

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.441-457

УДК 528.7+911.3

к.т.н. Гончерюк О.М.,

o.honcheriuk@chnu.edu.ua, код ORCID: 0009-0004-0803-0105,
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ФОТОГРАМЕТРИЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ В УМОВАХ ВІЙНИ

Актуальність теми дослідження. Одна із ключових цілей сьогодення – деокупація територій України із подальшою відбудовою населених пунктів та збереженням культури. Адже, культура це один із вагомих аспектів який ідентифікує народ країни. Основне надбання народу – його культурна спадщина (духовна та матеріальна), отримана від попередніх поколінь, а саме пам'ятки, історико-культурні об'єкти й ландшафти, які зберегли свою автентичність та етнокультурну унікальність. Означені пам'ятки локалізовані по всій території України, включно з тимчасово окупованими територіями, де вони зазнали значних пошкоджень або знищення, особливо через збройну агресію. Для подальшого збереження та відновлення/реконструкції розглянуто переваги та підходи до цифрового фотограмметричного знімання під час війни. Широке впровадження у сферу наземної фотограмметрії цифрових фотокамер призвело до появи та розроблення принципово нових методик та технологій фотограмметричних робіт.

Процес наземного цифрового фотограмметричного знімання має низку економічних переваг на етапах збору, обробки та документування даних щодо пам'яток архітектури. Традиційні фотограмметричні роботи можна провести звичайними цифровими камерами, вартість яких значно нижча у порівнянні з лазерним скануванням. Наведені економічні переваги роблять цифрове наземне фотограмметричне знімання доступним методом для організацій, що займаються збереженням культурної спадщини, особливо за умов обмеженого фінансування.

Ключові слова: пам'ятка архітектури; наземне цифрове фотограмметричне знімання (НЦФЗ); моніторинг; 3D модель.

Аналіз останніх досліджень. Проблемі моніторингу пам'яток архітектури засобами наземної фотограмметрії приділено значну увагу у роботах вітчизняних та закордонних вчених. Зокрема, О.Л. Дорожинським, встановлено новітні методи збору та обробки фотограмметричних даних, які дозволили

підвищити точність і ефективність картографування і заклали підґрунтя для подальшої інтеграції комп'ютерних технологій у фотограмметрію. Це дозволило перейти від традиційних аналітичних методів до цифрової обробки даних, що значно прискорило та підвищило точність знімання[4]. В.М. Готовим розроблено алгоритми для точного визначення просторових координат об'єктів на основі фотознімків. Його дослідження сприяли впровадженню новітніх цифрових технологій у практику створення карт і тривимірних моделей[6]. Такі моделі призначено для збереження історичних будівель шляхом аналізу архітектурних деталей, документування геометричних параметрів споруд, моніторингу деформаційних процесів та ін. Л.І. Івановою досліджено застосування фотограмметричних методів при вимірюваннях складних криволінійних поверхонь, що є важливим для аналізу та проектування будівель і інженерних конструкцій[49]. В.О. Катушковим в [9] пропонується модель дистанційних вимірювань у будівництві та архітектурі, яка дозволяє з високою точністю проводити аналіз і моделювання структур на основі цифрових зображень. Це значно спрощує та прискорює процес отримання геометричних даних для проектів, пов'язаних із моніторингом та реставрацією об'єктів. С.Г. Могильним в [35,36] здійснено дослідження технології обробки зображень, автоматизацію процесів збору даних та вдосконалення алгоритмів моделювання точних тривимірних об'єктів на основі цифрових знімків.

А. Gruen в [37] розробив методи самокалібрування камер і інтегруванні їх систем з навігацією GPS, що підвищило точність і надійність вимірювань.

S.F. El-Nakim запропонував методику створення точних віртуальних середовищ, підвищуючи реалістичність 3D-моделей, що використовуються в різних програмах[38,39]. F. Remondino з'ясував поточний стан і майбутні перспективи використання платформ безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для картографування та 3D-моделювання [41]. Т. Luhmann з'ясовано напрями удосконалення методів 3D-моделювання за даними фотографічних зображень. Набули подальшого розвитку алгоритми автоматичної кореляції зображень та визначення точок у просторі. Серед ключових досягнень можна виокремити доповнення методів мультикамерної фотограмметрії, що дозволяє одночасно синхронізувати кілька камер для зйомки об'єкта з різних ракурсів. Означений підхід з високою точністю та мінімальними затримками забезпечує отримання тривимірних моделей кінетичного об'єкта, що важливо в процесах моніторингу деформацій або вимірювань в реальному часі [43].

Ф. Меппа спеціалізується на застосуванні фотограмметрії в підводному середовищі, де традиційні методи збору даних складні через оптичні заломлення (спотворення) світла у воді. Ним розроблено методи створення

точних тривимірних моделей підводних об'єктів, таких як археологічні знахідки, коралові рифи або інженерні споруди[47].

Т. Kersten розроблено методи створення 3D моделей з використанням доступного обладнання звичайних цифрових камер або смартфонів [48]. Це робить фотограмметрію доступною для археологів та істориків з обмеженим бюджетом. З-поміж активних дослідників означеної проблематики варто виокремити L. Barazzetti, M. Scaioni, P. Patias, A. Capra, P. Grussenmeyer, G. Tucci, A. Georgopoulos та ін.

Серед відомих організацій, діяльність яких співпадає з головним напрямком дослідження, слід виділити: The International Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA) (займається просуванням інноваційних рішень для документування культурних об'єктів, таких як використання БПЛА, цифрової фотограмметрії та інших інструментів, а також надає технічну допомогу та поради щодо впровадження цих технологій в сферу збереження культурної спадщини), International Council of Monuments and Sites (ICOMOS) (створює міжнародні стандарти та рекомендації з охорони, реставрації та управління об'єктами культурної спадщини. Основним документом є Венеціанська хартія, яка регулює принципи реставрації пам'яток) та ISPRS WGII/8 –Data Acquisition and Processing in Cultural Heritage (впроваджує новітні технології, такі як лідар (Light Detection and Ranging), дистанційне зондування, геоінформаційні системи (ГІС), а також віртуальну та доповнену реальність (VR/AR) для реконструкції та візуалізації культурних об'єктів.).

Прикладами успішного світового застосування наземного цифрового фотограмметричного знімання для збереження культурної спадщини є:

1. Собор Паризької Богоматері, Франція. Після пожежі 2019 р. фотограмметрія використовувалася для створення детальної 3D-моделі будівлі. За цими даними здійснювалися реставраційні заходи відтворення втрачених елементів[23, 24].

2. Стоунхендж, Великобританія. Детальне фотограмметричне знімання дозволило створити точну цифрову копію пам'ятки. Систематично проводиться моніторинг стану каменів та планування консерваційних заходів[25].

3. Статуя Давида Мікеланджело, Італія. Фотограмметричні методи використано для створення міліметрово точною 3D-моделі. Порівняльний аналіз поточних моделей із створеною дозволяє відстежувати та виявляти найменші зміни в стані мармуру для планування превентивних заходів.

4. Ангкор-Ват, Камбоджа. Великомасштабний проект з використанням БПЛА і наземної фотограмметрії. Створено детальні 3D-моделі храмового комплексу, що допомагає в реставрації та археологічних дослідженнях.

5. Пальміра, Сирія. Після руйнувань, спричинених війною, фотограмметричні дані використовувалися для віртуальної реконструкції втрачених пам'яток, що допоможе спланувати майбутню фізичну реконструкцію.

6. Помпеї, Італія. Регулярне фотограмметричне знімання використовується для моніторингу стану розкопок. Це дозволяє швидко виявляти ділянки, що потребують консервації.[27]

Постановка проблеми. За період з 24 лютого 2022 р. до 1 серпня 2024 р. Російська Федерація зруйнувала або пошкодила 1096 об'єктів культурної спадщини України. Серед них: 121-пам'ятку національного значення, 892-місцевого, та 83 щойно виявлених об'єкти культурної спадщини [11]. Про це повідомляє Міністерство культури та стратегічних комунікацій України[10].

Серед пошкоджених об'єктів: 316 - пам'яток архітектури та містобудування, 307 - пам'яток архітектури, 226 – історичних об'єктів, 61 – архітектури, містобудування та історії, 56 – археологічних пам'яток, 39 – об'єктів архітектури та історії, 21 – монументального мистецтва, 19 – містобудування та монументально-декоративного мистецтва, 7 – об'єктів архітектури та монументального мистецтва, 5 – містобудування, 2 – науки і техніки, архітектури, 1 – архітектури та містобудування і монументального мистецтва, 1 – архітектури та садово-паркового мистецтва.

Найбільше пошкоджених або зруйнованих об'єктів культурної спадщини зафіксовано в Харківській області (299), Херсонській (144), Донецькій (125), Одеській (115), Чернігівській (71), а також у м. Києві та Київській області (69).

Крім того, постраждала культурна спадщина в Миколаївській (44), Запорізькій (44), Львівській (36), Дніпропетровській (34), Луганській (30), Сумській (25), Хмельницькій (10), Полтавській (6), Вінницькій (4), Житомирській (4), Кіровоградській (1) та Черкаській (1) областях[12].

Дані міністерства не точні та не остаточні, адже на окупованих територіях немає можливості здійснити моніторинг злочинів з боку росії, які тривають досі.

Архітектурні пам'ятки часто є туристичними принадами, що приносять прибуток у регіон. Їх знищення під час війни негативно впливає на туристичний сектор, позбавляючи регіони джерел доходу. Після війни, відновлення зруйнованих об'єктів потребуватиме значних фінансових ресурсів, що стає важким тягарем для економіки.

В деяких пам'ятках архітектури розташовано освітні заклади, а їх руйнування призводить до негайного припинення навчального процесу. Втрата таких будівель обмежує доступ дітей до освіти, що може мати довгострокові наслідки для їхнього розвитку та майбутнього. Зокрема, перебої в навчанні

можуть знижувати якість освіти, а пошук тимчасових приміщень в умовах війни часто складний.

Також такі об'єкти нерідко використовуються як громадські центри або офіси для державних та соціальних організацій. Їх знищення підриває роботу таких установ, які можуть надавати життєво важливі послуги населенню. Це особливо критично під час війни, коли медична допомога, підтримка для сімей і дітей, гуманітарні послуги стають ще більш необхідними.

Отже, руйнування пам'яток архітектури під час війни має багатоаспектні наслідки, що негативно впливають на освітню, соціальну, економічну, культурну сфери життя та міжнародні відносини. Це посилює загальну нестабільність у суспільстві і створює додаткові виклики для відновлення після війни. Це не лише фізична втрата, але й руйнація символів, що об'єднують суспільство і передають його історичні цінності.

Виклад основного матеріалу. Україна є учасницею Конвенції про захист культурних цінностей у разі збройного конфлікту від 14 травня 1954 р. Згідно зі статтею 3 цієї Конвенції, Високі Договірні Сторони зобов'язані ще в мирний час забезпечувати охорону культурних цінностей на своїй території, вживаючи необхідних заходів для їх захисту від можливих наслідків збройного конфлікту [10].

Нажаль війна руйнує все навколо, в тому числі культурну спадщину українського народу, яка нашими пращурами накопичувалася століттями. Дана проблема стимулює актуальність пошуку методів збору інформації та документування пам'яток, одним з яких є цифрове наземне знімання.

Наземне цифрове фотограмметричне знімання (НЦФЗ) та лазерне сканування – два популярних методи документування пам'яток архітектури. Обидва методи мають свої переваги, проте відрізняються вартістю, обладнанням і вимогам до процесу.

Спершу розглянемо вартість обладнання для наземного цифрового фотограмметричного знімання:

- цифрові фотокамери DSLR або без дзеркальні камери вартістю від 1000 до 3000 \$, також доцільно брати до уваги мобільні телефони в яких вмонтовані якісні фотокамери, що значно зменшує вартість 500 до 1000 \$;

- ширококутні об'єктиви можуть коштувати від 500 до 2000 \$;

- штативи для стабільного знімання – від 100 до 500 \$;

- вартість БПЛА для знімання важкодоступних частин може становити від 1000 до 5000 \$ (за необхідності);

- професійні програми для обробки фотограмметричних даних, як-от PhotoModeler або 3D Image Masterз вартістю ліцензії від 1000 до 5000 \$.

Існують безкоштовні аналоги, такі як Meshroom, однак можуть мати обмежені функції.

Середня вартість обладнання для НЦФЗ може складати від 4000 до 12 000 \$.

Для лазерного сканування вартість наступна:

- професійні лазерні сканери, такі як FARO Focus або Leica BLK360, можуть коштувати від 30 000 до 100 000 \$;
- треноги, батареї та інші аксесуари можуть додати ще від 1000 до 5000 \$;
- обробка даних лазерного сканування потребує професійних програм, таких як FAROSCENE або Leica Cyclone, які коштують від 5000 до 10 000 \$ за ліцензію.

Середня вартість обладнання для лазерного сканування може складати від 40 000 до 120 000 \$.

НЦФЗ менш трудомістке і може бути виконано за кілька годин або днів. Вартість залежить від розміру та складності об'єкта. У середньому, роботи зі збору даних можуть вартувати від 500 до 2000 \$ за день, включаючи оплату праці команди та витрати на обладнання. Обробка зображень для створення 3D моделей може зайняти кілька годин або днів, а вартість обробки може становити 300-1500 \$, залежно від об'єму даних та обраного програмного забезпечення. В середньому, загальна вартість робіт для НЦФЗ може коливатися від 1000 до 5000 \$ за проєкт.

Лазерне сканування зазвичай триває довше і є дорожчим через високу вартість обладнання та складність робіт. Вартість робочого дня лазерного сканування може сягати від 3000 до 8000 \$, залежно від складності об'єкта та умов на місці. Обробка хмари точок і створення моделей з лазерних даних потребує великих ресурсів і часу. Це може коштувати від 2000 до 10 000 \$, залежно від обсягу даних. Загальна вартість робіт для лазерного сканування може становити від 5000 до 20 000 \$ за проєкт.

Що стосується точності то, НЦФЗ дозволяє отримувати високу точність і деталізацію 3D моделей, особливо при правильному налаштуванні камер і обробці зображень. Однак точність може поступатися лазерному скануванню у складних об'єктах або на великих відстанях. Точність НЦФЗ зазвичай знаходиться в межах 1-5 мм, що є достатнім для багатьох архітектурних об'єктів.

Лазерне сканування забезпечує максимальну точність і деталізацію, особливо для складних геометричних форм та поверхонь. Точність лазерного сканування зазвичай досягає 1 мм або менше, що робить його незамінним для високоточних вимірювань. Цей метод дозволяє отримати надзвичайно щільні хмари точок і відтворити навіть найдрібніші деталі пам'яток архітектури.

Швидкість збору даних. Процес зйомки НЦФЗ є відносно швидким. Для збору даних об'єкта середнього розміру потрібно від кількох годин до одного дня. Використання БПЛА дозволяє ще швидше отримати зображення важкодоступних частин об'єкта. Лазерне сканування зазвичай займає більше часу для налаштування та збирання даних, особливо якщо об'єкт має складну геометрію. Збір даних може тривати від кількох годин до кількох днів.

Таблиця 1.

Порівняльна таблиця НЦФЗ та лазерного сканування

Параметри	НЦФЗ	Лазерне сканування
Вартість обладнання	4000 – 12 000 \$	40 000– 120 000 \$
Вартість збору даних	500– 2000 \$/день	3000– 8000 \$/день
Вартість обробки даних	300 – 1500 \$	2000 – 10 000 \$
Загальна вартість проєкту	1000 – 5000 \$	5000 – 20 000 \$
Точність	1-5 мм	>1 мм
Швидкість збору даних	Швидше	Повільніше

Технології НЦФЗ – важливий інструмент для моніторингу пам'яток архітектури, особливо в умовах війни. Ключовими аспектами цієї технології є:

1. Основні принципи:

- отримання серії поздовжніх та поперечно перекритих фотозображень об'єкту з різних ракурсів;
- використання алгоритмів комп'ютерного зору для створення 3D-моделей.

2. Обладнання:

- високоякісні цифрові камери (DSLR або без дзеркальні);
- ширококутні об'єктиви для кращого охоплення;
- штативи для стабілізації;
- БПЛА/дрони для зйомки важкодоступних місць (за можливості).

3. Методика зйомки:

- систематичне фотографування об'єкта з перекриттям знімків 60-80 %;
- зйомка при рівномірному освітленні для уникнення затінення;
- використання маркерів або масштабних лінійок для точного визначення геометрії елементів.

4. Програмне забезпечення:

- Australis (Австралія) [31];
- 3D Image Master (Японія);
- PhotoModeler (Канада) [32].

5. Переваги в умовах війни:

- оперативність збору даних (важливо при обмеженому доступі до об'єкта);

- портативність (компактність) обладнання (легко евакуувати);
 - безконтактний метод (безпечніший в нестабільних умовах);
 - відносно низька вартість порівняно з лазерним скануванням.
6. Застосування для моніторингу:
- регулярна зйомка для відстеження змін у стані пам'ятки;
 - створення детальних 3D-моделей для документації;
 - виявлення дрібних пошкоджень та деформацій;
 - планування реставраційних робіт.
7. Інтеграція з іншими технологіями:
- поєднання з даними лазерного сканування для підвищення точності;
 - використання з ГІС для просторового аналізу;
 - створення ортофотопланів фасадів.
8. Особливості використання в зоні конфлікту:
- необхідність швидкого розгортання та згортання обладнання;
 - важливість резервного копіювання даних на місці;
 - можливість роботи без підключення до мережі Інтернету.
9. Обробка та аналіз даних:
- створення щільних хмар точок;
 - побудова полігональних 3D-моделей;
 - текстурування моделей для реалістичного відображення;
 - порівняння моделей різних періодів для виявлення змін.
10. Виклики:
- забезпечення безпеки персоналу під час зйомки;
 - обмежений доступ до об'єктів у зоні бойових дій;
 - необхідність швидкої обробки великих обсягів даних.

НЦФЗ – ефективний метод моніторингу пам'яток архітектури в умовах війни, що забезпечує баланс між точністю, швидкістю та безпекою збору даних. Це дозволяє своєчасно документувати стан об'єктів та планувати заходи щодо їх збереження в складних умовах.

Специфіка застосування НЦФЗ в умовах військового конфлікту має ряд особливостей та викликів, а саме:

1. Безпека персоналу:
 - пріоритет надається безпеці команди, що виконує зйомку;
 - необхідність швидкого реагування на зміну ситуації;
 - використання захисного спорядження (бронежилети, каски).
2. Обмежений час доступу:
 - зйомка повинна бути виконана максимально швидко;
 - оптимізація маршрутів та планів зйомки заздалегідь;
 - можливе використання декількох операторів одночасно.

3. Роботи в умовах пошкоджених об'єктів:
 - оцінка структурної цілісності будівель перед зйомкою;
 - особлива увага до фіксації пошкоджень та руйнувань;
 - адаптація методики зйомки до нестандартних умов (завали, частково зруйновані елементи).
4. Автономність роботи:
 - використання портативних джерел живлення;
 - наявність резервного обладнання;
 - можливість обробки даних без підключення до мережі.
5. Координація з військовими та рятувальними службами:
 - отримання дозволів на роботу в зоні конфлікту;
 - узгодження часу та місця проведення робіт;
 - потреба супроводу для забезпечення умов безпеки.
6. Специфіка обладнання:
 - використання легкого та компактного обладнання для швидкої евакуації;
 - захист техніки від пилу, вологи та механічних пошкоджень;
 - перевага надається обладнанню з швидкою заміною акумуляторів.
7. Документування контексту:
 - фіксація не лише самої пам'ятки, але й навколишнього середовища;
 - документування тимчасових захисних конструкцій;
 - зйомка об'єктів для криміналістичних цілей (докази воєнних злочинів).
8. Оперативна обробка даних:
 - попередня обробка даних на місці для перевірки якості;
 - швидке створення базових моделей для оцінки стану об'єкта;
 - забезпечення надійного резервного копіювання даних.
9. Етичні аспекти:
 - врахування чутливості інформації (наприклад, місцезнаходження схованок);
 - дотримання принципів документування культурної спадщини в зонах конфлікту.
10. Інтеграція з іншими методами моніторингу:
 - комбінування з даними аерофотозйомки з БПЛА/дронів (якщо можливо);
 - використання портативних лазерних сканерів для критичних ділянок;
 - поєднання з методами неруйнівного контролю для оцінки структурної цілісності.

11. Планування на випадок неможливості повторного доступу:

- максимально повна фіксація об'єкта за один візит;
- створення детальних метаданих для майбутнього аналізу;
- підготовка до можливої віртуальної реконструкції у випадку

повного руйнування пам'ятки.

Застосування фотограмметрії в умовах військового конфлікту вимагає особливої підготовки, гнучкості та уваги до безпеки, але залишається цінним інструментом для збереження інформації про культурну спадщину в екстремальних умовах.

Наведені приклади демонструють, як фотограмметрія стала незамінним інструментом у збереженні культурної спадщини, особливо в складних умовах або для об'єктів, що знаходяться під загрозою. Технологія дозволяє не лише документувати поточний стан пам'яток, але й планувати їх збереження та реставрацію, а також створювати цифрові архіви для майбутніх поколінь.

Висновки. Збереження історико-культурної спадщини – одне з ключових завдань будь-якої держави. Моніторинг пам'яток архітектури шляхом НЦФЗ слугуватиме основою створення детальної документації по збереженню культурної спадщини, навіть якщо вона пошкоджена чи знищена, надає швидку оцінку визначення масштабних збитків та пріоритетність (черговість) для післявоєнного відновлення. Даний вид робіт формує переконливу доказову базу для міжнародних судових процесів. Аналіз впливу воєнних дій на різні типи архітектурних споруд та розробка методів їх захисту, освітня та культурна дипломатія сприяють міжнародній співпраці у сфері захисту культурної спадщини. Обґрунтування реставраційних проєктів на основі даних, одержаних з використанням НЦФЗ полегшить отримання міжнародної допомоги на реставрацію, а отже й пришвидшить економічний аспект відновлення туристичної галузі.

Тому наземне цифрове фотограмметричне знімання є ефективним інструментом у контексті збору та обробки даних про пам'ятки архітектури, особливо в умовах війни. Це метод, що поєднує точність, швидкість і відносну економічність. Вартість залежить від складності проєкту, але порівняно з іншими технологіями, як-от лазерне сканування, фотограмметрія пропонує доступні рішення.

Література

1. Шульц Р.В. Білоус М.В., Гончерюк О.М. Моніторинг пам'яток архітектури за допомогою даних наземного лазерного сканування. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2017. Вип. 46. С. 202-207.

2. Шульц Р.В. Білоус М.В., Ковтун В.Я., Куліченко Н.В., Гончерюк О.М. Нові можливості технології наземного лазерного сканування для завдання збереження пам'яток архітектури. *Перезавантаження будівництва: економіка, організація, 150 менеджмент:*

матеріали міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ, 12-14 лист. 2016 р.). Київ: Віпол, 2016. С. 138-139.

3. Гончерюк О.М. Моделювання історичних будівель у програмі Photomodeler. *ГЕОПРОСТІР 2017*: матеріали міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ, 4-6 груд. 2017 р.). Київ: Sky-Solutions, 2017. С. 16-22.

4. Дорожинський О.Л. Аналітична та цифрова фотограмметрія. Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2002. 163с.

5. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії. Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2003. 195с.

6. Глотов В.М., Пацетник О.Д. Способи визначення елементів внутрішнього орієнтування та дисторсії об'єктивів цифрових неметричних знімальних камер: монографія Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 104 с.

7. Глотов В.М. Розробка та дослідження фототеодоліта на базі неметричної камери «КІЇВ-6С» та оптичного теодоліта ТНЕО-010В. *Вісник геодезії та картографії*. 1998. №1. С. 27-29.

8. Катушков В.О., Сулима В.О., Шульц Р.В., Денисюк Б.І. Цифрова фотограмметрія. Обробка сканерних знімків на цифрових фотограмметричних станціях: навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2006. 148с.

9. Катушков В.О. Методи і моделі дистанційних вимірювань у будівництві: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.24.01 / Київ. нац. універ. буд. і архіт. Київ, 2011. 31 с.

10. Міністерство культури та стратегічних комунікацій України, доступ [«https://mcs.gov.ua»](https://mcs.gov.ua).

11. Більше 1000 пам'яток культури постраждали в Україні від війни, частина не зворотньо, 06.09.2024. Доступ [«https://credo.pro/2024/09/371301»](https://credo.pro/2024/09/371301)

12. Міністерство культури та стратегічних комунікацій України, доступ [«Через російську агресію в Україні постраждало 1062 пам'ятки культурної спадщини»](https://mcs.gov.ua/news/через-російську-агресію-в-україні-постраждало-1062-пам'ятки-культурної-спадщини), 06.05.2024, доступ [«https://mcs.gov.ua/news/через-rosijsku-agresiyu-v-ukrayini-postrazhdalo-1062-ramyatku-kulturnoyi-spadshhyny/»](https://mcs.gov.ua/news/через-rosijsku-agresiyu-v-ukrayini-postrazhdalo-1062-ramyatku-kulturnoyi-spadshhyny/)

13. Alby E., Elter R., Ripoche C., Quere N. Close range photogrammetry applied to the documentation of an archaeological site in Gaza Strip, Palestine. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 19-24. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-19-2013>

14. Balta H.B., Hamamcioglu-Turan M., Ocali O. Three dimensional modeling via photographs for documentation of a village bath. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 79-84. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-79-2013>

15. D'Annibale E., Tassetti A.N., Malinverni E.S. From panoramic photos to a low-cost photogrammetric workflow for cultural heritage 3D documentation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 213-218. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-213-2013>

16. Hassani F., Rafiee M. An experience in cultural heritage documentation in Iran using a low-cost technique. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 313-318.

17. Patias P., Kaimaris D., Georgiadis Ch., Stamnas A., Antoniadis D., Papadimitrakis D. 3D mapping of cultural heritage: special problems and best practices in extreme case-studies. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. II-5/W1. P. 223-228. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-223-2013>

18. Koehl M., Roussel F. Procedural modelling for reconstruction of historic monuments. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2015. Vol. II-5/W3. P. 137-144, <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-137-2015>

19. Hassani F. Documentation of cultural heritage; techniques, potentials, and constraints. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2015. Vol. XL-5/W7. P. 207-214. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-207-2015>
20. Murtiyoso A., Koehl M., Grussenmeyer P., Freville T. Acquisition and processing protocols for UAV images: 3D modeling of historical buildings using photogrammetry. // *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2017. Vol. IV-2/W2. P. 163-170. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-163-2017>
21. Bolognesi M., Furini A., Russo V., Pellegrinelli A., Russo P. Testing the low-cost RPAS potential in 3D cultural heritage reconstruction. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2015. Vol. XL-5/W4. P. 229–235. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-229-2015>
22. ElMustapha Mouaddib, Anthony Pamart, Marc Pierrot-Deseilligny, Daniel Girardeau-Montaut. 2D/3D data fusion for the comparative analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris before and after the fire. *Journal of Cultural Heritage* Volume 65, January–February 2024, Pages 221-231. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207423001073>
23. Kévin Jacquot, Renato Saleri. Gathering, integration, and interpretation of heterogeneous data for the virtual reconstruction of the Notre Dame de Paris roof structure. *Journal of Cultural Heritage* Volume 65, January–February 2024, Pages 232-240. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207423001103>
24. S. Mays, D. Roberts, P. Marshall, A.W.G. Pike, V. VanHeekeren, C. Bronk Ramsey, E. Dunbar, P. Reimer, B. Linscott, A. Radini, A. Lowe, A. Dowle, C. Speller, J. Vallender, J. Bedford. Lives before and after Stonehenge: An osteobiographical study of four prehistoric burials recently excavated from the Stonehenge World Heritage Site. *Journal of Archaeological Science: Reports* Volume 20, August 2018, Pages 692-710. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352409X18302128>
25. Sara Cucchiaro, Daniel, J. Fallu, Pengzhi Zhao, Clive Waddington, David Cockcroft, Paolo Tarolli, Antony G. Brown. Chapter 6 - SfM photogrammetry for GeoArchaeology. *Developments in Earth Surface Processes* Volume 23, 2020, Pages 183-205. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444641779000060>
26. Michele Monego, Caterina Previato, Leonardo Bernardi, Andrea Menin, Vladimiro Achilli. Investigating Pompeii: Application of 3D geomatic techniques for the study of the Sarno Baths. *Journal of Archaeological Science: Reports* Volume 24, April 2019, Pages 445-462. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352409X18303183>
27. Leonardo Bernardi, MariaStella Busana, Vanessa Centola, Claudia Marson, Luca Sbrigiò. The Sarno Baths, Pompeii: Architecture development and 3D reconstruction. *Journal of Cultural Heritage* Volume 40, November–December 2019, Pages 247-254. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207418305818>
28. G. Bitelli, V. A. Girelli, M. Marziali, A. Zanutta USE OF HISTORICAL IMAGES FOR THE DOCUMENTATION AND THE METRICAL STUDY OF CULTURAL HERITAGE BY MEANS OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUES. XXI International CIPA Symposium, 01-06 October, Athens, Greece. <https://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/5-c53/papers/FP028.pdf>
29. Users Manual for iWitness™ Version 1.107, Australia. URL: www.photometrix.com.au, (дата звернення: 9.02.2006).
30. Camera Calibrator User Manual, Australia, Version 2.0. URL: http://www.photometrix.com.au/downloads/calibrator/CameraCalibrator_V2_Use_Manual.pdf (дата звернення: 10.05.2016).
31. Walford A. One part in 300,000. Precision and accuracy discussion. Eos Systems Inc. URL: <https://www.photomodeler.com/applications/documents/Precision.pdf>. (дата звернення: 20.02.2019).

32. Sužiedelytė-Visockienė J. Photogrammetry requirements for digital camera calibration applying Tcc and MatLab software. *Geodesy and Cartography*. 2012. 38(3). P. 106–110. <https://doi.org/10.3846/20296991.2012.728895>
33. Scaramuzza D., Martinelli A., Siegwart R. A toolbox for easy calibrating omnidirectional cameras. *IROS 2006: Proceedings to IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, 7–15 October, 2006*. <https://doi.org/10.1109/IROS.2006.282372>.
34. Могильний С.Г. Оцінка точності стереопари з квазізнімків / С.Г. Могильний, А.О. Луньов // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – №.6 – С. 21 – 24.
35. Могильний С.Г. Узагальнені рівняння взаємного орієнтування пари знімків/С.Г.Могильний, А.О. Луньов// Вісн.геод. та картограф.- Київ, №3, 2004, 53-58с.
36. Gruen A., Zhang L., 2003. Automatic DTM Generation from TLS data. *Optical 3-D Measurement Techniques VI, Vol. I, Zurich*, pp.99-105.
37. El-Hakim, S. F., Beraldin, J. A., Picard, M., and Godin, G., Detailed 3D reconstruction of large-scale heritage sites with integrated techniques. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 2004, 24(3), 21–29.
38. Remondino F., El-Hakim S., Gruen A., Zhang L., 2008. Turning Images into 3-D Models – Development and performance analysis of image matching for detailed reconstruction of heritage objects, *IEEE Signal Processing Magazine*, 25 (4): 55-65.
39. A.Murtiyoso, F. Remondino, E. Rupnik, F. Nex, P. Grussenmeyer /Oblique Aerial Photography Tool for Building Inspection and Damage Assessment // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2014. – Vol. XL-1. – P. 309–313.
40. Remondino, F. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites— techniques, problems, and examples. / F. Remondino, A. Rizzi, // *Applied Geomatics*, 2(3), 2010, pp.85–100.
41. Conen, N.; Hastedt, H.; Kahmen, O.; Luhmann, T. (2018): Untersuchung der Polarisationstechnik für photogrammetrische Anwendungen. *Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2018*, Wichmann, Berlin, ISBN 978-3-87907-643-7 (Buch), 978-3-87907-644-4 (E-Book), pp. 2-13
42. Luhmann, T. (2018): *Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden, Beispiele*. 4. Auflage, 783 Seiten, Wichmann, VDE Verlag, ISBN 978-3-87907-640-6, E-Book: ISBN 978-3-87907-641-3
43. Luhmann, T. (2018): *Bildbasierte 3D-Oberflächenrekonstruktion – Möglichkeiten und Grenzen*. 169. DVW-Seminar "UAV 2018 - Vermessung mit unbemannten Flugsystemen", Wißner Verlag, Augsburg, pp. 31-44, https://geodaesie.info/dvw_schriftenreihe/schriftenreihe-archiv/schriftenreihe-band-89.
44. Remondino F., Menna F., 2008. Image-based surface measurement for close-range heritage documentation. In *The International Archives of the Fotogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Citeseer pp.199-206.
45. Chemisky, B.; Menna, F.; Nocerino, E.; Drap, P. Underwater Survey for Oil and Gas Industry: Review of Close Range Optical Methods. *Remote Sens.* 2021, 13, 2789.
46. F. Menna, S. Troisi *LOW COST REVERSE ENGINEERING TECHNIQUES FOR 3D MODELLING OF PROPELLERS*. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010*, pp.452-457 <https://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part5/papers/138.pdf>
47. Th.Kersten, C. Acevedo Pardo, M. Lindstaedt/ *3D Acquisition, modelling and visualization of north German castles by digital architectural photogrammetry*. <https://www.isprs.org/proceedings/xxxv/congress/comm5/papers/535.pdf>
48. Іванова Л.І., Єгоров О.І. «Основи фотограмметрії. Навчальний посібник», Київ: КНУБА, 2002.

Candidate of technical science **Olesia Goncheryuk**,
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi

THEORETICAL ASPECTS OF GROUND-BASED DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC SURVEY FOR MONITORING OF ARCHITECTURAL MONUMENTS IN WARTIME CONDITIONS

Relevance of the research topic. One of the key goals of today is the de-occupation of the territories of Ukraine with the subsequent reconstruction of settlements and preservation of culture. After all, culture is one of the important aspects that identifies the people of the country. The main asset of the people is their cultural heritage (spiritual and material), inherited from previous generations, namely monuments, historical and cultural sites, and landscapes that have retained their authenticity and ethno-cultural uniqueness. These monuments are localized throughout Ukraine, including the temporarily occupied territories, where they have suffered significant damage or destruction, especially due to armed aggression. For further preservation and restoration/reconstruction, the advantages and approaches to digital photogrammetric surveying during the war are considered. The widespread introduction of digital cameras in the field of ground photogrammetry has led to the emergence and development of fundamentally new methods and technologies of photogrammetric work.

The process of ground-based digital photogrammetric surveying has a number of economic advantages at the stages of collecting, processing, and documenting data on architectural monuments. Traditional photogrammetric work can be carried out with conventional digital cameras, which are much cheaper than laser scanning. These economic advantages make digital ground-based photogrammetric surveying an affordable method for organizations involved in the preservation of cultural heritage, especially in conditions of limited funding.

Keywords: architectural monument; digital ground photogrammetric survey (DGPS); monitoring; 3D model.

REFERENCES

1. Shule R.V. Bilous M.V., Goncheryuk O.M. Monitoring pam'yatok arhitekturi za dopomogoyu danih nazemnogo lazernogo skanuvannya. Cuchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya. 2017. Vip. 46. S. 202-207. {in Ukrainian}
2. Shule R.V. Bilous M.V., Kovtun V.Ya., Kulichenko N.V., Goncheryuk O.M. Novi mozhливosti tehnologiyi nazemnogo lazernogo skanuvannya dlya zavdannya zberezhennya pam'yatok arhitekturi. Perezavantazhennya budivnictva: ekonomika, organizaciya, 150 menedzhment: materiali mizhn. nauk.-prakt. konf. (m. Kiyiv, 12-14 list. 2016 r.). Kiyiv: Vipol, 2016. S. 138-139. {in Ukrainian}

3. Goncheryuk O.M. Modelyuvannya istorichnih budivel u programi Photodeler. GEOPROSTIR 2017: materiali mizhn. nauk.-prakt. konf. (m. Kiyiv, 4-6 grud. 2017 r.). Kiyiv: Sky-Solutions, 2017. S. 16-22. {in Ukrainian}
4. Dorozhinskij O.L. Analitichna ta cifrova fotogrammetriya. Lviv: Vidavnistvo NU "Lvivska politehnika", 2002. 163s. {in Ukrainian}
5. Dorozhinskij O.L. Osnovi fotogrammetriyi. Lviv: Vidavnistvo NU "Lvivska politehnika", 2003. 195s. {in Ukrainian}
6. Glotov V.M., Pashetnik O.D. Sposobi viznachennya elementiv vnutrishnogo oriyentuvannya ta distorsiyi ob'yektiviv cifrovih nemetricnih znimalnih kamer: monografiya Lviv: Vidavnistvo Lvivskoyi politehniki, 2014. 104 s. {in Ukrainian}
7. Glotov V.M. Rozrobka ta doslidzhennya fototeodolita na bazi nemetricnoyi kameri «KIYiV-6S» ta optichnogo teodolita TNEO-010V. Visnik geodeziyi ta kartografiyi. 1998. №1. S. 27-29. {in Ukrainian}
8. Katushkov V.O., Sulima V.O., Shulc R.V., Denisyuk B.I. Cifrova fotogrammetriya. Obrobka skanernih znmkiv na cifrovih fotogrammetricnih stancyah: navchalnij posibnik. Kiyiv: KNUBA, 2006. 148s. {in Ukrainian}
9. Katushkov V.O. Metodi i modeli distancijnih vimiryuvan u budivnictvi: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.24.01 / Kiyiv. nac. univer. bud. i arhit. Kiyiv, 2011. 31 s. {in Ukrainian}
10. Ministerstvo kulturi ta strategichnih komunikacij Ukrayini, dostup «<https://mcs.gov.ua>». {in Ukrainian}
11. Bilshhe 1000 pam'yatok kulturi postrazhdali v Ukrayini vid vijni, chastina ne zvorotno, 06.09.2024. Dostup «<https://credo.pro/2024/09/371301>». {in Ukrainian}
12. Ministerstvo kulturi ta strategichnih komunikacij Ukrayini, dostup «Cherez rosijsku agresiyu v Ukrayini postrazhdalo 1062 pam'yatki kulturnoyi spadshini», 06.05.2024, dostup «<https://mcs.gov.ua/news/cherez-rosijsku-agresiyu-v-ukrayini-postrazhdalo-1062-pamyatky-kulturnoyi-spadshyny/>». {in Ukrainian}
13. Alby E., Elter R., Ripoche C., Quere N. Close range photogrammetry applied to the documentation of an archaeological site in Gaza Strip, Palestine. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 19-24. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-19-2013>. {in English}
14. Balta H.B., Hamamcioglu-Turan M., Ocali O. Three dimensional modeling via photographs for documentation of a village bath. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 79-84. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-79-2013>. {in English}
15. D'Annibale E., Tasseti A.N., Malinverni E.S. From panoramic photos to a low-cost photogrammetric workflow for cultural heritage 3D documentation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 213-218. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-213-2013>. {in English}
16. Hassani F., Rafiee M. An experience in cultural heritage documentation in Iran using a low-cost technique. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. XL-5/W1. P. 313-318. {in English}
17. Patias P., Kaimaris D., Georgiadis Ch., Stannas A., Antoniadis D., Papadimitrakis D. 3D mapping of cultural heritage: special problems and best practices in extreme case-studies. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2013. Vol. II-5/W1. P. 223-228. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-223-2013>. {in English}
18. Koehl M., Roussel F. Procedural modelling for reconstruction of historic monuments. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2015. Vol. II-5/W3. P. 137-144. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-137-2015>. {in English}
19. Hassani F. Documentation of cultural heritage; techniques, potentials, and constraints. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2015. Vol. XL-5/W7. P. 207-214. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-207-2015>. {in English}

20. Murtiyoso A., Koehl M., Grussenmeyer P., Freville T. Acquisition and processing protocols for UAV images: 3D modeling of historical buildings using photogrammetry. // *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2017. Vol. IV-2/W2. P. 163-170. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-163-2017>. {in English}
21. Bolognesi M., Furini A., Russo V., Pellegrinelli A., Russo P. Testing the low-cost RPAS potential in 3D cultural heritage reconstruction. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2015. Vol. XL-5/W4. P. 229–235. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-229-2015>. {in English}
22. El Mustapha Mouaddib, Anthony Pamart, Marc Pierrot-Deseilligny, Daniel Girardeau-Montaut. 2D/3D data fusion for the comparative analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris before and after the fire. *Journal of Cultural Heritage* Volume 65, January–February 2024, Pages 221-231. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207423001073>. {in English}
23. Kevin Jacquot, Renato Saleri. Gathering, integration, and interpretation of heterogeneous data for the virtual reconstruction of the Notre Dame de Paris roof structure. *Journal of Cultural Heritage* Volume 65, January–February 2024, Pages 232-240. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207423001103>. {in English}
24. S. Mays, D. Roberts, P. Marshall, A.W.G. Pike, V. VanHeekeren, C. Bronk Ramsey, E. Dunbar, P. Reimer, B. Linscott, A. Radini, A. Lowe, A. Dowle, C. Speller, J. Vallender, J. Bedford. Lives before and after Stonehenge: An osteobiographical study of four prehistoric burials recently excavated from the Stonehenge World Heritage Site. *Journal of Archaeological Science: Reports* Volume 20, August 2018, Pages 692-710. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352409X18302128>. {in English}
25. Sara Cucchiaro, Daniel, J. Fallu, Pengzhi Zhao, Clive Waddington, David Cockcroft, Paolo Tarolli, Antony G. Brown. Chapter 6 - SfM photogrammetry for GeoArchaeology. *Developments in Earth Surface Processes* Volume 23, 2020, Pages 183-205. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444641779000060>. {in English}
26. Michele Monego a, Caterina Previato b, Leonardo Bernardi b, Andrea Menin a, Vladimiro Achilli. Investigating Pompeii: Application of 3D geomatic techniques for the study of the Sarno Baths. *Journal of Archaeological Science: Reports* Volume 24, April 2019, Pages 445-462. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352409X18303183>. {in English}
27. Leonardo Bernardi, MariaStella Busana, Vanessa Centola, Claudia Marson, Luca Sbrogio. The Sarno Baths, Pompeii: Architecture development and 3D reconstruction. *Journal of Cultural Heritage* Volume 40, November–December 2019, Pages 247-254. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207418305818>. {in English}
28. G. Bitelli, V. A. Girelli, M. Marziali, A. Zanutta USE OF HISTORICAL IMAGES FOR THE DOCUMENTATION AND THE METRICAL STUDY OF CULTURAL HERITAGE BY MEANS OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUES. XXI International CIPA Symposium, 01-06 October, Athens, Greece. <https://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/5-c53/papers/FP028.pdf>. {in English}
29. Users Manual for iWitness™ Version 1.107, Australia. URL: www.photometrix.com.au, (data zvernennya: 9.02.2006). {in English}
30. Camera Calibrator User Manual, Australia, Version 2.0. URL: http://www.photometrix.com.au/downloads/calibrator/CameraCalibrator_V2_Use_Manual.pdf (data zvernennya: 10.05.2016). {in English}
31. Walford A. One part in 300,000. Precision and accuracy discussion. Eos Systems Inc. URL: <https://www.photomodeler.com/applications/documents/Precision.pdf>. (data zvernennya: 20.02.2019). {in English}
32. Suziedelytė-Visockienė J. Photogrammetry requirements for digital camera calibration applying Tcc and MatLab software. *Geodesy and Cartography*. 2012. 38(3). P. 106–110. <https://doi.org/10.3846/20296991.2012.728895>. {in English}

33. Scaramuzza D., Martinelli A., Siegwart R. A toolbox for easy calibrating omnidirectional cameras. IROS 2006: Proceedings to IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, 7–15 October, 2006. <https://doi.org/10.1109/IROS.2006.282372>. {in English}
34. Mogilniĭ S.G. Ocinka tochnosti stereopari z kvaziznimkiv / S.G. Mogilniĭ, A.O. Lunov // *Visnik geodezii ta kartografii*. – 2007. – No.6 – S. 21 – 24. {in Ukrainian}
35. Mogilnij S.G. Uzagalneni rivnyannya vzayemnogo oriyentuvannya pari znimkiv/S.G.Mogilnij, A.O. Lunov// *Visn.geod. ta kartograf.*- Kiyiv, №3, 2004, 53-58s. {in Ukrainian}
36. Gruen A., Zhang L., 2003. Automatic DTM Generation from TLS data. *Optical 3-D Measurement Techniques VI*, Vol, I, Zurich, pp.99-105. {in English}
37. El-Hakim, S. F., Beraldin, J. A., Picard, M., and Godin, G., Detailed 3D reconstruction of large-scale heritage sites with integrated techniques. *Computer Graphics and Applications*, IEEE, 2004, 24(3), 21–29. {in English}
38. Remondino F., El-Hakim S., Gruen A., Zhang L., 2008. Turning Images into 3-D Models – Development and performance analysis of image matching for detailed reconstruction of heritage objects, *IEEE Signal Processing Magazine*, 25 (4): 55-65. {in English}
39. A.Murtiyoso, F. Remondino, E. Rupnik, F. Nex, P. Grussenmeyer /Oblique Aerial Photography Tool for Building Inspection and Damage Assessment // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2014. – Vol. XL-1. – R. 309–313. {in English}
40. Remondino, F. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites— techniques, problems, and examples. / F. Remondino, A. Rizzi, // *Applied Geomatics*, 2(3), 2010, pp.85–100. {in English}
41. Conen, N.; Hastedt, H.; Kahmen, O.; Luhmann, T. (2018): Untersuchung der Polarisierungstechnik für photogrammetrische Anwendungen. *Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik*, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2018, Wichmann, Berlin, ISBN 978-3-87907-643-7 (Buch), 978-3-87907-644-4 (E-Book), pp. 2-13. {in English}
42. Luhmann, T. (2018): *Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden, Beispiele*. 4. Auflage, 783 Seiten, Wichmann, VDE Verlag, ISBN 978-3-87907-640-6, E-Book: ISBN 978-3-87907-641-3. {in English}
43. Luhmann, T. (2018): *Bildbasierte 3D-Oberflächenrekonstruktion – Möglichkeiten und Grenzen*. 169. DVW-Seminar "UAV 2018 - Vermessung mit unbemannten Flugsystemen", Wissner Verlag, Augsburg, pp. 31-44, https://geodaesie.info/dvw_schriftenreihe/schriftenreihe-archiv/schriftenreihe-band-89. {in English}
44. Remondino F., Menna F., 2008. Image-based surface measurement for close-range heritage documentation. In *The International Archives of the Fotogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Citeseer pp.199-206. {in English}
45. Chemisky, B.; Menna, F.; Nocerino, E.; Drap, P. Underwater Survey for Oil and Gas Industry: Review of Close Range Optical Methods. *Remote Sens.* 2021, 13, 2789. {in English}
46. F. Menna, S. Troisi *LOW COST REVERSE ENGINEERING TECHNIQUES FOR 3D MODELLING OF PROPELLERS*. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, [UK.2010, pp.452-457 <https://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part5/papers/138.pdf>. {in English}
47. Th.Kersten, C. Acevedo Pardo, M. Lindstaedt/ 3D Acquisition, modelling and visualization of north German castles by digital architectural photogrammetry. <https://www.isprs.org/proceedings/xxxv/congress/comm5/papers/535.pdf>. {in English}
48. Ivanova L.I., Yegorov O.I. «Osnovi fotogrammetriyi. Navchalnij posibnik», Kiyiv: KNUBA, 2002. {in Ukrainian}