



В.С. Жигола, В.М. Скороход *

НОВІТНІ МЕТОДИ ФІКСАЦІЇ В АРХЕОЛОГІЇ

Розглянуто новітній метод фіксації артефактів і нерухомих археологічних об'єктів за допомогою фотограмметрії, створення 3D-моделей та ортофотопланів об'єктів і артефактів. Враховано досвід закордонних та українських науковців та запропоновано власні методи, які доповнюють археологічні дослідження.

Ключові слова: новітні методи, фотограмметрія, 3D-модель, ортофотоплан, керамологія.

Сучасні наукові дослідження важко уявити без залучення новітніх методик і технологій, які надають додаткові можливості, спрощують складні процеси і розширюють інформативну базу. У 2018 р. на I Всеукраїнському археологічному з'їзді цьому було присвячено окрему секцію «Археологічна інформація (створення, обробка, аналіз, візуалізація, використання)», де виголошено низку доповідей про досвід та перспективи допоміжних дисциплін і технологій (Борисова, Борисов 2018; Гнера 2018; Жигола 2018).

До технологій, за допомогою яких відбувається фіксація, належить фотограмметрія — це науково-технічна дисципліна, що займається визначенням розмірів, форм і положення об'єктів за їхнім зображенням на цифрових образах, або ж фотосканування — безконтактне оптичне пасивне сканування, тобто таке, за якого використовується лише відбиття природного світла. Таке визначення дисципліні надало Міжнародне товариство з фотограм-

метрії та дистанційного зондування (ISPRS) наприкінці ХХ ст. і, не зважаючи на стрімкий розвиток технічних і програмних засобів, його можна сприймати і сьогодні (Дорожинський, Тукай 2008, с. 9).

Ця дисципліна стрімко розвивається разом із загальним технічним прогресом людства — від перших фотографій з аеростата середини ХІХ ст. до сучасних цифрових ортофотопланів та 3D-моделей. У той же час технічні засоби та опрацювання результатів стають все простішими та доступнішими кожному науковцю.

Фотограмметрія не обійшла і археологію, адже під час досліджень за допомогою цього методу можна створювати ортофотоплани і 3D-моделі об'єктів, артефактів, розкопів, архітектурних пам'яток та цілих археологічних комплексів (поселень, городищ, курганних могильників тощо), що стало у нагоді як під час польової фіксації, так і в подальшій обробці здобутого матеріалу. Метод не потребує коштовного і громіздкого устаткування або спеціальних лабораторій, адже за 3D-сканер слугує звичайна фотокамера (або літальний апарат з фотокамерою) та спеціальне програмне забезпечення; процес фотофіксації археологічних об'єктів не займає багато часу (10—30 хв.) і не заважає польовим роботам. Протягом останніх ста років археологи всього світу залучають новітній метод, адаптуючи його під власні потреби, розробляючи нові сфери застосування, а також активно агітуючи за «3D революцію» в археології. За цей час опубліковано величезну кількість статей, тому зупинимося на короткому огляді лише узагальнюючих методологічних працях.

Британські вчені Б. Фрішер та А. Дакурі-Хілд зібрали низку статей та досліджень із застосуванням 3D-сканування та відтворенням отриманих даних (Frischer, Dakouri-Hild 2008). У 2008 р. Є. Бернасик публікує методичні «Лек-

* ЖИГОЛА Віталій Сергійович — молодший науковий співробітник редакційно-видавничого відділу Інституту археології НАН України, ORCID 0000-0002-9420-4893, gvjredaktor@gmail.com

СКОРОХОД В'ячеслав Миколайович — кандидат історичних наук, старший викладач кафедри археології, етнології та краєзнавчо-туристичної роботи Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, ORCID 0000-0001-5317-0896, skorohod-sv@ukr.net

ції з фотограмметрії та дистанційного зондування» для свого курсу в Краківській гірничо-металургійній академії (Bernasik 2008). Іспанська археологиня М. Фар'яс у своїй статті докладно описала процес цифрової фотограмметрії поховань в ОАЕ, пропонуючи свій досвід та застосовану техніку (Farjas 2009). Група європейських вчених на чолі з М. Донеусом у статті «Від відкопаного об'єкта до цифрової хмари точок — дослідження простої документації археологічних розкопів за допомогою дешевих комп'ютерів» діляться досвідом використання декількох програм для недорогої, швидкої та точної побудови 3D-моделі (Doneus et al. 2001). У 2012 р. світ побачив монографію-посібник норвежця Е. Келльмана «Від 2D до 3D — фотограмметрична революція в археології?», де докладно описується процес фотофіксації об'єктів та артефактів, подаються інструкції подальшої обробки результатів у спеціалізованій програмі (а саме Agisoft PhotoScan®) та приклади подальшої роботи з готовими моделями (Kjellman 2012). Застосування подібних програм в археології розглядав і Г. Верхьоєвен (Verhoeven 2011). С. Тітзе регулярно публікує праці з методичними рекомендаціями з аерофотограмметричної зйомки та подальшою обробкою даних (Tietze 2017).

Також вийшла низка праць, що стосуються застосування фотограмметрії безпосередньо під час польових робіт. Зокрема у 2006 р. на Всесвітньому конгресі з геотехнічної інженерії в Атланті (США) група археологів демонструвала нові технології фіксування етапів розкопок (Hashash et al. 2006). Наразі з'являються статті, присвячені і пост-експедиційній обробці фотограмметричних матеріалів (Dellepiane et al. 2013; De Reu et al. 2014).

У 2014 р. світ побачив міжнародний он-лайн журнал «Цифрові засоби (додатки) в археології та культурній спадщині» (DAACH), який містить статті археологів зі всього світу. Ресурс є загальнодоступний і спрямований як на збереження моделей цифрової культурної спадщини, так і на доступ до них для наукової спільноти для полегшення академічних дебатів (Digital Applications in Archaeology...).

Фотограмметрія також застосовується науковцями і в Україні. Одними із перших лазерне сканування архітектурної пам'ятки провели Н.О. Гаврилюк та А.М. Ібрагімова. З 3D-моделі Тюрбе було створено 900 вертикальних і горизонтальних перетинів будівлі, де представлені основні її розміри і плани (Гаврилюк, Ібрагімова 2010, с. 137—146).

У 2016 р. В. Гнера захистив кандидатську дисертацію, серед завдань якої були розробка комплексу дій з дистанційного дослідження пам'яток археології та зазначення перспективи моніторингу стану пам'яток неруйнівними методами дослідження (вивчення, збереження, моніторинг, 3D-моделювання тощо) (Гнера 2015). В основу праці покладено багаторічні дослідження та фіксації пам'яток за допомогою аерофотограмметрії розкопів, архітектурних залишків та споруд, археологічних комплексів та пам'яток. Дослідником створено ортофотоплани, ортофотопокриття, 3D-моделі, популяризаційні відеосюжети, проведено моніторинг стану пам'яток культурної спадщини, виконано їхні реконструкції тощо (Гнера 2014; 2015a; 2016; 2017; 2017a; Гнера, Пашковський 2018; Gnera 2015).

М. Лавнічак з Познанського університету ім. А. Міцкевича (Польща) у 2014—2015 рр. провів фотограмметричні просторові зйомки городищ скіфського часу у Вінницькій області, що дозволило проаналізувати їхні структури і створити точні 3D-моделі пам'яток, на основі яких автор проводив метрологічні обміри і перетини захисних споруд (Ławniczak 2016).

У 2015—2016 рр. Міжнародною українсько-польською експедицією було проведено неінвазивні дослідження низки постскіфських городищ у Нижньому Подніпров'ї, під час яких використовувалася аерофотозйомка (з побудовою ортофотопланів) і геофізичні методи. Пізніше проведено археологічні розкопки на основі виявлених даних, що дозволило верифікувати їх результати (Матера, Богацький, Малковський 2017).

Д. Никоненко, С. Радченко, А. Волков провели неінвазивні дослідження архітектури Вітовтової вежі, створивши зовнішню і внутрішню розгортки моделі споруди, що дозволило виявити конструктивні параметри будівлі, товщину і висоту стін, виявити систему влаштування вже неіснуючих дерев'яних поверхів / перекриттів та сходинок, виділити ремонти і перебудови тощо (Никоненко, Радченко, Волков 2017).

У 2018 р. міжнародна українсько-французька експедиція фіксувала житла з кісток мамонтів відомої Гінцівської палеолітичної стоянки за допомогою дрону, на основі чого було створено докладний ортофотоплан об'єкта (Iakovleva, Djindjian 2018, p. 90, fig. 3).

З 2016 р. автори статті почали впроваджувати нові методи під час археологічних досліджень пам'яток та артефактів Подесення (Жигола 2017; 2018a; Жигола, Скороход 2017). На-

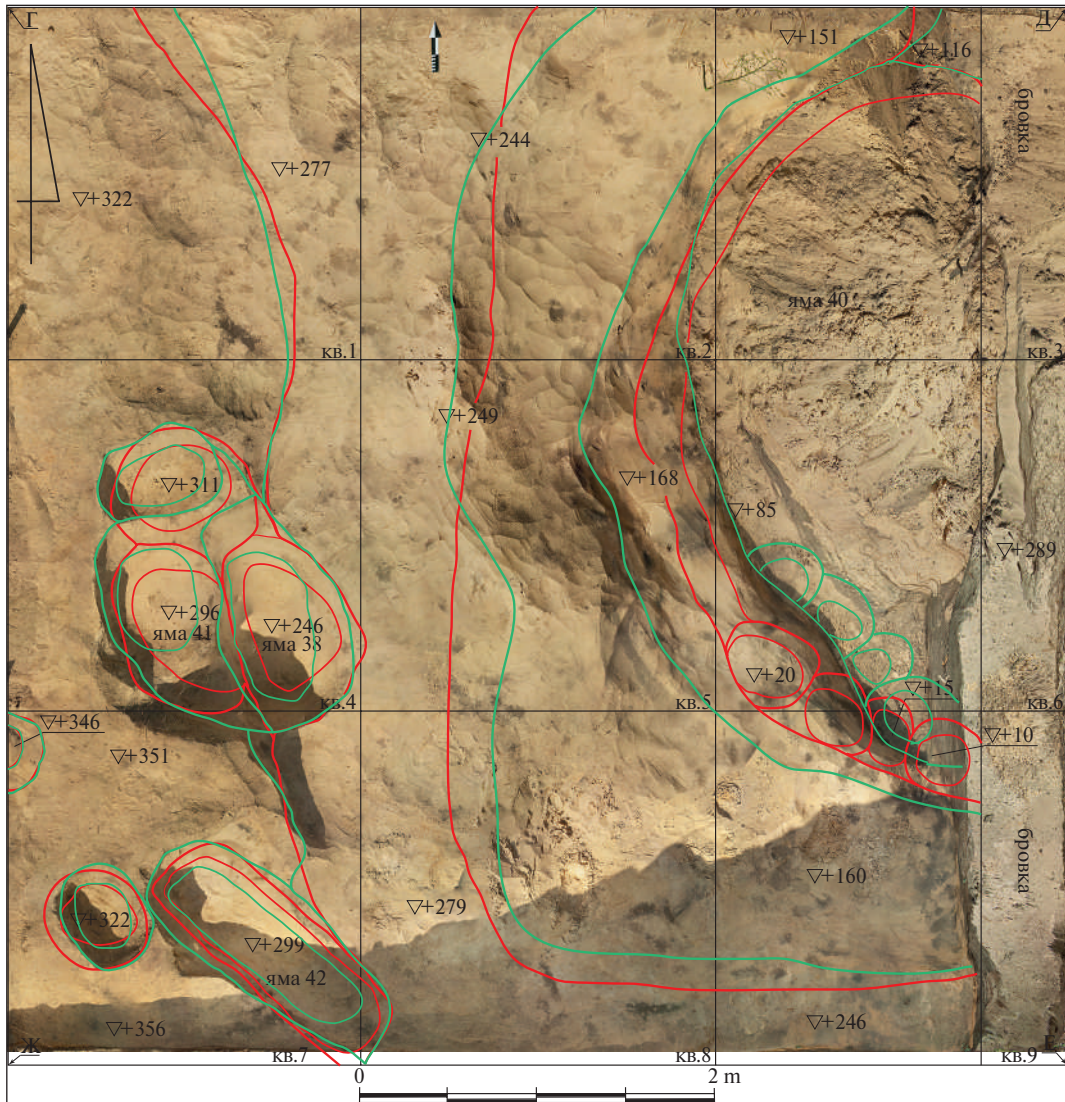


Рис. 1. Ортофотоплан розкопу 8 Виповзівського городища із накладанням польового кресленика (червона лінія) і відкорегований план (зелена лінія)

приклад, у 2017 р. у Виповзівській експедиції застосовано фотограмметричну фіксацію головних етапів досліджень всіх розкопів із подальшим створенням 3D-моделей (загальною кількістю 22 моделі), впровадженням їх у науковий звіт з подальшими метрологічними дослідженнями. Опрацьовані 3D-моделі в інтерактивному варіанті опубліковані в інтернеті і загальнодоступні (sketchfab.com/centerarchaeologyChernihiv). Подібні роботи ведуться і на інших пам'ятках — Чернігів, Шестовиця, Батурин, Седнів, Морівськ. Накопичена база дозволяє використовувати та розробляти новітні методи в археологічній науці, про що і піде мова.

Фотограмметрія у польовій археології

Під час польових робіт головним завданням археолога є отримання максимальної інфор-

мації, застосовуючи різні методи фіксації та консервації. Пам'ятка зникає фізично і виникає у вигляді креслеників та текстових звітів. Із винайденням фотоапаратів кресленики та малюнки почали дублювати фотографіями. Ця потрібна система паралельного фіксування «текст — кресленик — фотографія» існує з кінця XIX ст. Метод фотограмметрії дозволяє додати 3D-моделі як четвертого способу фіксації, що має розширити інформативну базу археологічних досліджень, збільшити методологічну базу науки, зробити польову археологію зрозумілішою для широкого кола зацікавлених людей, яким важко розбиратися у креслениках. Тобто, введення 3D-моделювання в археологію дозволить використовувати моделі для додаткової фіксації та цифрового збереження даних, яскравішої та зрозумілішої візуалізації результатів досліджень, додаткових метроло-

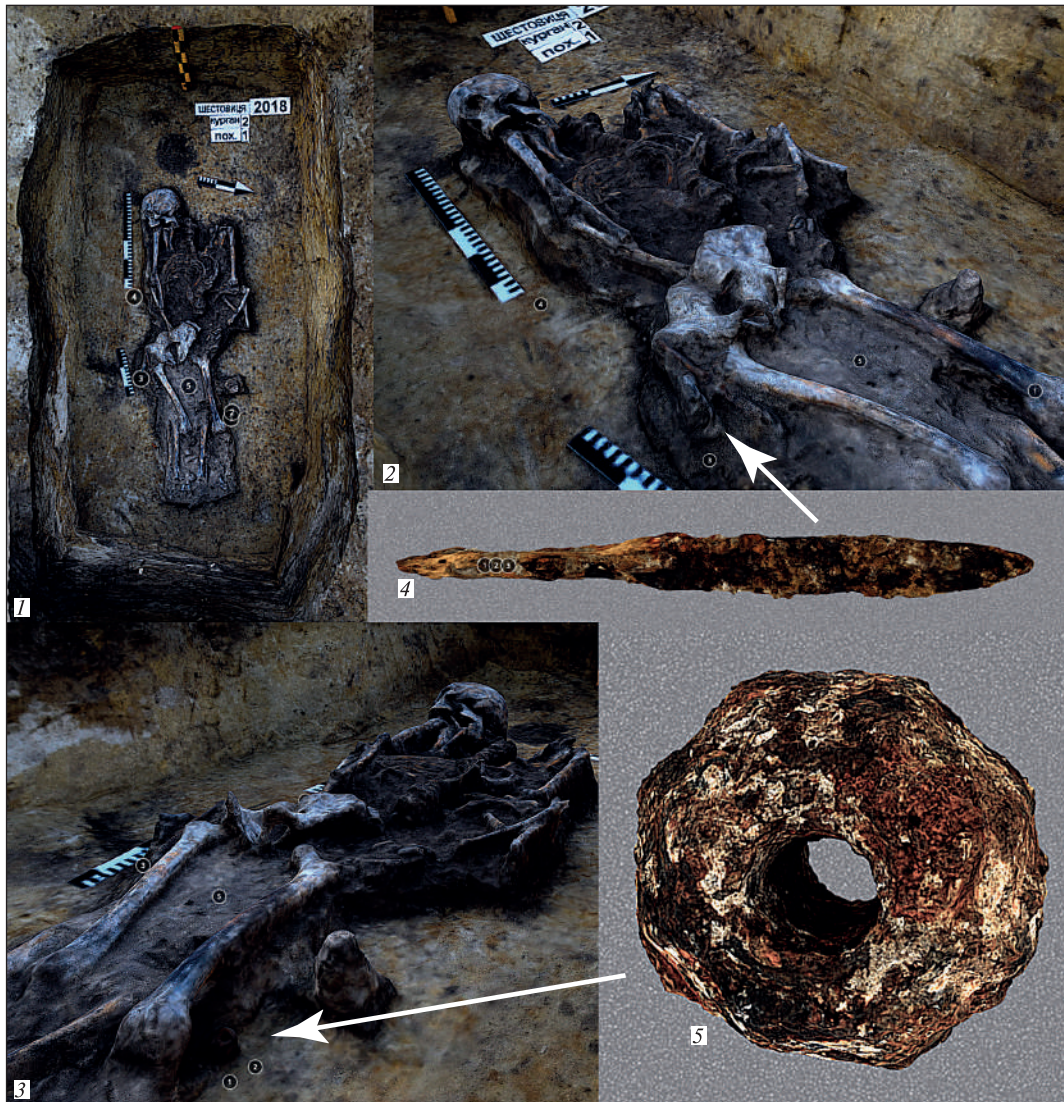


Рис. 2. Поховання X ст. із Шестовицького могильника: 1–3 — 3D-модель поховання; 4–5 — моделі речей з поховання

гічних досліджень, комп'ютерних реконструкцій об'єктів та артефактів, онлайн публікаціях процесу дослідження та створення «ефекту присутності» для науковців з усього світу.

Перевагою фотограмметричного методу фіксації є створення ортофотопланів із 3D-моделей. Плани будуються без лінійної перспективи, адже використовується не одне фото із одним пунктом бачення просторової структури сцени (у нашому випадку — розкопу) й віддаленість окремих її частин, а одразу декілька десятків фотографій та пунктів бачення. Це також виключає панорамну і повітряну перспективу — зорові сприйняття систем передачі віддалених предметів, що включають в себе пом'якшення обрисів, ослаблене зображення деталей, зменшення яскравості кольору, викривлення форм і розмірів об'єктів

тощо. Також програма будує модель зі збереженням усіх натуральних пропорцій та розмірів, що дозволяє робити метрологічні виміри та дослідження.

Таким чином, за допомогою 3D-моделей та ортофотопланів можна проводити наступні методи фіксації:

- пост-експедиційну фіксацію та корегування польових планів та стратиграфій;
- кольорову корекцію та фільтрацію ортофотопланів;
- додаткові метрологічні дослідження;
- робота з польовими креслениками під час експедиції.

Пост-експедиційна фіксація та корегування. Під час камеральної обробки залучення 3D-моделей дозволяє зіставити їх із даними креслеників та виявити неточності.

Для прикладу було створено модель розкопу 8 на Виповзівському городищі по материка, з якої зроблено ортофотоплан вертикально зверху. На нього накладено план із польового кресленника (рис. 1). Як видно, польовий план має деякі неспівпадіння з ортофотопланом.

Під час польової фіксації планів і стратиграфій майже завжди присутні фактори, які призводять до тих чи інших неточностей. Сюди належать неідеально розташовані засоби замірів, похибки при замірюванні опорних точок, неточне зведення ліній тощо. Також впливає складна конфігурація об'єкта чи стратиграфії. Розкоп 8 має великий перепад глибин від рівня сучасної поверхні — під східною стінкою глибина сягає 3,0 м. Як видно за накладеними планами, у рівній частині розкопу плани співпадають (або майже співпадають), а у похилих присутня деяка розбіжність.

Далі на створеному ортофотоплані зроблено новий кресленник по материка. Для поточення конфігурацій материка й об'єктів стає у нагоді рухома 3D-модель розкопу. На новий план переносяться виміри глибин з польового плану і корегований план по материка готовий для використання у звіті. Таким самим чином корегуються і кресленники стратиграфій.

Важливість застосування фотограмметрії у польовій археології слід відзначити при розкопках поховань. Фотографія та кресленник не завжди може передати всі деталі кістяка через його особливе положення чи конструктивні особливості могильної ями. Окрім того, наявність біля небіжчика речей потребує їх фіксації *in situ*. Цифрові моделі дають змогу зробити фіксацію поховання з усіх ракурсів і на декількох рівнях, починаючи від плями могильної ями і до повної розчистки поховання.

Як приклад можна представити однорівневу 3D-модель поховання чоловіка X ст. в одному з курганів Шестовицького могильника, що досліджено авторами у 2018 р. (рис. 2).

Кольорова корекція та фільтрація ортофотопланів — метод, під час якого відбувається корекція кольорів ортофотоплану у спеціальних програмах, що мають низку можливостей змін вихідних даних зображення. Чіткіше розділення шарів вже помітно після простої корекції світла, тіні та контрастності. На етапі маніпуляцій із чіткістю, насиченістю кольорів, збільшенням деталізації зображення виокремлюються додаткові деталі.

Так, на прикладі стратиграфії західної стінки розкопу 1 з подолу Виповзівського городища краще помітно стовпову ямку (ніж у польо-

вих умовах), а також певні залишки деревної тліні у її заповненні. Детальніше видно залишки печини, і до якого шару вони відносяться, чіткіше видно алювіальні та делювіальні шари і прошарки, культурний шар між ними, впевненіше можна відокремити згадані шари від кротовин тощо.

Метод кольорової корекції та фільтрації є допоміжним методом під час корегування планів та стратиграфій. Саме зображення, створене за допомогою змін вихідних даних ортофотопланів, не придатне для включення його у науковий звіт, адже має видозмінені і ненатуральні кольори, що не відповідає необхідній автентичності археологічної фотофіксації. Деякою мірою він нагадує одягання сонячних окулярів різної тональності під час оцінювання ситуації у розкопі.

Додаткові метрологічні дослідження. За допомогою програмного забезпечення на 3D-моделі можна проводити додаткові метрологічні виміри всіх об'єктів.

Перед фотографуванням на розкопі розмішуються маркери на заданій відстані один від одного (у нашому випадку 100 см) і в одній висоті відносно нульового репера. Окрім того, мають бути перевірені засоби вимірювання (лінійки, рейки). Програмі задаються контрольні точки на маркерах і відстань між ними, після чого вибудовується цифрова модель у повномасштабній метричній системі вимірів і з вірним розміщенням відносно горизонту. Це перевіряється контрольними замірами на рейці.

Надалі можна виміряти відстань між будь-якими заданими пунктами, наприклад такими, де проекція кресленника унеможливує чи ускладнює такі виміри. Також програма дозволяє вимірювати задані площі та об'єми. Наприклад, якщо вираховувати об'єм печі за вимірами радіусу та висоти, маючи на увазі ідеальний циліндр, то вийде певне значення — 0,719233 м³, у той же час програма дозволяє виміряти натуральний об'єм усїєї печі з нерівностями стінок та поверхні — 0,848657 м³, тобто більший і вірніший об'єм.

Робота з польовими кресленниками під час експедиції. Окрім пост-експедиційної фіксації та корегування метод дозволяє опрацьовувати польові кресленники безпосередньо під час археологічних робіт. За цей час накопичується значна кількість складних або дрібних об'єктів (наприклад, хаотично розміщені у межах розкопу горілі та руйновані залишки деревних конструкцій споруд, багато дрібних ям і канав, низка плям різних кольорів та відтінків тощо),

які можуть бути відсутніми при наступній зачистці, що ускладнює попередню атрибуцію об'єкта. У нагоді може стати метод накладання кресленика на 3D-модель або ортофотоплан для ознайомлення з поточною ситуацією.

Для прикладу візьмемо один із планів плям та горілих конструкцій із дослідження спор. 22 і 23 у розкопах 9 і 14 посаду Виповзова. Методом накладання кресленика на 3D-модель одного з останніх етапів робіт — зачистки житла по материку — можна відновити місця розміщення вже демонтованих деревних конструкцій та плану плям, що дозволить досліднику зробити певні висновки безпосередньо під час розкопу.

Аерофотограмметрія

З моделі, створеної за допомогою безпілотного літального апарату, можна отримати масштабні 3D-моделі та ортофотоплани місцевості чи розкопу /об'єкта із точною GPS-прив'язкою, які мають кращу розподільну здатність та якість, ніж супутникові знімки, а також можуть бути зроблені у необхідний сезон чи погодні умови. Це спрощує створення картографічних даних, планів розкопів, провадження археологічних розвідок значних територій, дозволяє проводити спостереження за станом археологічних пам'яток (Гнера 2017б).

Наприклад, було зроблено ортофотоплани курганних груп Шестовицького археологічного комплексу навесні та восени, на яких помітно плями залишок вже зруйнованих насипів. Ці дані порівнюються із планами попередніх досліджень середини — другої половини ХХ ст. і складається масштабний план сучасного стану комплексу, що дозволяє довивчити знищені кургани, та ті що розкопувалися колодязем, виходячи на них за GPS прив'язками. За допомогою створення ортофотопланів вдалося визначити місце курганного могильника на Виповзівському археологічному комплексі. Дані були підтверджені підйомними матеріалами.

У 2018 р. створено детальну 3D-модель Виповзівського археологічного комплексу, яка може стати у нагоді візуальної реконструкції пам'ятки на основі вже здобутих даних. Крім того, вже готові моделі розкопів можна інстальювати у модель пам'ятки, які відображатимуть її топографічну структуру в конкретний хронологічний період.

Програмне забезпечення дозволяє комбінувати знімки з дрону і наземні з фотоапарату, якщо природні умови чи оточуючі будівлі

перешкоджають одному із способів фіксації. Таким чином, створено модель насипу кургану в с. Морівськ (2018 р.), яку було інтегровано у програму «Quantum GIS», що дозволило з точними прив'язками та параметрами зафіксувати об'єкт. Крім того, можна точно вирахувати об'єм ґрунту насипу, робити перетин його форми у будь-якій проекції, створити його план з нанесенням ізоліній для наглядності рельєфу тощо.

Під час археологічних досліджень м. Батурин у 2018 р. авторами вперше було знято ортофотоплан території Фортеці давнього міста, де детально представлені напрямки вулиць, які залишилися ще з XVII — початку XVIII ст. та фрагменти фортечного рову вздовж її периметру. До цього часу план Фортеці існував лише схематично у вигляді кресленика. Ортофотоплан дає можливість виміряти довжину оборонних укріплень Фортеці та точно визначити її площу (рис. 3).

Фіксація архітектурних пам'яток та об'єктів

Широке застосування фотограмметрія має і в дослідженні архітектурних пам'яток. Як вже зазначалося, в Україні проводяться метрологічні дослідження будівель за допомогою цього методу. Створення 3D-моделей об'єктів також дозволяє стежити за станом їх збереження, простежувати конструктивні зміни, а, головне, зберегти для нащадків детальний вигляд пам'ятки. Подалі з моделі можна скопіювати чи відтворити будівлю, експортувати дані у спеціалізовані архітектурні програми.

Фотограметричний метод у вивченні лише залишків архітектурних пам'яток дає змогу створення як цілісної моделі, так і окремих її компонентів із подальшою реконструкцією повних розмірів шляхом об'єднання моделей за різні роки досліджень, або окремих вставок виявлених фундаментів у графічні реконструкції.

Фотограмметрія у камеральній археології

Фотограмметрія стає у нагоді й у камеральній обробці здобутого матеріалу. Також за допомогою фотоапарата, лайткуба (інструмент для предметного фотографування з додатковим освітленням) та підставки, що обертається навколо своєї вісі, робиться серія знімків артефакту, на основі яких будується 3D-модель. Отримана модель має широке застосування —

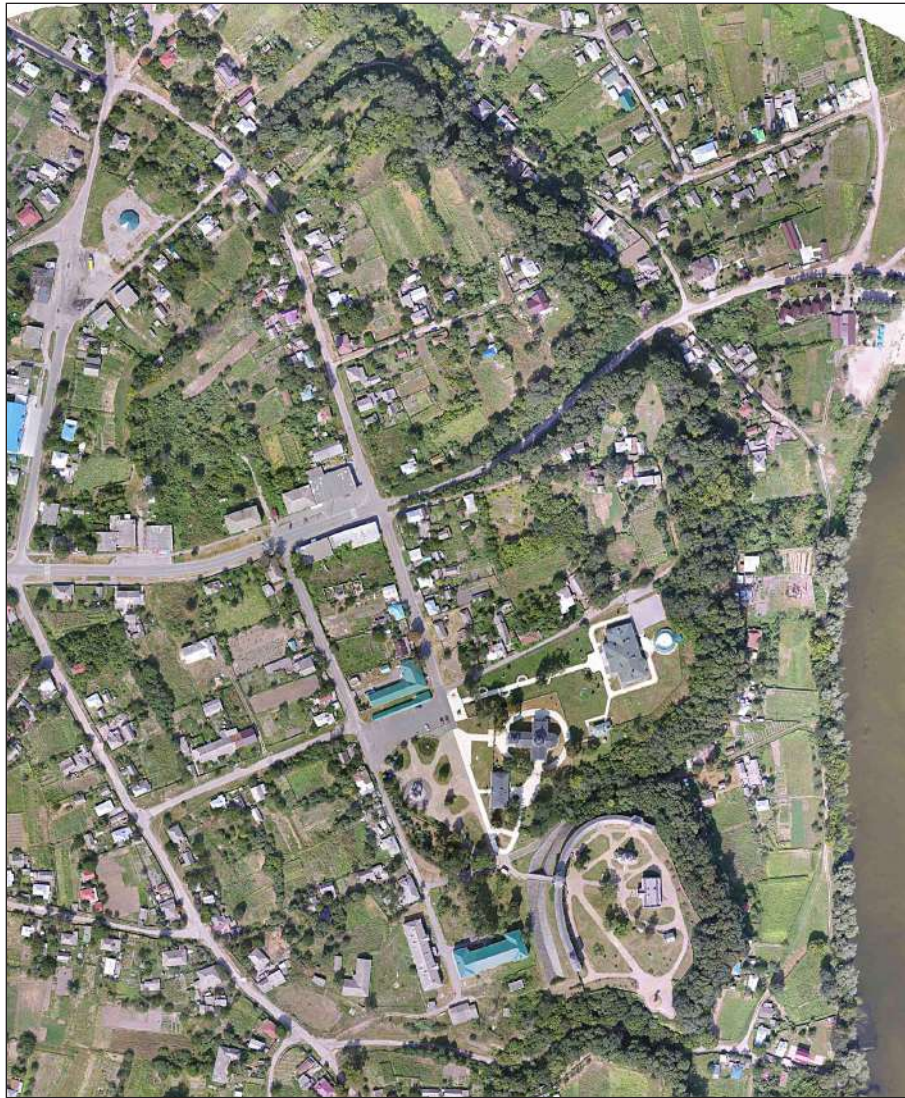


Рис. 3. Ортофотоплан Батуринської фортеці з висоти 80 м

візуалізація знахідки, віртуальна реконструкція відсутніх частин, створення ортофотоплану будь-якої проекції об'єкта з подальшим переведенням у графічне зображення.

Звісно, що отримана модель пропорційно ідентична натуральній посудині, тому задаються її розміри, що дозволяє проводити точні цифрові метрологічні виміри. Для прикладу таких досліджень було обрано гончарний горщик середини XIII ст. з Любеча (розкопки О. Веремейчик) (Веремейчик 2018, с. 303—306) і ліпний горщик роменської культури із досліджень посаду городища Радичев у 1992 р. (рис. 4, 1—4).

Після експортування моделі ліпного горщика у програму ® Blender™ проводяться необхідні виміри, запропоновані В. Генінгом (Генінг 1973, с. 116, рис. 1). А саме — діаметр вінця, діаметр основи шийки, найбільший діаметр тулуба, діаметр денця, загальна ви-

сота, висота шийки, висота плічка та висота придонної (нижньої) частини тулуба. Окрім необхідних замірів абсолютних розмірів горщика програма дозволяє виміряти будь-які інші параметри об'єкта, які, наприклад, дуже складно зробити фізично на натуральному артефакті. Усі виміри виконуються за доли секунди простими маніпуляціями програмним інструментом «лінійка» (рис. 4, 5, 6).

За допомогою редактора можна *відтворити цілу форму виробу*, що дозволить поточнити його розміри, провести ретельніші виміри, а також стане у нагоді для візуалізації відновленого артефакту без застосування складних і тривалих реставраційних робіт. На створеній 3D-моделі знахідки відновлюються відсутні частини методом їх замонтовування копіями із сусідніх полігонів і текстур. Також відтворена ціла форма стане у нагоді для візуалізації можливого вигляду артефакту (рис. 5, 1—3).

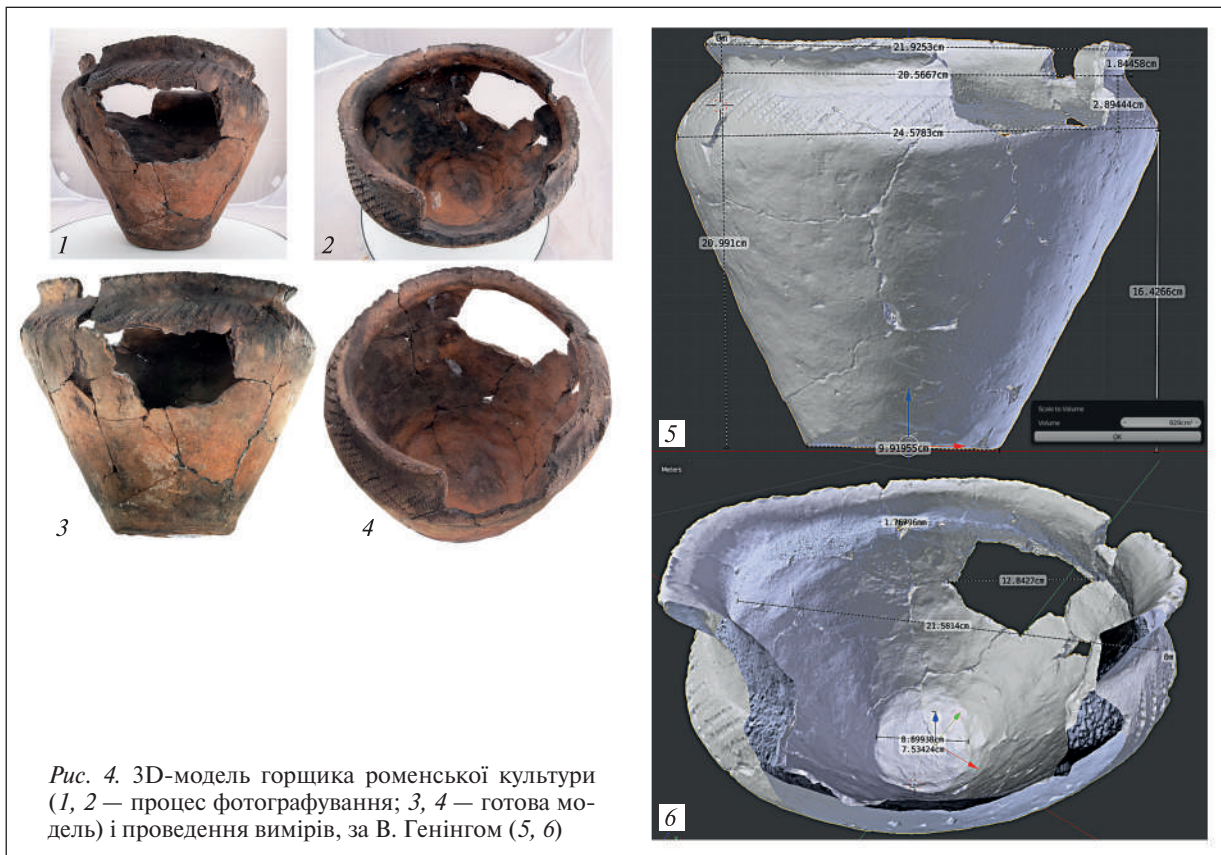


Рис. 4. 3D-модель горщика роменської культури (1, 2 — процес фотографування; 3, 4 — готова модель) і проведення вимірів, за В. Генінгом (5, 6)

Спеціалізовані програми також вираховують площу полігонів створеної моделі — *площу горщика*, що може знадобитися під час окремих досліджень. Наприклад, площа автентичного горщика з Радичева склала 0,2610 м², площа цілого виробу могла складати 0,3110 м². Мається на увазі площа усєї зовнішньої поверхні керамічного матеріалу.

До впровадження новітніх технологій було майже неможливо виміряти *об'єм керамічного матеріалу*, з якого зліплено виріб. Програмне забезпечення вимірює параметри створених полігонів, враховуючи потовщення/потоншення стінок, пророблені отвори, декоративні чи функціональні деталі посудини, орнамент та декор тощо. Об'єм 3D-моделі горщика з Радичева і, таким чином, об'єм керамічного матеріалу склав 929 см³ (рис. 4, 5).

Ця інформація дозволить ввести в археологічну науку новий показник для характеристики посуду, а саме *щільність (гр/см³) керамічного матеріалу*. Знаючи об'єм матеріалу, з якого виготовлено посудину, та зваживши артефакт ми отримаємо відповідні значення. Ці показники разом із показниками якості сировини (домішки, тип глини тощо) стануть у нагоді визначення приналежності виробу до певної партії виготовлення, до певного майстра чи навіть

одного процесу випалу. Такі ж виміри можна проводити і для окремих фрагментів кераміки.

Відтворення цілої форми виробу дає змогу виміряти об'єм керамічного матеріалу того чи іншого типу посуду. Подальша систематизація цих даних дозволить *класифікувати групи виробів за кількістю/вагою/об'ємом витраченої сировини* на їх виготовлення, віднайти уніфіковані стандарти, що розширить спектр керамологічних досліджень. Об'єм 3D-моделі **цілої форми горщика з Радичева** і, таким чином, можливий об'єм керамічного матеріалу цілого горщика міг складати 998 см³ (рис. 5, 1—3).

До одного із принципів математичного опису кераміки В. Генінг відносив і *об'єм посуду* (Генінг 1992, с. 53) У сучасній вітчизняній керамології об'єм у типології використовує низка археологів, таких як К. Пеляшенко, Я. Гершкович, А. Корохіна, О. Ромашко та ін.

Для визначення внутрішнього об'єму посуду В. Генінг у праці «Древняя керамика: методы и программы исследования в археологии» запропонував складну формулу для розрахунку об'єму за низкою вимірювань абсолютних розмірів горщика (Генінг 1992, с. 53):

V_1 — для цілого посуду:

$$V_1 = \frac{\pi}{2} [P_6 \left(\frac{P_1^2}{4} + \frac{P_1 P_2}{4} + \frac{P_2^2}{4} \right) + P_7 \left(\frac{P_2^2}{4} + \frac{P_2 P_3}{4} + \frac{P_3^2}{4} \right) + P_8 \left(\frac{P_3^2}{4} + \frac{P_3 P_4}{4} + \frac{P_4^2}{4} \right)]$$

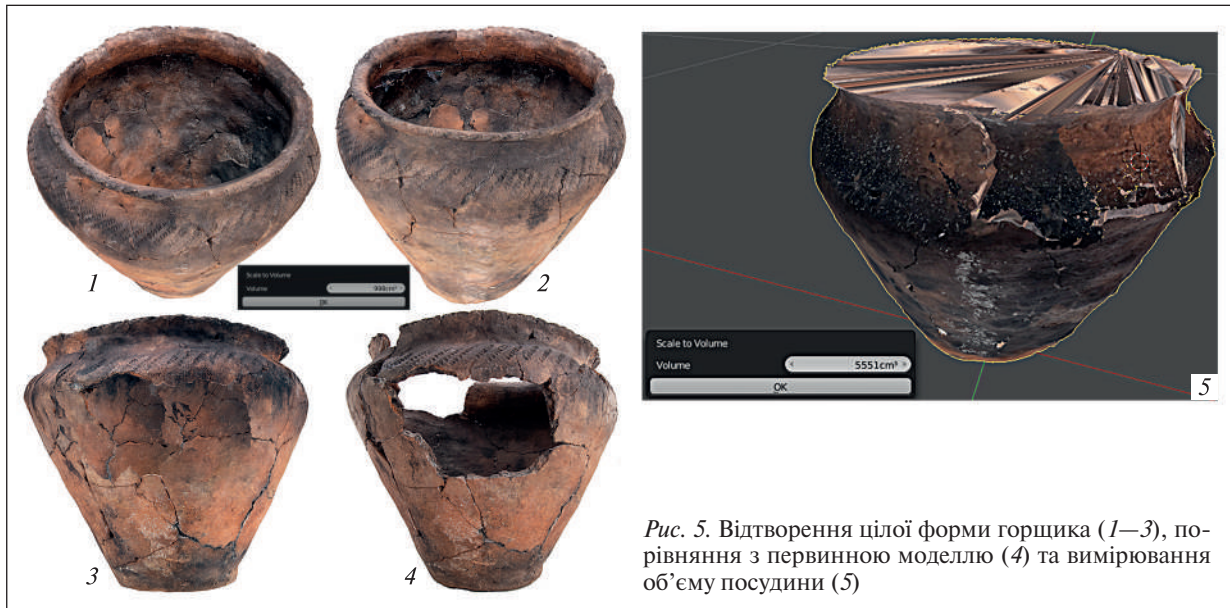


Рис. 5. Відтворення цілої форми горщика (1–3), порівняння з первинною моделлю (4) та вимірювання об'єму посудини (5)

За підрахунками вказаної формули, можливий об'єм горщика з Радичева міг складати 8 827 см³, що аж ніяк не відповідає дійсності. Варто зазначити, що вимірювання на автентичному артефакті та підрахунки за формулою зайняло певний час та зусиль, які не йдуть у порівняння з моментальними розрахунками спеціалізованим програмним забезпеченням.

Формула надає приблизні значення об'єму, адже він не враховує індивідуальні особливості артефакту, як-то відсутність чи складність визначення певних морфологічних характеристик посудини (і, таким чином, неможливість підставити дані у формулу), асиметричність виробу, різну товщину керамічного матеріалу, складність вимірювання пошкоджених виробів тощо.

Саме тому доцільно використовувати програмне забезпечення та 3D-моделі посудин для точного визначення їхнього об'єму, де будуть враховані всі індивідуальні особливості конкретного артефакту. У вітчизняній науці комп'ютерні технології 3D-моделювання застосувала О. Ромашко, яка зазначила, що це єдиний правильний спосіб отримання достовірних даних (Ромашко 2014, с. 7–8). Це також стосується всіх інших категорій археологічних артефактів.

Задля вимірювання об'єму 3D-моделі посудини необхідно повністю видалити зовнішні полігони і залишити полігони внутрішньої поверхні горщика, яка саме і відповідає об'єму посудини. Розрахунки об'єму велися по верхньому краю вінця, тому на ньому влаштовано перемичку (Рис. 5, 5). Далі програма ліквідує усі пустоти та розриви полігонів та враховує

розміри утвореної моделі внутрішньої частини горщика. Як бачимо, горщик з Радичева мав об'єм 5 551 см³.

Візуалізація

Не менш важливим завданням 3D-моделювання є візуалізація результатів досліджень, що якнайкраще підходить для презентацій, навчального процесу, інтерактивних музейних експозицій та екскурсій. Одним із завдань археологів є пошук аналогій відкритих об'єктів чи знахідок, що інколи перетворюється у години часу перегляду спеціалізованої літератури. Набагато простіше було б мати можливість перегляду онлайн каталогу 3D-моделями атрибутованих речей з пошуком за ключовими словами (*#мегами*), або ж додавання своєї моделі на атрибутацію світової спільноти науковців.

До візуалізації також належить комп'ютерна реконструкція археологічних об'єктів та артефактів. За допомогою додаткових 3D-програм можна поєднувати декілька моделей. Так, моделі суміжних розкопів різних років досліджень можна поєднати в один спільний комплекс; із значної кількості моделей фрагментів розбитої посудини можна звести одну цілу модель; із моделей усіх наявних у розкопі кахлів можна скласти модель печі тощо.

На сьогодні набуває популярності друкування речей на 3D-принтерах, що є швидкою та недорогою справою. Фотосканування дозволяє роздруковувати копії артефактів, що знаходить широке коло застосування (ті ж самі музейні експозиції чи обмін моделями для дру-

ку із закордонними колегами). Використання роздрукованої копії дозволить зберегти автентичний об'єкт неушкодженим. Так, наприклад, під час скульптурної реконструкції за методикою Герасимова відновлення обличчя за черепом оригінальний череп залишається під шарами пластиліну, але роздрукована модель черепа один до одного збереже автентичний артефакт. Крім того, в музейній справі використовується реконструкція пошкоджених речей, у яких інколи бракує деталей. За допомогою додаткових програм на основі 3D-моделі можливо роздрукувати ці деталі та доповнити ними археологічний артефакт.

Також готову модель можна одразу завантажити на вебсайт, спеціалізований на публікаціях та переглядах 3D контенту. На сьогодні найпопулярнішим порталом є sketchfab.com, який має розширену функцію додаткових налаштувань моделі. Крім того, на цьому ресурсі є можливість коментування моделі та пряме спілкування з її автором.

Фотограмметрія також дозволяє створити колекцію артефактів для подальшої роботи з ними. Для прикладу, моделі двох стулок одного енколпіону, знайдених у різні роки (2015 і 2017 рр.) на посаді Виповзівського городища. Перша знахідка вже зайняла своє місце в експозиції музею, коли було знайдено другу. Але готова модель дозволила уявити цілісний вигляд артефакту і реконструювати відсутні деталі, створити анімацію використання хреста (Центр археології... 2018).

Інтерактивна база даних археологічних досліджень і артефактів

Сьогодні глобальна мережа охоплює майже всі сфери діяльності науковців. Існують проекти, співвиконавці яких працюють у різних кутках світу, але мають прямий зв'язок і доступ до спільної бази даних, що значно спрощує дослідження. Подібний функціонал також став би у нагоді археологам України (Борисова, Борисов 2018, с. 34), які нерідко мають відвідувати музеї та фонди в інших регіонах держави.

Інтерактивна база даних — єдиний електронний фаховий ресурс, до якого входять описи, фотографії, фотограмметричне сканування та 3D-моделі археологічних досліджень і артефактів. Доступ до бази надається фахівцю за потребою. Наповнення бази даних може проводитися як централізовано, так і місцевими працівниками (за наявності необхідного устаткування).

Також є можливість завантажити 3D-модель у вільний доступ глобальної мережі для візуалізації, інтерактивної колекції музею/фонду або для онлайн консультації з фахівцями з інших регіонів. Створення інтерактивної бази даних дозволить суттєво спростити процес дослідження.

Таким чином, на сьогодні в Україні та світі широко застосовується фотограмметрія в археологічній науці, використовуються та розробляються новітні методи фіксації, які дозволяють полегшити процес розкопок, покращувати та поточнювати польову документацію, зробити яскравішою та зрозумілішою візуалізацію результатів досліджень, проводити додаткові метрологічні дослідження об'єктів та артефактів, розширити інформаційний простір вітчизняної науки та зблизитися із дослідниками з усього світу. Враховуючи доступність і можливості фотограмметрії та 3D-моделювання, у недалекому майбутньому вони мають стати невід'ємною методологічною частиною будь-яких археологічних досліджень.

- Борисова Т., Борисов А. Поширення дослідницьких даних в археології: практики та перспективи (презентація результатів опитування). *І Всеукраїнський археологічний з'їзд*. Київ, 2018, с. 34.
- Веремейчик О.М. Кераміка середини XIII ст. з садиби ювеліра в Любечі. *Археологія і давня історія України*. 2018, № 4 (29), с. 297—316.
- Гаврилюк Н.А., Ибрагимова А.М. Тюрбе хана Хаджи Герая (по материалам археологических исследований 2003—2008 гг.). Киев; Запорожье, 2010.
- Генинг В.Ф. Программа статистической обработки керамики из археологических раскопок. *Советская археология*. 1973, № 1, с. 114—136.
- Генинг В.Ф. Древняя керамика: методы и программы исследования в археологии. Київ, 1992.
- Гнера В. Застосування безпілотних літаючих апаратів при дослідженні давньоруських храмів. *Opus Mixtum*. 2014, № 2, с. 36—40.
- Гнера В. Аерокосмічний моніторинг як інструмент пам'яткознавчих досліджень (на прикладі пам'яток археології Брусилівського району Житомирської області). *Автореф. дис. ... канд. іст. наук*. Київ, 2015.
- Гнера В. Моніторинг законсервованих фундаментів Десятинної церкви за допомогою аерофотозйомки. *Opus Mixtum*. 2015a, № 3, с. 147—155.
- Гнера В. Новий погляд на проблему музеєфікації фундаментів Десятинної церкви. 2016. Електронний ресурс. — режим доступу: http://mdch.kiev.ua/sites/default/files/public/pdf/15.07._%D0%93%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4.pdf
- Гнера В. Аеромоніторинг пам'яток Старокиївської гори («Града Володимира») 2014—2017 років. *Opus Mixtum*. 2017, № 5, с. 244—247.
- Гнера В. Применение квадрокоптера для аерофотосъемки в археологических исследованиях. *Археология и геоинформатика. Третья международная конференция*. Москва 2017a, с. 15.

- Гнера В.А. Археологічна аерофотозйомка за допомогою квадрокоптерів DJI Phantom (порівняльний аналіз). *Питання історії науки і техніки*. 20176, № 4, с. 52—60.
- Гнера В. Аерофотограмметричне дослідження археологічної спадщини. *І Всеукраїнський археологічний з'їзд*. Київ, 2018, с. 35.
- Гнера В., Пашковський О. 3D-моделювання в музеєфікації фундаментів Десятинної церкви. *Opus Mixtum*. 2018, № 6, с. 202—204.
- Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрія. Львів, 2008.
- Жигола В.С. 3D-сканування в археології: досвід та перспективи. *Середньовічні та Ранньомодерні старожитності Центрально-Східної Європи. Мат-ли XVI Міжн. студ. наук. археол. конф.* Чернівці, 2017, с. 48—55.
- Жигола В. Фотограмметрія в археології. *І Всеукраїнський археологічний з'їзд*. Київ, 2018, с. 36.
- Жигола В. Метрологічні дослідження 3D-моделей археологічної кераміки. *Середньовічні та Ранньомодерні старожитності Центрально-Східної Європи. Мат-ли XVII Міжн. студ. наук. археол. конф.* Чернівці, 2018а, с. 47—54.
- Жигола В.С., Скороход В.М. Фотограмметрична фіксація у польовій археології на прикладі пам'яток Подесення. *Інтерпретація археологічних джерел: здобутки та виклики. Мат-ли наук. конф. молод. вчен.* Київ, 2017, с. 134—137.
- Матера М., Богацький М., Малковський В. Неинвазивные и археологические исследования позднекиевского/посткиевского Консуловского городища. *Археологія*. 2017, № 4, с. 125—139.
- Никоненко Д.Д., Радченко С.Б., Волков А.В. Вітовтова вежа за даними сучасних фотограмметричних досліджень. *Археологія*. 2017, № 4, с. 120—129.
- Ромашко О.В. Типологія скіфських металевих казанів Півдня Східної Європи за об'ємом. *Історичні етюди: зб. наук. праць*. Дніпро, 2014, с. 200—202.
- Центр археології та стародавньої історії Північного Лівобережжя. 2018 Електронний ресурс. — режим доступу: www.facebook.com/centrarcheologii.cn/videos/
- Bernasik J. Wykłady z fotogrametrii i teledetekcji. Kraków, 2008.
- De Reu J., De Smedt P., Herremans D., Van Meirvenne M., Laloo P., De Clercq W. On Introducing an Image-Based 3D Reconstruction Method in Archaeological Excavation Practice. *Journal of Archaeological Science*. 2014, no. 41, pp. 251—262.
- Dellepiane M., Dell'Unto N., Callieri M., Lindgren S., Scopigno R. Archeological Excavation Monitoring Using Dense Stereo Matching Techniques. *Journal of Cultural Heritage*. 2013, no. 14 (3), pp. 201—210.
- Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage (DAACH). Електронний ресурс. — режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/journal/digital-applications-in-archaeology-and-cultural-heritage>
- Doneus M., Verhoeven G., Fera M., Briese C., Kucera M., Neubauer W. From Deposit to Point Cloud — a Study of Low-cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations. *XXIII International CIPA Symposium, Prague, 12—16 September 2011, Geoinformatics, vol. 6. Faculty of Civil Engineering. Czech Technical University*. Prague, 2011, pp. 81—88.
- Gnera V. Advantage of Using Quadcopters, for Aerophoto Ancient of Old Rus Towns. *Gardarika*. 2015, vol. 5, iss. 4, pp. 133—144.
- Farjas M. Digital Photogrammetry: 3D Representation of Archaeological Sites. 2009. Електронний ресурс. — режим доступу: http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/3d-scanning-and-modeling/Contenidos/Lectura_obligatoria/photogrammetry1.pdf
- Frischer B., Dakouri-Hild A. Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Tools for Discovery in Archaeology. *British Archaeological Reports International Series 1805*. Oxford, 2008.
- Hashash Y.M.A., Liu L., Su Y.-Y., Song H. Use of New Technologies for Tracking Excavation Progress. *Geo-Congress 2006: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age*. Atlanta, 2006, pp. 1—5.
- Iakovleva L., Djindjian F. The Mammoth Bone Dwellings of the Upper Palaeolithic Settlement of Gintys (Ukraine: the First Synthesis). *Археологія*. 2018, № 4, с. 86—94.
- Kjellman E. From 2D to 3D — A Photogrammetric Revolution in Archaeology? 2012. Електронний ресурс. — режим доступу: http://www.academia.edu/1771011/From_2D_to_3D_a_photogrammetric_revolution_in_archaeology
- Ławniczak M. Photogrammetry-based Spatial Analyses of Settlements in Severynivka and Nemyriv. *Baltic-Pontic Studies*. 2016, vol. 21, pp. 54—68. sketchfab.com/centerarchaeologyChernihiv (Centerarchaeology Chernihiv (Siver Scan)).
- Tietze S. Fly Ranch Aerial Mapping of 400 Acres. Part 1. 2017. Електронний ресурс. — режим доступу: <http://ibareitall.com/fly-ranch-aerial-mapping-of-400-acers-part-1/>
- Verhoeven G. Taking Computer Vision Aloft — Archaeological Threedimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection*. 2011, no. 18 (1), pp. 67—73.

Надійшла 26.01.2019

Vitalii S. Zhyhola¹, Viacheslav M. Skorokhod²

¹ Research associate in the Editing and Publishing Department of the Institute of Archaeology, the National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID 0000-0002-9420-4893, gvjredaktor@gmail.com

² Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Archaeology, Ethnology, Local History and Touristic Work of the National Taras Shevchenko University "Chernihiv Collegium", ORCID 0000-0001-5317-0896, skorokhod-sv@ukr.net

THE NEWEST FIXATION METHODS IN ARCHAEOLOGY

The absolute and comprehensive research fixation is the main task of archaeology. One of the new methods is photogrammetry, which is rapidly gaining popularity in the world, because it does not require much time and labor involvement. Scaled 3D-models and orthophotomaps of monuments, buildings, objects and artifacts can be created by using photogrammetry technology.

Any kinds of metrological measurements and researches in field and cameral archaeology are carried out with the help of computer programs. To be listed: post-expeditionary fixation and correction of plans and stratigraphies, color correction and

orthophotomaps filtering, work with drawings during an expedition, measurements of necessary parameters and volumes of objects and artifacts, creating models for visualization, creating an interactive database, etc.

Photogrammetry and 3D-modeling should become an integral methodological part of any archaeological research in the near future.

К е у в о р д с: newest methods, photogrammetry, 3D-model, orthophotomap, ceramology.

В.С. Жигола¹, В.Н. Скороход²

¹ Младший научный сотрудник редакционно-издательского отдела Института археологии НАН Украины, ORCID 0000-0002-9420-4893, gvjredaktor@gmail.com

² Кандидат исторических наук, старший преподаватель кафедры археологии, этнологии и краеведческо-туристической работы Национального университета «Черниговский колледж» им. Т.Г. Шевченко, ORCID 0000-0001-5317-0896, skorohod-sv@ukr.net

НОВЕЙШИЕ МЕТОДЫ ФИКСАЦИИ В АРХЕОЛОГИИ

Главным заданием археологии является абсолютная и всесторонняя фиксация проводимых исследований. К новейшему методу фиксации относится фотограмметрия, который быстро набирает популярность в мире, так как не требует больших затрат времени и труда. На основе фотограмметрии создаются масштабные 3D-модели и ортофотопланы памятников, строений, объектов и артефактов.

С помощью компьютерных программ производятся любые метрологические измерения и исследования в полевой и камеральной археологии, такие как: пост-экспедиционная фиксация и исправление планов и стратиграфий, цветная коррекция и фильтрация ортофотопланов, работа с чертежами во время экспедиции, измерения нужных параметров и объемов объектов и артефактов, создание моделей для визуализации, создание интерактивной базы данных и т. д.

Учитывая доступность и возможности фотограмметрии и 3D-моделирования, в недалеком будущем они должны стать неотъемлемой методологической частью любых археологических исследований.

К л ю ч е в ы е с л о в а: новейшие методы, фотограмметрия, 3D-модель, ортофотоплан, керамология.

References

- Bernasik J. Wykłady z fotogrametrii i teledetekcji. Kraków, 2008.
- Borysova T., Borysov A. Poshyrennia doslidnytskykh danykh v arkeolohii: praktyky ta perspektyvy (prezentatsiia rezultativ opytuvannia). *I Vseukrainskyi arkeolohichnyi zizd*. Kyiv, 2018, p. 34.
- De Reu J., De Smedt P., Herremans D., Van Meirvenne M., Laloo P., De Clercq W. On Introducing an Image-Based 3D Reconstruction Method in Archaeological Excavation Practice. *Journal of Archaeological Science*. 2014, no. 41, pp. 251-262.
- Dellepiane M., Dell'Unto N., Callieri M., Lindgren S., Scopigno R. Archeological Excavation Monitoring Using Dense Stereo Matching Techniques. *Journal of Cultural Heritage*. 2013, no. 14 (3), pp. 201-210.
- Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage (DAACH): <https://www.sciencedirect.com/journal/digital-applications-in-archaeology-and-cultural-heritage>
- Dorozhynskyi O.L., Tukai R. Fotogrametriia. Lviv, 2008.
- Doneus M., Verhoeven G., Fera M., Briese C., Kucera M., Neubauer W. From Deposit to Point Cloud - a Study of Low-cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations. *XXIII International CIPA Symposium, Prague, 12-16 September 2011, Geoinformatics, vol. 6. Faculty of Civil Engineering. Czech Technical University*. Prague, 2011, pp. 81-88.
- Farjas M. Digital Photogrammetry: 3D Representation of Archaeological Sites. 2009: http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/3d-scanning-and-modeling/Contenidos/Lectura_obligatoria/photogrammetry1.pdf
- Frischer B., Dakouri-Hild A. Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Tools for Discovery in Archaeology. *British Archaeological Reports International Series 1805*. Oxford, 2008.
- Gavryliuk N.A., Ibragimova A.M. Tiurbe khana Khadzhy Geraia (po materialam arkeologicheskyykh issledovaniy 2003-2008 gg.). Kyiv; Zaporizhzhia, 2010.
- Gening V.F. Programma statisticheskoi obrabotki keramiki iz arkeologicheskikh raskopok. *Sovetskaia arkeologiya*. 1973, no. 1, pp. 114-136.
- Gening V.F. Drevniaia keramika: metody i programmy issledovaniia v arkeologii. Kyiv, 1992.
- Gnera V. Zastosuvannia bezpilotnykh litaiuchykh aparatyv pry doslidzheni davnoruskyykh khamiv. *Opus Mixtum*. 2014, no. 2, pp. 36-40.
- Gnera V. Aerokosmichni monitorynh yak instrument pamiatkoznavchyykh doslidzhen (na prykladi pamiatok arkeolohii Brusylivskoho raionu Zhytomyrskoi oblasti). *Avtoref. dys. ... kand. ist. nauk*. Kyiv, 2015.
- Gnera V. Monitorynh zakonservovanykh fundamentiv Desiatynnoi tserkvy za dopomohoiu aerofotoziomky. *Opus Mixtum*. 2015a, no. 3, pp. 147-155.
- Gnera V. Advantage of Using Quadcopters, for Aerophoto Ancient of Old Rus Towns. *Gardarika*. 2015, vol. 5, is. 4, pp. 133-144.

- Gnera V. Novyi pohliad na problemu muzeiefikatsii fundamentiv Desiatynnoi tserkvy. 2016. Access mode: http://mdch.kiev.ua/sites/default/files/public/pdf/15.07._%D0%93%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4.pdf
- Gnera V. Aeromonitorynh pamiatok Starokyivskoi hory (“Hrada Volodymyra”) 2014–2017 rokov. *Opus Mixtum*. 2017, no. 5, pp. 244–247.
- Gnera V. Primenenie kvadroptera dlia aerofotoseмки v arkeologicheskikh issledovaniakh. *Arkheologii i geoinformatika. Tretia mezhdunarodnaia konferentsiia*. Moskva 2017a, p. 15.
- Gnera V.A. Arkheolohichna aerofotoziomka za dopomohoiu kvadropteryv DJI Phantom (porivnialnyi analiz). *Pytannia istorii nauky i tekhniky*. 2017b, no. 4, pp. 52–60.
- Gnera V. Aerofohrammetrychne doslidzhennia arkeolohichnoi spadshchyny. *I Vseukrainskyi arkeolohichnyi zizd*. Kyiv, 2018, p. 35.
- Gnera V., Pashkovskiy O. 3D-modeliuvannia v muzeiefikatsii fundamentiv Desiatynnoi tserkvy. *Opus Mixtum*. 2018, no. 6, pp. 202–204.
- Hashash Y.M.A., Liu L., Su Y.-Y., Song H. Use of New Technologies for Tracking Excavation Progress. *GeoCongress 2006: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age*. Atlanta, 2006, pp. 1–5.
- Iakovleva L., Djindjian F. The Mammoth Bone Dwellings of the Upper Palaeolithic Settlement of Ginty (Ukraine: the First Synthesis). *Arkheolohiia*. 2018, no. 4, pp. 86–94.
- Kjellman E. From 2D to 3D - A Photogrammetric Revolution in Archaeology? 2012. Access mode: http://www.academia.edu/1771011/From_2D_to_3D_a_photogrammetric_revolution_in_archaeology
- Lawniczak M. Photogrammetry-based Spatial Analyses of Settlements in Severynivka and Nemyriv. *Baltic-Pontic Studies*. 2016, vol. 21, pp. 54–68.
- Matera M., Bogacki M., Malkowski W. Neinvazivnye i arkeologicheskije issledovaniia pozdneskifskogo/postskifskogo Konsulovskogo gorodishcha. *Arkheolohiia*. 2017, no. 4, pp. 125–139.
- Nykonenko D.D., Radchenko S.B., Volkov A.V. Vitovtova vezha za danymy suchasnykh fotogrammetrychnykh doslidzhen. *Arkheolohiia*. 2017, no. 4, pp. 120–129.
- Romashko O.V. Typolohiia skifskykh metalevykh kazaniv Pivdnia Skhidnoi Evropy za obiemom. *Istorychni etiudy: zb. nauk. prats*. Dnipro, 2014, pp. 200–202.
- sketchfab.com/centerarchaeologyChernihiv (Center archaeology Chernihiv (Siver Scan)).
- Tietze S. Fly Ranch Aerial Mapping of 400 Acres. Part 1. 2017. Access mode: ibareitall.com/fly-ranch-aerial-mapping-of-400-acers-part-1/
- Tsentr arkeolohii ta starodavnoi istorii Pivnichnoho Livoberezhzhia. 2018. Access mode: www.facebook.com/centrarcheologii.cn/videos/
- Veremeichyk O.M. Keramika seredyny XIII st. z sadyby yuvelira v Liubechi. *Arkheolohiia i davnia istoriia Ukrainy*. 2018, no. 4 (29), pp. 297–316.
- Verhoeven G. Taking Computer Vision Aloft - Archaeological Threedimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection*. 2011, no. 18 (1), pp. 67–73.
- Zhyhola V.S. 3D-skanuvannia v arkeolohii: dosvid ta perspektyvy. *Serednovichni ta Rannomoderni starozhytnosti Tsentralno-Skhidnoi Evropy. Mat-ly XVI Mizhn. stud. nauk. arkeol. konf.* Chernihiv, 2017, pp. 48–55.
- Zhyhola V. Fotogrammetriia v arkeolohii. *I Vseukrainskyi arkeolohichnyi zizd*. Kyiv, 2018, p. 36.
- Zhyhola V. Metrolohichni doslidzhennia 3D-modelei arkeolohichnoi keramiky. *Serednovichni ta Rannomoderni starozhytnosti Tsentralno-Skhidnoi Evropy. Mat-ly XVII Mizhn. stud. nauk. arkeol. konf.* Chernihiv, 2018a, pp. 47–54.
- Zhyhola V.S., Skorokhod V.M. Fotogrammetrychna fiksatsiia u polovii arkeolohii na prykladi pamiatok Podesennia. *Interpretatsiia arkeolohichnykh dzherel: zdobutky ta vyklyky. Mat-ly nauk. konf. molod. vchen.* Kyiv, 2017, pp. 134–137.