектурні, містобудівні, інженерні, конструктивні, технологічні та інші рішення, спрямовані на збереження пам'ятки.

Відповідно до ДБН А.2.2-14:2016 науково-проєктні роботи ґрунтуються на комплексному науковому вивченні різної інформації, що поєднує історико-архівні та бібліографічні дослідження (рис. 5), натурні дослідження та вишукування (рис. 6) і камеральні роботи [21].



Рисунок 5 – Зміст і результати етапу історико-архівних та бібліографічних досліджень

Перший етап науково-проєктних робіт (рис. 5) спрямовано на виявлення, збирання, вивчення наявних матеріалів, що стосуються пам'ятки та її

середовища, і їх систематизацію. Зазвичай, цей кропіткий і тривалий етап передбачає роботу з архівними документами, але застосування тут даних ДЗЗ і ГІС-технологій може суттєво пришвидшити процес, підвищити його точність і надати суттєвий обсяг вихідних даних для подальших етапів розроблення проектної документації (таблиця) [14; 21; 22].

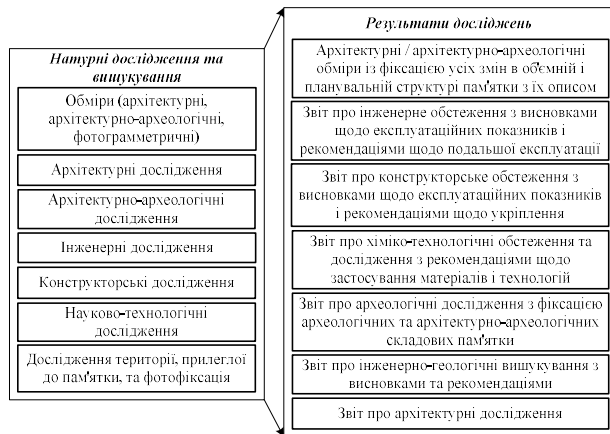


Рисунок 6 – Зміст і результати етапу натурних досліджень і вившукувань

Натурні дослідження і вившукування спрямовані на детальне обстеження історичної пам'ятки та визначення всіх її фізичних властивостей. Цей етап виконують з метою вивчення структури пам'ятки, визначення частин її первинних елементів і пізніших історичних нашарувань, виявлення місць втрачених частин та/або елементів тощо. Тут розробляють плани, фасади, перерізи (перетини) із позначенням місць улаштування зондажів, шурфів для дослідження кладки (мурування), результати яких формують наукову базу з вивчення та систематизації пам'яток [21; 22]. Традиційно оцінку стану історичної пам'ятки отримують на основі візуальних оглядів та обстеження з використанням традиційного геодезичного обладнання. Звичайно, результати подібних інженерних досліджень суттєво залежать від суб'єктивних факторів, у т. ч. від рівня підготовки фахівців, а складність виконання цього етапу призводить до неможливості отримання комплексної оцінки стану всього об'єкта (включаючи археологічні та ландшафтні елементи), фіксації всіх особливостей історичної спадщини, що додатково обмежується слабкою інструментальною базою суб'єктів господарювання у сфері збереження пам'яток та обмеженими можливостями залучення відповідних фахівців [23; 24]. Тому, вважаємо тут також можна та необхідно використовувати сучасні методи і засоби збирання й оброблення інформації, зокрема, супутникові знімки, георадари, безпілотні літальні апарати (БПЛА), лазерні 3D-сканери тощо.

Зокрема, технологія лазерного сканування все частіше привертає увагу реставраторів, дозволяючи отримувати детальну геометрію об'єкта. Як різновид дистанційних методів лазерне сканування підвищує надійність результатів зйомки, збільшуючи вибірку вимірювань, і покращує якість проектної документації [10; 12; 23]. Отримані як вихідні дані результати лазерного сканування та їх поєднання зі знімками, отриманими, наприклад з БПЛА, дають змогу будувати інформаційні тривимірні моделі пам'ятки архітектури з точністю до 2 мм, а їх подальша інтеграція до 3D-моделі рельєфу покращує комплексне сприйняття об'єкта культурної спадщини як природного елемента, розташованого в реальних умовах оточуючого середовища (рис. 7).



Рисунок 7 – Тривимірна модель історичної пам'ятки "Будинок Сурукчі" (м. Харків, вул. Садова, 7)

На заключному етапі після виконання попередніх робіт і створення всіх необхідних креслень, звітів і схем розробляють проект реставрації, що поєднує [21]: пояснювальну записку, креслення, технологію проведення реставраційних робіт, основні положення організації реставрації, відомості про обсяги робіт і необхідну кошторисну документацію. Тут підкреслимо, що однією з багатьох причин занедбаності архітектурних пам'яток України та світу вважають важкість розроблення проектної документації на реставрацію, а також вартість цієї послуги [8; 10; 24]. Отже, дані ДЗЗ та ГІС-технології можуть вивести процес створення документації на новий рівень (таблиця). У таблиці показано, що застосування дистанційних даних та ГІС-технологій вже на початкових етапах спрощує процес розроблення проектної документації на реставрацію пам'яток архітектури. Впровадження нових методів збирання інформації про об'єкт реставрації пришвидшує розроблення проектної документації при одночасному підвищенні її якості та точності.

Таблиця – Можливості використання даних ДЗЗ та ГІС-технологій під час розроблення проєкту реставрації пам'яток архітектури

Етап розроблення проєкту реставрації	Вид даних ДЗЗ і ГІС, можливий для застосування в проєкті	Спосіб використання
Історико-археологічні дослідження	Супутникові знімки, знімки з літака, БПЛА тощо	Аналіз фізико-географічних характеристик пам'ятки архітектури. Виявлення динаміки зміни будівлі та ділянки під нею шляхом порівняння знімків за різні проміжки часу.
Попередні обстеження конструкції	Знімки з літака, БПЛА, хмара точок лазерного сканера або 3D-модель пам'ятки архітектури у форматі *.obj	Обстеження загального стану об'єкта та його окремих елементів, виявлення руйнувань, інвентаризація архітектурних елементів шляхом аналізу знімків або тривимірної моделі пам'ятки архітектури.
Попередні інженерні обстеження	Знімки з літака, БПЛА, хмара точок лазерного сканера або 3D-модель пам'ятки архітектури у форматі *.obj	Аналіз якості інженерних мереж, їх розташування та кількості на основі тривимірної моделі пам'ятки архітектури або її знімків, створення перерізів і креслень інженерних мереж на основі хмари точок лазерного сканера у спеціалізованих програмах, наприклад, AutoCAD або Revit.
Технологічні обстеження	Знімки з літака, БПЛА, хмара точок лазерного сканера або 3D-модель пам'ятки архітектури у форматі *.obj	Виявлення існуючих дефектів і можливих пошкоджень конструкцій, що можуть стати причиною аварійної ситуації шляхом обстеження тривимірної моделі об'єкта та її обмірів.
Фотофіксація	Знімки з літака, БПЛА, хмара точок лазерного сканера або 3D-модель пам'ятки архітектури у форматі *.obj	Складання фотографічних звітів шляхом поєднання знімків, моделі та хмари точок лазерного сканера. Використання хмари точок для створення креслень планів, фотофіксаційних схем тощо.
Обміри для визначення фізичного об'єму	Хмара точок лазерного сканера або 3D-модель пам'ятки архітектури у форматі *.obj	Високоточні обміри будь-яких елементів пам'ятки архітектури на основі хмари точок з похибкою у 2 мм. Створення основних креслень на основі хмари точок.
Обміри фотограмметричні	Знімки з літака, БПЛА, хмара точок лазерного сканера або 3D-модель пам'ятки архітектури у форматі *.obj	Вимірювання всіх необхідних елементів пам'ятки архітектури з використанням хмари точок або моделі. Поєднання хмари точок зі знімками для створення відповідних креслень та планів у спеціалізованих програмах.
Дослідження території, прилеглої до будівлі	Знімки з літака, БПЛА, хмара точок лазерного сканера або 3D-модель пам'ятки архітектури у форматі *.obj	Аналіз прилеглих до ділянки об'єктів шляхом дешифрування їх на знімках або на хмарі точок. Поєднання знімка з хмарою точок для створення точного детального відображення об'єкта в натурі (на місцевості) для проведення кошторисних розрахунків, оцінювання складності робіт тощо.
Усі види обмірів	Тривимірна модель пам'ятки архітектури у форматі *.rfa	Створення креслень планів, перерізів, фасадів або окремих елементів на основі тривимірної моделі пам'ятки архітектури у спеціалізованій програмі, наприклад Revit.
Застосування та візуалізація для прийняття рішень щодо реставрації	Тривимірна модель пам'ятки архітектури у форматі *.rfa	Створення тривимірних моделей елементів із застосуванням вказівок про їх реставрацію. Визначення змін пам'ятки архітектури та їх візуалізація на загальному вигляді.

Висновки

Аналіз світових тенденцій засвідчив, що збереження культурної спадщини вкрай утруднене [2; 10; 16], що потребує впровадження нових підходів і методів, орієнтованих на використання дистанційних даних і ГІС, зокрема для впровадження їх у етапи розроблення проєктної документації на реставрацію пам'яток архітектури.

Підтримуючи ідеї робіт [9; 15; 18] щодо необхідності впровадження систем моніторингу за станом об'єктів культурної спадщини, результати

роботи спрямовані на уніфікацію методів отримання об'єктивних оцінок, які базуються на створенні інтерактивних мап. На відміну від роботи [9], автори удосконалюють метод ідентифікації та верифікації даних про об'єкти культурної спадщини шляхом поєднання дистанційних даних, результатів технічного обстеження та інформації, отриманої методом краудсорсингу. Вперше запропоновано Data Flow Diagram процесу створення інтерактивної мапи пам'яток історії, археології та архітектури, що допускає можливість додавання кількісної або якісної інформації та використовує дані з різних

джерел для отримання об'єктивних висновків про реальний стан пам'яток архітектури.

Досліджено процес розроблення проектної документації на реставрацію пам'яток архітектури та систематизовано його у вигляді функціональних схем. Це дало змогу визначити місце застосування дистанційних даних і ГІС задля покращення всіх етапів створення проекту реставрації. Насамперед завдяки високій реалістичності хмари точок, отриманої з лазерного сканера, а також її поєднанню зі знімками формується точне відображення реального об'єкта у вигляді його тривимірної моделі. На основі цієї моделі можна проводити будь-які види

обмірів і створювати всі необхідні креслення, що суттєво зменшує кількість виїздів на місцевість для отримання інформації про стан (у натурі) або розмір елементів пам'ятки архітектури.

Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України (державний реєстраційний номер проекту 0122U002298) і за підтримки Регіонального центру космічного моніторингу Землі «Слобожанщина».

Особливу подяку висловлюємо Олександрі Воронкіній за практичну реалізацію результатів статті та дослідне підтвердження ефективності висунутих наукових припущень.

Список літератури

1. Reshma M. R., Kannan B., Jagathy Raj V. P., Shailesh S. Cultural heritage preservation through dance digitization: A review. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2023. Vol. 28. Article no. e00257. DOI: 10.1016/j.daach.2023.e00257.
2. Toward sustainable urban growth: Spatial modeling for the impact of cultural and natural heritage on city growth and their role in developing sustainable tourism / R. Al Shawabkeh et al. *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 15. P. 639 – 676. DOI: 10.1016/j.aej.2023.02.001.
3. Zhou W., Song S., Feng K. The sustainability cycle of historic houses and cultural memory: Controversy between historic preservation and heritage conservation. *Frontiers of Architectural Research*. 2022. Vol. 11, is. 6. P. 1030 – 1046. DOI: 10.1016/j.foar.2022.04.006.
4. Silva C., Zagalo N., Vairinhos M. Towards participatory activities with augmented reality for cultural heritage: A literature review. *Computers & Education: X Reality*. 2023. Vol. 3. Article no. 100044. DOI: 10.1016/j.cexr.2023.100044.
5. Tuttur, L. Preservation and Conservation through Cultural Heritage Tourism. Case Study: Musi Riverside Palembang. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 184. P. 104 - 106. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.05.109.
6. Chahardowli M., Sajadzadeh H. A strategic development model for regeneration of urban historical cores: A case study of the historical fabric of Hamedan City. *Land Use Policy*. 2022. Vol. 114. Article no. 105993. DOI: 10.1016/j.landusepol.2022.105993.
7. Російська повномасштабна агресія пошкодила понад тисячу пам'яток культури в Україні. URL: <https://www.radiosvoboda.org/>. (дата звернення: 11.04.2024).
8. Гончаренко Т. А. Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища та розробки цифрових двійників міських об'єктів. *Управління розвитком складних систем*. Київ. 2022. № 51. С. 87 – 93, DOI: 10.32347/2412-9933.2022.51.87-93.
9. Пасько Р. М., Панько О. М., Теренчук С. А. Впровадження цифрових технологій у процес обстеження будівель, майна та об'єктів інфраструктури. *Управління розвитком складних систем*. Київ. 2022. № 49. С. 74–80, DOI: 10.32347/2412-9933.2022.49.74-80.
10. Gomes L., Pereira Bellon O. R., Silva L. 3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*. 2014. Vol. 50. P. 3 - 14. DOI: 10.1016/j.patrec.2014.03.023.
11. Tuhaise V. V., Mbatu Tah J. H., Abanda F. H. Technologies for digital twin applications in construction. *Automation in Construction*. 2023. Vol. 152. Article no. 104931. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104931.
12. Київська К. І., Лузіна Ю. В. Перспективи впровадження BIM-технологій у вітчизняній будівельній галузі. *Управління розвитком складних систем*. Київ. 2021. № 46. С. 63–69. DOI: 10.32347/2412-9933.2021.46.63-69.
13. Modelling the relationship between digital twins implementation barriers and sustainability pillars: Insights from building and construction sector / A.F. Kineber et al. *Sustainable Cities and Society*. 2023. Vol. 99. Article no. 104930. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104930.
14. Malaperdas G., Grethe R., Zacharias N. Depicting the past: The value of old maps and topographic diagrams in cultural heritage through GIS. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2023. Vol. 52. Article no. 104276. DOI: 10.1016/j.jasrep.2023.104276.
15. Даншина С. Ю. ГІС-технології в задачах планування напрямів відбудови міст. *European Scientific e-Journal*. 2024. Issue 28: Actual Issues of Modern Science. С. 63–72, DOI: 10.47451/inn2024-01-01.
16. Збереження архітектурної спадщини України шляхом реконструкції історичних будівель як чинник розвитку ідентичності нації / І. М. Руднева, І. В. Глонь, Т. О. Грабовська, К. І. Пузіна. *Містобудування та територіальне планування*, Київ. 2021. № 77. С. 398 – 409. DOI: 10.32347/2076-815x.2021.77.398-409.
17. Про охорону культурної спадщини: Закон України від 8 червня 2000 р., № 1805-III. *Офіційний вісник України*, 2000, № 27, Ст. 1112, С. 32.
18. Архітектурні та природні пам'ятки України. URL: <https://landmarks.in.ua/> (дата звернення 19.04.2024).

19. Гончаренко О., Денисюк Б., Онищук Т. Відновлення зруйнованої інфраструктури на основі використання оцифрованих даних. *Містобудування та територіальне планування*, Київ. 2023. № 83. С. 74 – 87. DOI: 10.32347/2076-815x.2023.83.74-87.

20. Крицький Д. М., Шкуренко Н. І., Попов О. В., Кравцова О. О. Розроблення програмного забезпечення для сегментації даних по фото та відео інформації. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. Харків. 2023. № 3. С. 61 – 84, DOI: 10.32620/akt.2023.3.07.

21. Склад та зміст науково-проектної документації на реставрацію пам'яток архітектури та містобудування : ДБН А.2.2-14:2016, [Чинний від 2022-09-01], Київ : Мікрорегион України, 2022. 34 с. (Галузевий стандарт України).

22. Bing L., Jian H. Conservation and regeneration of historical buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 787. Article no. 012179. DOI: 10.1088/1755-1315/787/1/012179.

23. Даншина С. Ю., Андреев С. М. Дистанційне зондування як ефективний інструмент проектування доріг. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. Харків. 2023. № 2, С. 75 – 84. DOI: 10.32620/akt.2023.2.08.

24. Бевз М., Лукомський Ю. Сучасні методи архітектурно-археологічних досліджень історико-містобудівних комплексів. *Комплексні наукові дослідження в реставрації пам'яток архітектури*: кол. монографія, за ред. М. Бевза. Львів, Україна: Вид-во «Растр-7», 2022, С. 49 – 60.

Стаття надійшла до редколегії 25.07.2024

Danshyna Svitlana

Doctor of DSc (Eng.), Associate Professor, Department of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, <https://orcid.org/0000-0001-7354-4146>

National Aerospace University “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv

Andriev Sergey

PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, <https://orcid.org/0000-0003-4256-2637>

National Aerospace University “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv

REMOTE DATA IN THE PROCESS OF ARCHITECTURAL MONUMENTS RESTORATION

Abstract. Analysis of statistical data confirms that the preservation of cultural heritage is not only a matter of national authenticity; it is a task, the successful solution of which contributes to the economic well-being and competitive advantage of the country in the world. The purpose of the work is to increase the efficiency of the process of architectural monuments restoration by using of modern means of collecting and processing information on their condition. Restoration, preservation and maintenance of cultural heritage objects are slow and expensive processes, the optimization of which is possible using modern achievements of science and technology. Therefore, at the stage of developing reconstruction and restoration plans, it becomes promising to create monitoring systems for the condition of cultural heritage objects, for example, interactive maps using modern geographic information systems. The Data Flow Diagram has been developed as a graphical model of the information process. It summarizes and formalizes the procedure for integrating disparate data obtained from different sources into a common database of historical, archeological and architectural monuments when creating interactive map. An example of the practical implementation of the developed model is given - a fragment of an interactive map of historical, archeological and architectural monuments of the Kharkov region. It also widely uses remote sensing data and relies on data obtained method crowdsourcing. The requirements of the current legislation in the field of architectural monuments restoration are summarized. The stages where it is possible to facilitate and speed up the process of creating a restoration project by using remote sensing data and GIS are identified and analyzed. Based on the experience of using this data and GIS, it is shown in which works it becomes possible to improve the quality of design documentation, minimize the number of visits of specialists to the restoration site, and quickly create basic drawings.

Keywords: cultural heritage; interactive map; data flow diagram; historical, archaeological and field studies; project documentation

References

1. Reshma, M. R., Kannan, B., Jagathy Raj, V. P., Shailesh, S. (2023). Cultural heritage preservation through dance digitization: A review. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 28, e00257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00257>.

2. Al Shawabkeh, R., AlHaddad, M., Arar, M., Alhammad, R., Alshraah, M., Alhamouri, M. (2023). Toward sustainable urban growth: Spatial modeling for the impact of cultural and natural heritage on city growth and their role in developing sustainable tourism. *Alexandria Engineering Journal*, 15, 639 - 676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.02.001>.

3. Zhou, W., Song, S., Feng, K. (2022). The sustainability cycle of historic houses and cultural memory: Controversy between historic preservation and heritage conservation. *Frontiers of Architectural Research*, 11, 6, 1030–1046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.04.006>.

4. Silva, C., Zagalo, N., Vairinhos, M. (2023). Towards participatory activities with augmented reality for cultural heritage: A literature review. *Computers & Education: X Reality*, 3, 100044. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100044>.

5. Tuttur, L. (2015). Preservation and Conservation through Cultural Heritage Tourism. Case Study: Musi Riverside Palembang. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 184, 104-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.05.109>.
6. Chahardowli, M., Sajadzadeh, H. (2022). A strategic development model for regeneration of urban historical cores: A case study of the historical fabric of Hamedan City. *Land Use Policy*, 114, 105993. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105993>.
7. Rosiiska povnomasshtabna ahresiia poshkodyla ponad tysiachu pamiatok kultury v Ukraini [Russia's full-scale aggression damaged more than a thousand cultural monuments in Ukraine]. Available at: <https://www.radiosvoboda.org/> (Accessed 11.04.2024).
8. Honcharenko, T. (2022). Modern information technologies for simulation of the urban environment and creation of digital duplicate of city objects. *Management of Development of Complex Systems*, 51, 87–93. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93>.
9. Pasko, R., Panko, O., Terenchuk, S. (2022). Digital technologies into process inspection of buildings, property and infrastructure object introducing. *Management of Development of Complex Systems*. 49, 74–80, DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.74-80>.
10. Gomes, L., Pereira Bellon, O. R., Silva, L. (2014). 3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*, 50, 3-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.03.023>.
11. Tuhaise, V. V., Mbatu Tah, J. H., Abanda, F. H. (2023). Technologies for digital twin applications in construction. *Automation in Construction*, 152, 104931. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104931>.
12. Kyivska, K., Luzina, Yu. (2021). Prospects for the implementation of BIM-technologies in the domestic construction industry. *Management of Development of Complex Systems*, 46, 63–69, DOI: <https://doi.org/10.32347/10.32347/2412-9933.2021.46.63-69>.
13. Kineber, A. F., Singh, A. K., Fazeli, A., Mohandes, S. R., Cheung, C., Arashpour, M. (2023). Modelling the relationship between digital twins implementation barriers and sustainability pillars: Insights from building and construction sector. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104930. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104930>.
14. Malaperdas, G., Grethe, R., Zacharias, N. (2023). Depicting the past: The value of old maps and topographic diagrams in cultural heritage through GIS. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 52, 104276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104276>.
15. Danshyna, S. (2024). GIS technologies for urban restoration planning tasks. *European Scientific e-Journal*, 28: Actual Issues of Modern Science, 63–72, DOI: <https://doi.org/10.47451/inn2024-01-01>.
16. Rudnieva, I., Glon, I., Grabovskaya, T., Puzina, K. (2021). Conservation of the architectural heritage of Ukraine through reconstruction of historical buildings as a factor of the national identity development. *Urban development and spatial planning*, 77, 398–409. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.398-409>.
17. On Protection of Cultural Heritage: Law of Ukraine of June 8, 2000, no. 1805-III. (2000). *Ofitsiyniy visnyk Ukrainy* 27, 1112, 32. (In Ukrainian).
18. Arkhitekturni ta pryrodni pamiatky Ukrainy [Architectural and natural attractions of Ukraine]. Available at: <https://landmarks.in.ua/> (Accessed 19.04.2024).
19. Honcharenko, O., Denysiuk, B., Onyshchuk, T. (2023). Restoration of the destroyed infrastructure based on the use of digital data. *Urban development and spatial planning*, 83, 74–87. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.74-87>.
20. Kritskiy, D., Shkurenko, N., Popov, O., Kravtsova, O. (2023). Development of software for data segmentation by photo and video information. *Aerospace technic and technology*, 3, 61–84, DOI: <https://doi.org/10.32620/akt.2023.3.07>.
21. *Building Code A.2.2-14:2016*. (2022). *The composition and the content project documentation for preservation (restoration) of architectural monuments and urban sites*. Kyiv, Ministry of the Region of Ukraine, 34. (In Ukrainian).
22. Bing, L., Jian, H. (2021). Conservation and regeneration of historical buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 787, 012179. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/787/1/012179>.
23. Danshyna, S., Andrieiev, S. (2023). Remote sensing as effective road project tool. *Aerospace technic and technology*, 2, 75–84, DOI: <https://doi.org/10.32620/akt.2023.2.08>.
24. Bevz, M., Lukomskyi, Yu. (2022). Modern methods of architectural and archaeological investigations of historical urban complexes. Comprehensive scientific research in conservation of architectural monuments: collective monograph, edited by M. Bevz, 49–60. Lviv, Edit. «Rastr-7».

Посилання на публікацію

- APA Danshyna, S. & Andrieiev, S. (2024). Remote data in the process of architectural monuments restoration. *Management of Development of Complex Systems*, 59, 138–147, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.138-147](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.138-147).
- ДСТУ Даншина С. Ю., Андреев С. М. Дистанційні дані в процесі реставрації пам'яток архітектури. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 59. С. 138 – 147, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.138-147](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.138-147).