

Д.Д. Никоненко, С.Б. Радченко, А.В. Волков \*

## ВІТОВТОВА ВЕЖА ЗА ДАНИМИ СУЧАСНИХ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

*У статті висвітлено результати неінвазивних досліджень архітектури Вітовтової вежі. Детально наведено методика фотограмметричних обстежень археологічних пам'яток.*

*Ключові слова: вежа Вітовта, Нижнє Подніпров'я, Велике князівство Литовське, фотограмметрія, аерофотозйомка, 3D-моделювання.*

Пам'ятки археології Нижнього Подніпров'я складають вагому частку культурного надбання півдня України. І хоча на багатьох з них проводилися археологічні дослідження, частина досі залишається поза увагою фахівців. Однією з таких «білих плям» є кам'яна вежа, що знаходиться в межах с. Веселе Херсонської обл. (рис. 1). Об'єкт представляє собою круглу башту, складену з місцевого вапняку, яка височіє на правому березі Дніпра, біля греблі Каховської ГЕС. Серед краєзнавців та небагатьох дослідників за пам'яткою закріпилась назва — «Вітовтова вежа».

Метою статті є висвітлення результатів неінвазивних досліджень об'єкту, що були здійсненні весною 2017 р. командою фахівців Національного заповідника «Хортиця». Авторами були поставлені наступні завдання:

1. Повністю вивчити архітектуру башти, включаючи всі видимі архітектурні елементи.
2. Дослідити прилеглу до вежі територію.
3. Створити 3-D модель об'єкту, яка буде мати вимірну точність.
4. Створити ортофотоплан прилеглої місцевості.
5. Описати методику фотограмметричних досліджень архітектурних споруд на прикладі обраного об'єкту.

\* НИКОНЕНКО Дмитро Дмитрович — старший науковий співробітник, Національний заповідник «Хортиця»

РАДЧЕНКО Симон Богданович — магістрант Київського національного університету будівництва і архітектури

ВОЛКОВ Анатолій Володимирович — старший науковий співробітник, Національний заповідник «Хортиця»

Беручи до уваги, що вказана пам'ятка ніколи не досліджувалась археологічно, практично не відома в науковій літературі, не згадується в історичних джерелах та перебуває під загрозою знищення під час запланованого будівництва другої черги греблі Каховської ГЕС, — актуальність даних досліджень не підлягає сумніву.

Єдиною комплексною розвідкою в історії башти Вітовта у вітчизняній літературі на сьогодні є стаття А.Г. Неділько, в якій дається узагальнення існуючих гіпотез щодо виникнення названої споруди (Неділько 2016). Ретельне вивчення історичного контексту будівництва башти не входить до поставлених нами в даній статті завдань, тому не будемо детально на цьому зупинятись. Тим не менш зазначимо основні положення, на яких базуються припущення дослідників, щодо історії пам'ятки.

На сьогоднішній день прийнято вважати, що башта у с. Веселе датується кінцем XIV ст. — початком XV ст. і пов'язана з Великим князівством Литовським. Традиційно, її будівництво відносять до діяльності Великого князя Вітовта, направленої на укріплення південно-східних кордонів держави та облаштування митної системи (Неділько 2016, с. 98—99).

Відомо, що у XIX ст. башта точно існувала і використовувалась князем Петром Миколайовичем Трубецьким для забезпечення водою свого господарства. Для цього у 1880-ті рр. вона була переобладнана, а для збільшення тиску води надбудований ще один ярус, стіни якого збереглися до сьогодні. Башта отримала гостроверхий дах з червоної черепиці. В такому вигляді її можна побачити на картинах художника Альбіна Гавдзінського, що зберігаються у новокаховській картинній галереї. Дах вежі проіснував до будівництва Каховської ГЕС у середині XX ст. У матеріалах фонду Українського відділення Всесоюзного ордена Леніна проектно-розвідувального та науково-дослідного інституту «Укргідропроєкт» ім. С.Я. Жука Міністерства енергетики та електрифікації СРСР, що зберігається в ЦДНТА України містяться фото із зображенням Вітовтової вежі перед початком будівництва Каховської греблі.

На жаль, свідчень про існування об'єкту до XIX ст., які можна було б точно співвіднести з Вітовтовою вежею поки не виявлено. Гіпотези про її приналежність до архітектури Велико-го князівства Литовського виходять з того, що вежа пов'язана з комплексом Таванської пере-прави, на нині затопленому о. Тавань між су-часними Бериславом і Каховкою.

За свідченнями посла Великого Князівства Литовського Михалона Литвина, на переправі існувала митниця, з якою й ототожнюють Вітов-тову вежу: «...не каким иным более надежным, бо-лее прямым и более проторенным путем, но имен-но этим, древним и весьма наезженным, ведущим от порта Понта Эвксинского, то есть от города Каффы, через ворота Таврики и Тованский пере-воз на Борисфене, а отсюда степью в Киев. Ведь имеют обыкновение ходить туда чужеземные купцы, большей частью тысячьо числом, собрав-шись в группы, называемые караванами, со мно-гими нагруженными повозками и навьюченными верблюдами. Они издревле платили за знак на та-можне предкам Священного Величества Ваше-го, при переправе через Борисфен у Товани. Там и ныне существует сводчатое помещение из цель-ного камня, которое и нами, и жителями Таври-ки, и греками называется Витординской баней. И говорят, что здесь останавливался сборщик нало-гов, великого князя Литвы, собирающий пошли-ну.» (Михалон Литвин 1994, с. 100).

На сьогоднішній день башта Вітовта знахо-диться в межах с. Веселе, на пустирі в 60 м від до-роги, що веде від автошляху міжнародного зна-чення М14, до виноробного господарства князя П.М. Трубецького, у приватній власності якого вона перебуває. Відстань до урізу води стано-вить 120 м, до початку дамби Каховської ГЕС — 200 м. Через ерозійні процеси ґрунту частина нижнього ярусу башти із західного боку знао-диться під землею, тоді як зі сходу рівень сучас-ної денної поверхні збігається із рівнем входу.

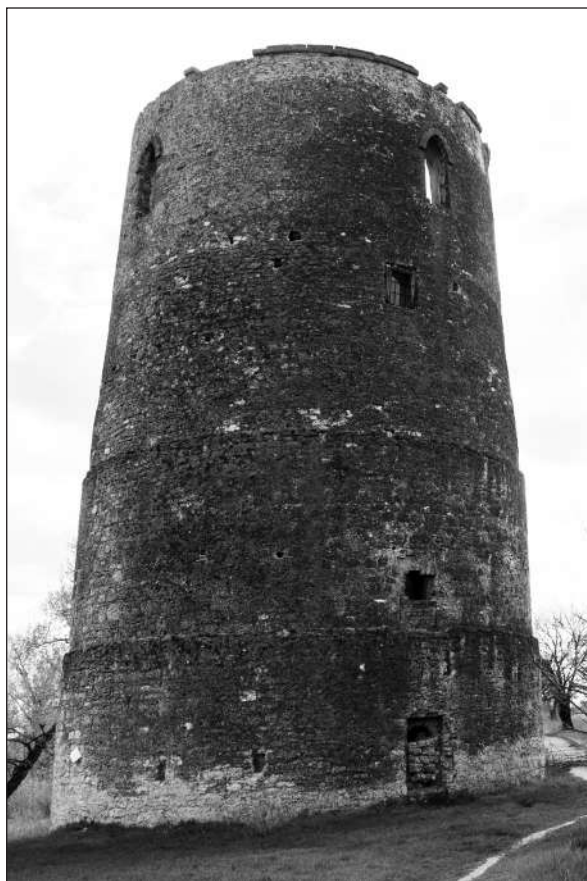


Рис. 1. Вид башти з північного боку

Для отримання найповнішої інформації про інженерні та архітектурні особливості вежі Вітовта було обрано метод створення вимірно точної 3D-моделі та її подальшого досліджен-ня. Процедура отримання вихідних даних для створення 3D полягала у аерофотозніманні вежі та ділянки Землі поруч з нею та подаль-шій фотограмметричній обробці цих знім-ків. На етапі польових робіт на досліджуваних об'єктах було розміщено марки для задання двох умовних систем координат (СК). Перша система — тривимірна прямолінійна ортого-

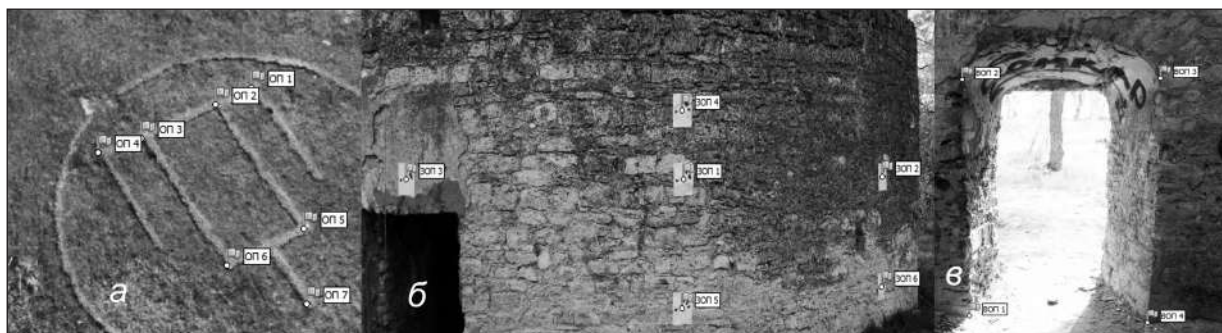


Рис. 2. Розміщення опорних точок умовних систем координат: а — для першої умовної СК; б — для вимірюван-ня конструктивних елементів на зовнішній стіні вежі; в — для вимірювання конструктивних елементів на внут-рішній стіні вежі

нальна система координат була задана за допомогою семи опорних точок з вимірними умовними плановими координатами та перевищеннями. Точки було розміщено на земній поверхні на відстані 8 м від вежі, вони слугували для планової прив'язки та масштабування 3D-моделі (рис. 2а). Каталог координат точок першої СК наведено у табл. 1. Координати точок виміряно лінійними промірами рулеткою та оптичним нівеліром з точністю нівелювання III класу (1). Друга СК — двовимірна криволінійна ортогональна система координат, вісь абсцис якої зростає проти годинникової стрілки паралельно фундаменту вежі по поверхні стіни її першого ярусу, а вісь ординат спрямована перпендикулярно до неї по поверхні вежі в напрямку до її верху. Опорними точками другої СК є фотограмметричні маркери, зафіксовані на поверхні вежі та характерні точки споруди, координати яких виміряно в польових умовах (рис. 2б). Каталог координат фотограмметричних маркерів — опорних точок другої СК наведено в табл. 3. Після створення СК було виконано аерофотознімання та наземне знімання вежі та прилеглих до неї територій, у результаті якого отримано 664 знімки, використаних при обробці даних в лабораторних умовах.

Аерофотозйомка виконувалась за допомогою квадрокоптеру DJI Phantom 3 Standart.

Таблиця 1. Каталог координат опорних точок першої СК

№ точки	X, м	Y, м	Z, см	Кількість проєкцій	Похибка розміщення, см
ОП 1	0	0	0	22	6
ОП 2	1,17	0,07	-6	21	4
ОП 3	3,46	0,05	-2	16	4
ОП 4	4,74	0	-19	14	4
ОП 5	1,22	4,43	8	20	7
ОП 6	3,23	4,47	-12	20	6
ОП 7	2,23	6,45	4	19	5

Таблиця 2. Результати вимірювань вежі Вітовта засобами 3Ds Max

№ ярусу	Зовнішній діаметр, м	Товщина стін, см	Довжина зовнішнього круга стіни, м	Відношення до довжини круга першого ярусу	Висота, м
1	12	140—154	37,76	1	4,3
2	11,6	130—144	36,13	0,965058	4,4
3	11,35	85—120	35,81	0,948419	4,9
4	10,5	61—85	32,04	0,873544	5,5
Загальна висота вежі:					
а) за центральною віссю входу					19,1
б) мінімальна висота					18,3
в) максимальна висота					19,4

Даний БПЛА обладнаний камерою із діагоналлю матриці 1/2,3", роздільною здатністю 12,4 Мпікс, об'єктивом з діафрагмою f/2,8 та здатною знімати у форматі RAW. Камера закріплена на роботизованому підвісі, який обладнаний амортизаторами для запобігання вібраціям. Підвіс рухомий і може змінювати положення камери у вертикальній площині в межах 90°. Час польоту даного БПЛА складає близько 25 хв. Для отримання необхідної кількості знімків було витрачено близько 1,5 години польотного часу. Через розтягнутість процесу зйомок у часі, поступово відбувалась зміна природного освітлення. Різні умови освітлення на знімках склали певні труднощі в процесі подальшої обробки фотоматеріалу і привели до необхідності попередньої корекції та ручного підбору балансу яскравості і контрасту програмними методами.

Необхідний для створення 3-D моделі набір знімків має складатися як з вертикальних, так і зі зроблених під кутом кадрів. Для отримання кращих результатів знімки повинні мати велику площу перекриття один одного, особливо в місцях складних деталей та переходів поверхні об'єкту з однієї площини в іншу. Кожний отриманий знімок має тривимірні координати, завдяки вбудованому у квадрокоптер GPS-пристрою та альтиметру, що збільшує точність позиціонування моделі.

Основну перепону при виконанні аерофотознімання складає значна кількість металевих конструкцій, розмішених у вежі, та неможливість навігації квадрокоптера всередині об'єкта, через що якість моделювання інтер'єру істотно нижча, ніж якість інших фрагментів моделі. Розміщення опорних точок, всі підготовчі та виконавчі фотограмметричні роботи проведено з урахуванням інструктивних вимог до аерофотограмметричного та наземного знімання (Назаров 2006, с. 30—32, 304—316).

За знімками, отриманими у форматі RAW, програмним забезпеченням Agisoft Photoscan



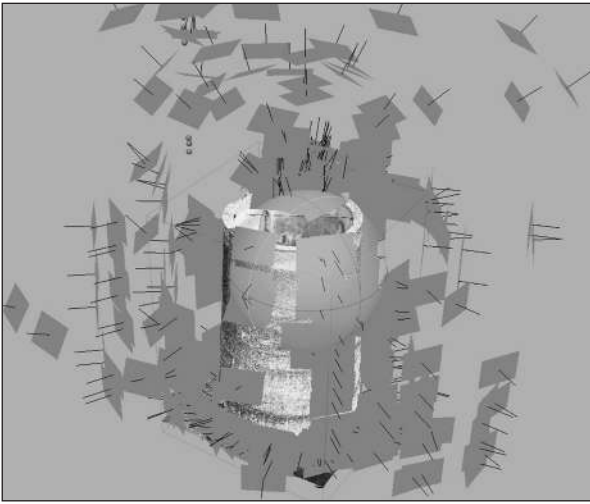


Рис. 3. Визначення положення знімків у просторі та їх взаємного орієнтування

Про 1.1.6. було визначено дисторсію та параметри камери. Дисторсія корегувалась автоматично у програмному контейнері Camera RAW.

Створення тривимірної моделі у Photoscan Pro передбачає первинну обробку результатів аерофотознімання, визначення зайвих та рухомих об'єктів на знімках та виключення їх з процедури обробки даних. Це необхідно для точнішого взаємного орієнтування знімків, особливо в умовах декількаденного аерофотознімання. Після обробки знімків відбувається внутрішнє орієнтування знімків — визначення положення площини знімка відносно центру фотопроекції та взаємне орієнтування — визначення розміщення центрів проекції знімків відносно один одного (Лобанов, Бузов 1987, с. 152—154). На цьому етапі кількість активних знімків зменшено до 554 через немож-

Таблиця 3. Каталог координат опорних точок, використаних при прив'язці растрових розгортки вежі Вітовта

№ пункта	X, см	Y, см
Розгортка зовнішньої стіни вежі		
ЗОП 1	0	0
ЗОП 2	306	0
ЗОП 3	-301	0
ЗОП 4	0	62
ЗОП 5	0	-116
ЗОП 6	305	-121
Розгортка внутрішньої стіни вежі		
ВОП 1	0	0
ВОП 2	0	194
ВОП 3	163	194
ВОП 4	163	0



Рис. 4. Тривимірна модель вежі з текстурою

ливисті вирівняти всі фото (рис. 3). Під час взаємного орієнтування формується розріджена хмара точок (182495 точок).

За першою умовною системою координат було виконано зовнішнє орієнтування моделі. За заданими координатами та вказаним місцеположенням опорних точок на фотознімках автоматично обчислено координати всіх точок тривимірної моделі та хмари точок, визначено їх взаємне положення і також похибку визначення умовних координат. Кількість проекцій опорних точок на фотознімках та похибки їх розміщення наведено в табл. 1. Після виконання зовнішнього орієнтування, кожна з визначених точок моделі набула унікального набору координат відповідно до умов запроектованої системи. Створення умовної системи координат є необхідним для забезпечення достатньої вимірної точності планових координат точок та коректнішого визначення взаємного положення знімків, адже точність визначення координат за допомогою GPS квадрокоптера недостатня для ведення вимірювань конструктивних елементів вежі.

Після виконання зовнішнього орієнтування було створено та експортовано такі дані для дослідження:

1) хмара точок вежі Вітовта (17 371 872 точки), прив'язана до першої умовної системи координат. Хмару точок експортовано у форматах XYZ та PLY;

2) створена на основі хмари точок текстурована тривимірна модель (рис. 4) вежі Вітов-

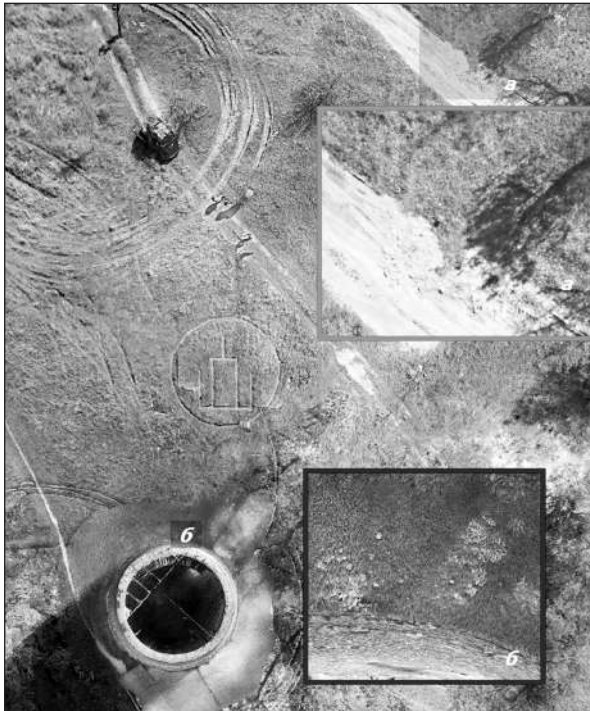


Рис. 5. Фрагмент ортофотоплану вежі Вітовта та прилеглої території

та (3 474 300 граней), збережена у форматах OBJ та 3DS. Текстуру моделі збережено у форматі JPG;

3) ортофотоплан (растрове зображення, отримане шляхом перетворення проєктивних відображень точок з центральної проєкції в планову ортогональну (Фотограмметрія... 2014, с. 15) досліджуваної ділянки, збережений у форматі GeoTiff з даними про прив'язку до умовної системи координат.

Візуальне дослідження ортофотоплану дозволило визначити розміщення імовірних фрагментів стіни зруйнованої споруди (а) та фундаментної кладки (б) поруч з вежею Вітовта (рис. 5).

За допомогою 3D-моделі засобами програмного забезпечення 3Ds Max було визначено зовнішні та внутрішні діаметри споруди, товщину стін та висоту вежі (рис. 6). Похибка вимірювань відстаней не перевищує 5,0 см.

Кожен ярус вежі було імпортовано до 3D Max як окрему модель та досліджено незалежно від інших. Параметри діаметрів та товщини визначено на основі серій з двадцяти промірів.

Аналіз отриманих результатів вимірювань у 3Ds Max дозволяє зробити такі висновки:

1) Висота вежі (за центральною віссю входу) становить 19,1 м. Через те, що станом на сьогодні вежу розміщено на схилі, нормаль від її верху коливається від 18,27 м до 19,40 м. У контексті такого значного перепаду висот інтерес становлять бетонні плити на схилі поруч з вежею, покликані стримувати потоки води та укріплювати схил. Наявність цих плит актуалізує питання інженерної та гідротехнічної безпеки пам'ятки.

2) Товщина стін вежі змінюється не лише від першого ярусу до четвертого, а й коливається в межах ярусу (рис. 7). Для перших двох ярусів дисперсія значень товщини становить 15 см, а для третього — 35 см. При цьому для нижніх ярусів товщина стін у межах ярусу не залежить від висоти, а на третьому значно зменшується, що свідчить на користь ідеї про пізнішу надбудову четвертого ярусу над третім. Товщина стін

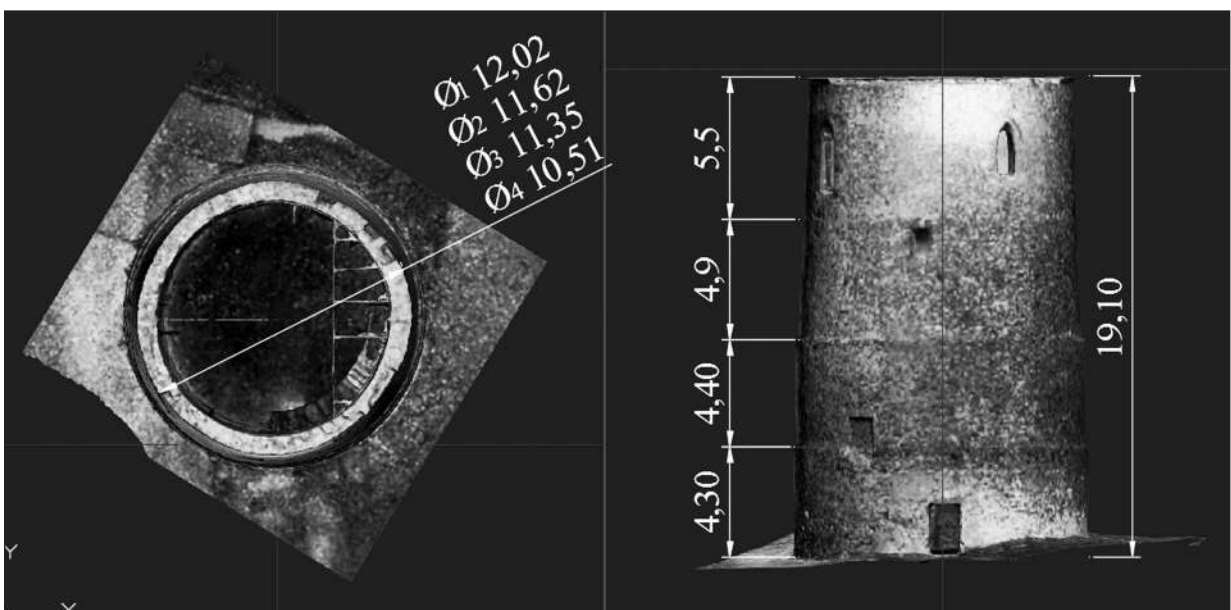


Рис. 6. Загальна висота вежі, діаметри та висоти окремих ярусів



четвертого ярусу становить 60—85 см. Товщина перших трьох ярусів явно вказує, що башта мала пряме відношення до фортифікаційних споруд.

3) Зміна товщини стін є причиною відмінностей у діаметрах різних ярусів споруди. Зовнішній діаметр вежі зменшується зі збільшенням висоти (від 12 м до 10,5 м), а внутрішній зростає (від 8,9 м до 9,3 м). Це призводить до візуального нахилу споруди на верхніх ярусах.

4) Зовнішній діаметр верхнього ярусу вежі складає 10,5—10,8 м з урахуванням коника будівлі, плити якого виступають за межі стін ярусу на 15—20 см. При вимірюваннях конструктивних елементів споруди враховувались значення діаметра верхнього ярусу без коника будівлі. Це значення складає 10,2—10,3 м.

Результати вимірювань тривимірної моделі представлено в табл. 2.

За допомогою програмного забезпечення CloudCompare 2.8.1. було виконано перепроектування хмари точок вежі на циліндр діаметром 12,02 з центром в точці (x, y) –2,43; –17,96. Центральна вісь циліндра збігається з віссю аплікат. Після цього циліндр розгорнуто на площину, а отриману пласку хмару точок растровано. Застосований механізм розгортки циліндричної моделі детально описаний у роботі Е.А. Мітюшова та Л.Л. Мітюшової (Развертки...[Електронний ресурс]). Таким чином, отримано растрові розгортки зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни вежі. Для вимірювання параметрів архітектурних елементів будівлі растрові розгортки було прив'язано до умовних сис-

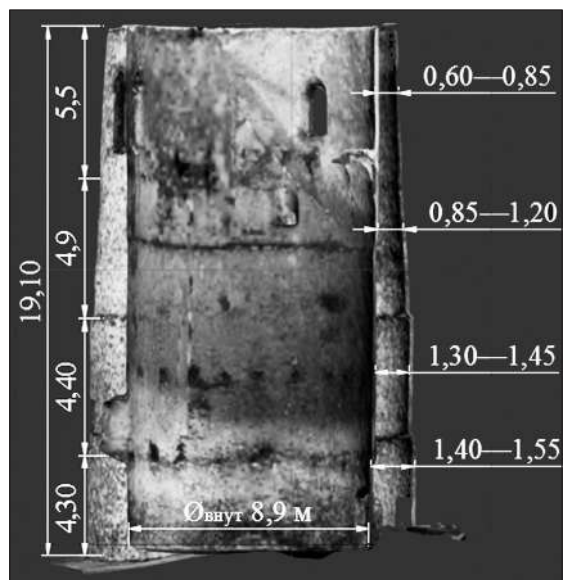


Рис. 7. Поперечний розріз вежі та виміряні значення товщини стін

тем координат у ГІС Quantum версії 2.14.3. За прив'язаними растрами виконано лінійні проміри. Опорними точками для прив'язки растра зовнішньої розгортки циліндра є фотограмметричні маркери, розміщені на першому ярусі вежі. Опорними точками прив'язки внутрішньої розгортки стали заздалегідь виміряні характерні точки внутрішньої арки входу вежі (табл. 3). Похибка прив'язки і вимірювань на обох растрах не перевищує 5,0 см, а дисперсія виміряних значень параметрів однакових конструктивних елементів — 10 см. Прив'язку виконано за лінійним типом перетворення.

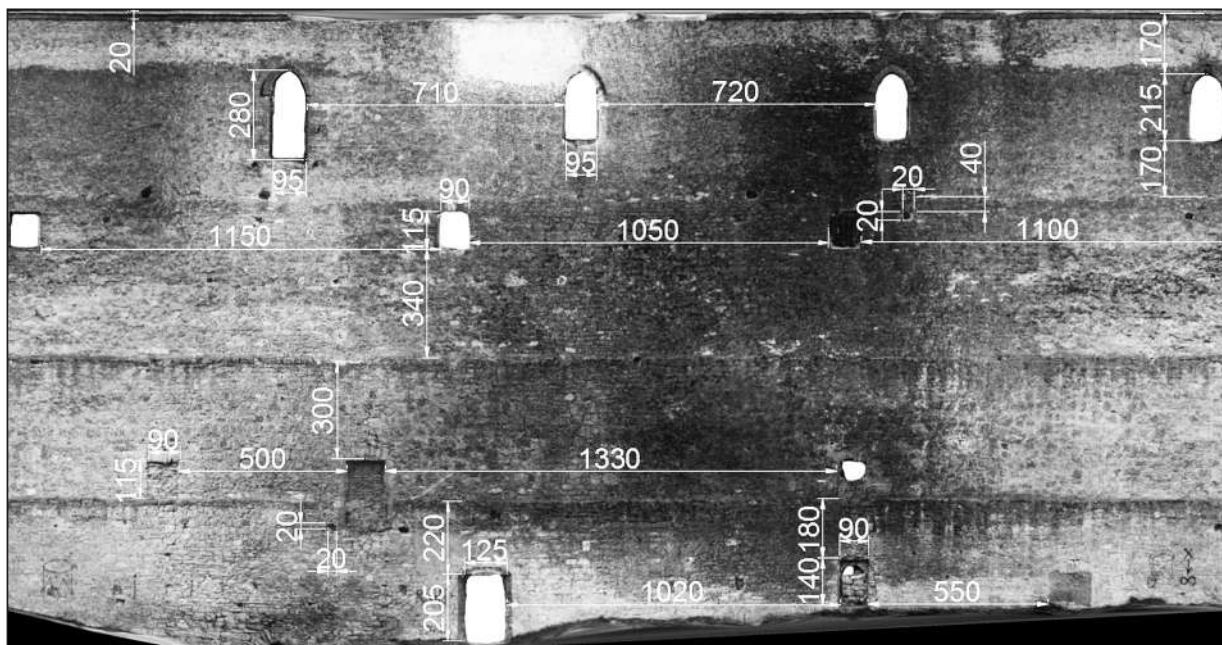


Рис. 8. Зовнішня розгортка вежі Вітовта з виміряними конструктивними елементами

На прив'язаних растрах у середовищі QGIS було виконано вимірювання конструктивних елементів вежі (рис. 8). При вимірюванні значень довжини у напрямках, непаралельних осі ординат, необхідно враховувати коефіцієнт зміни довжини круга залежно від ярусу вежі. Цей коефіцієнт дорівнює відношенню довжини круга вимірюваного ярусу до довжини круга нижнього ярусу вежі і поданий у таблиці 2. Для внутрішньої розгортки похибки вимірювань через дисперсію діаметрів не перевищують дисперсію параметрів конструктивних елементів, тож коефіцієнт вважаємо рівним одиниці.

На першому ярусі розташовано три архітектурні елементи та балкові отвори. Балки прямокутні, їх параметри —  $20 \times 20$  см. П'ять балкових отворів розташовано в ряд на відстані 70 см від верху першого ярусу. Ще декілька отворів з схожими параметрами розташовано на різній відстані від основи вежі. Такі балки могли слугувати опорами для сходів на другий ярус, на якому знаходиться окремий вхід.

Параметри вхідного отвору до вежі зовні —  $205 \times 125$  см. Відстань до верху ярусу — 220 см. Навпроти входу розміщено замурований отвір із подібними параметрами —  $108 \times 125$  см зовні, відстань до верху ярусу — 210 см. Імовірно, приміщення вежі має два входи на першому ярусі з однаковими параметрами, при цьому один з входів замуровано і частково засипано наносним ґрунтом. Характеристики цих входів зсередини вежі також однакові — отвори арочні, висота прямої частини — 205 см, висота арки — 240 см, ширина входу — 150 см.

На першому ярусі також розташовано замуроване прямокутне вікно  $140 \times 90$  см, висота до верху ярусу — 180 см. Параметри цього вікна зсередини збігаються з внутрішніми параметрами вікон другого ярусу.

Крім цього, тут розташовано три додаткових конструктивних елементи, висота яких над поверхнею землі не перевищує 40 см. Визначити їх призначення неможливо без виконання земляних робіт, імовірно, вони були стічними отворами вежі. Крім того не виключено, що башта мала підвальне приміщення.

Відстані між входами і вікном неоднакові. Замурований вхід знаходиться приблизно навпроти дійсного входу до вежі.

Зовні і зсередини всі віконні та дверні отвори вежі на трьох нижніх ярусах обрамлені арочно. Зовні обрамлення складається з блоків, розташованих вздовж верхньої частини вікна. Кількість блоків нерегулярна, залежить від їхнього розміру і змінюється від 8 до 13. Зсередини чвертями обрамлено арочні отвори з боків та зверху. Арочним обрамленням характеризуються не лише вікна та входи, а й «стічні» отвори.

Всередині вежі на висоті зовнішніх балкових отворів першого ярусу розташовано ряд внутрішніх (рис. 9). Вони сильно зруйновані, проте мінімальні параметри отвору збігаються з балковими отворами зовні —  $20 \times 20$  см. На другому ярусі на висоті 140 см від його початку також розташовано ряд отворів з такими самими параметрами, рівень якого приблизно збігається з основою металевих сходів на четвертий ярус, надбудований у XIX ст.

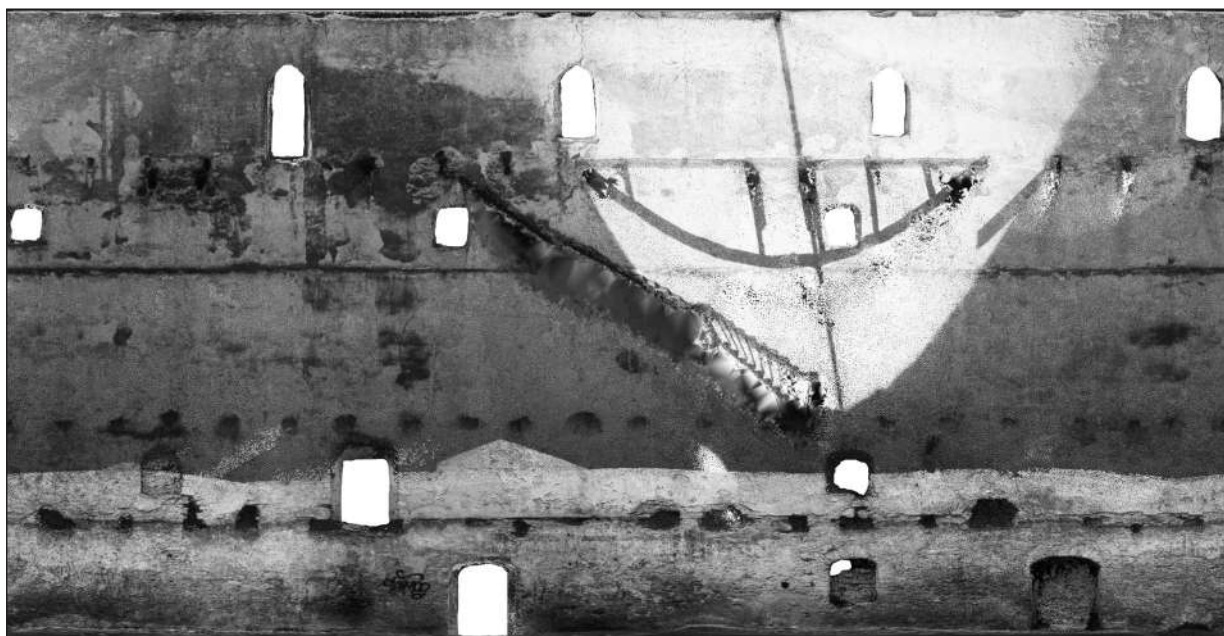


Рис. 9. Внутрішня розгортка вежі Вітовта





Рис. 10. Середньовічні круглі вежі:  
 а — Кам'янецька вежа (Білорусь);  
 б — донжон у м. Лілльбонн (Франція)

Параметри вхідного отвору на другому ярусі аналогічні параметрам входів першого ярусу. Цей отвір впущено на рівень ряду балкових отворів, тобто його висота над першим ярусом складає 115 см, а загальна висота — 205 см. Наявність вхідного отвору на другому ярусі підтверджує припущення про існування в минулому сходів зовні вежі для безпосереднього входу на другий ярус.

Крім вхідного отвору, тут розташовано два замуrowаних вікна з параметрами  $115 \times 90$  см (за шириною вони збігаються з вікном першого ярусу). Вікна неточно зорієнтовані на північ та південний-захід. Параметри арочних отворів вікон зсередини вежі такі: висота отвору — 115 см, висота арки — 150 см, ширина отвору — 90 см. Всі архітектурні елементи другого ярусу знаходяться на відстані 3,0 м від його верхнього краю.

На третьому ярусі вежі розташовано три вікна з параметрами  $115 \times 90$  см, подібних за розміром до вікон другого ярусу. Ці отвори розміщено на однаковій висоті — 3,35—3,40 м від початку ярусу та приблизно на однаковій відстані між собою — 10,5—11,5 м. Одне з цих вікон, умовно зорієнтоване на північ, знаходиться в одному вертикальному ряду з вікнами першого та другого ярусу (рис. 9). На рівні верхнього краю цих вікон на різній відстані між собою розташовано п'ять балкових отворів  $20 \times 20$  см, імовірно, шостий отвір замуrowано.

Вздовж верхнього краю третього ярусу розташовано ряд уламків металевих балок, імовірно, синхронних з періодом використання четвертого ярусу вежі.

Четвертий ярус вежі, як відомо, було споруджено пізніше, це підтверджено і його архітектурними елементами. Кладка на цьому ярусі

щільніша, тут значна кількість металевих елементів зовні та зсередини вежі, а параметри вікон відрізняються. Віконних отворів тут чотири вони неточно зорієнтовані за сторонами світу. Їх параметри —  $225 \times 90$  см, крім південного, його висота — 275 см. Форма цих вікон також відрізняється — їх арки гострокутні, обрамлені одинадцятьма цеглинами зверху та чвертями по боках зовні та зсередини (по шість чвертей з кожного боку, а на південному вікні — по вісім). Відстань від верхньої точки арки до верха ярусу — 160 см. Відстань між вікнами приблизно однакова і складає 6,7—7,3 м.

Вежа завершується коником з висотою 20 см й глибиною 15—20 см від зовнішнього краю стіни. Коник складено з плит, які, втім, збереглись не вздовж всього кола вежі.

При детальному інструментальному дослідженні виявилось, що кількість ярусів будівлі, які простежуються ззовні не співпадає з кількістю поверхів башти. Висота ярусів, облаштування вхідних та віконних отворів, та сліди від внутрішнього перекриття башти вказують на те, що при чотирьох ярусах вона мала п'ять поверхів. Верхній ярус збігається з останнім поверхом і завдяки тому, що був надбудований пізніше цікавить нас в останню чергу. Основний інтерес становлять перші три будівельні яруси. Порівняння розгортки зовнішньої та внутрішньої поверхонь башти вказує, що сліди від балок перекриття для підлоги другого поверху не співпадають із початком другого ярусу ззовні, а знаходяться нижче цього рівня на 80 см. Так само не співпадає верхній край другого ярусу із отворами перекриття підлоги третього поверху. Судячи з внутрішньої поверхні башти, її третій поверх мав практично таку ж



висоту як і перші два разом. Така ситуація здається малоюмовірною, особливо беручи до уваги, що в такому випадку висота нижнього краю віконних отворів цього поверху над підлогою становила б 5,5 м. Скоріш варто стверджувати, що тут розташовувались два окремих поверхи, з приблизно однаковою висотою. Таким чином припускаємо, що третій поверх Вітовтової вежі був без вікон, над ним розташовувався останній до пізнішої перебудови четвертий. На жаль, верхня частина башти на цьому рівні вкрита товстим шаром пізньої штукатурки, який приховує сліди отворів від балочного перекриття між третім і четвертим поверхами.

Характеризуючи положення віконних отворів вежі варто зазначити, що північний напрям був пріоритетним при їх обладнанні. Саме в напрямку на північ кожний поверх, окрім глухого третього, мав віконний отвір. Усі три отвори розташовані чітко один над одним. Тобто, для функціонування споруди на момент її будівництва, стеження за північним напрямком було пріоритетним завданням. Переправа через Дніпро в районі о. Тавань розміщувалась саме на північ від вежі, що в свою чергу свідчить на користь версії про її давнє походження.

Описані архітектурні параметри вежі дозволяють припустити її середньовічне походження та дають змогу досліджувати її в контексті тогочасних архітектурних здобутків. Серед подібних пам'яток, що безпосередньо належать до архітектурних традицій доби Великого князя Вітовта, найближчою аналогією башти біля с. Веселе можна вважати Кам'янецьку вежу на території сучасної Білорусі (рис. 10а). Схожу конструкцію має башта у французькому місті Лільбонн (рис. 10б). Проте очевидно, що формування архітектурних або археологічних висновків щодо

часу спорудження вежі Вітовта неможливе без виконання додаткових археологічних досліджень. Додаткових робіт потребує і геодезично-фотограмметричне вивчення об'єкта — польові роботи ускладнились неможливістю навігації квадрокоптера всередині вежі та значною кількістю металевих елементів. Утім, навіть первинне фотограмметричне дослідження об'єкта може слугувати джерелом додаткових даних про нього та засобом виконання вимірювань параметрів недоступних і віддалених елементів, визначення тих ділянок, які потребують додаткового дослідження та вимагають особливої уваги. Сформована методика дослідження історичного об'єкта в лабораторних умовах виправдовує себе не лише незалежністю від особливостей польових робіт, а й можливістю отримання додаткової інформації про об'єкт і досягнення значної вимірної точності з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

*Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98).*

*Лобанов А.Н., Буров М.И. Фотограмметрия: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1987.*

*Митюшов Е.А., Митюшова Л.Л. Развёртки линейчатых поверхностей: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://vuz.exponenta.ru/PDF/FOTO/kaz/Articles/Mit\\_Mit.pdf](http://vuz.exponenta.ru/PDF/FOTO/kaz/Articles/Mit_Mit.pdf). — Назва з екрану. — Дата звернення 09.05.2017 р.*

*Михалон Литвин. О нравах татар, литовцев и москвитян. — М.: Московский государственный университет, 1994.*

*Назаров А.С. Фотограмметрия: учеб. пособие для студентов вузов / А.С. Назаров. — Минск: ТетраСистемс, 2006.*

*Неділько А.Г. Витовтова митниця — пам'ятка початку XV століття: проблеми локалізації та сучасного стану // 36. мат-лів Всеукр. наук.-практ. конф. «Минуле і сучасність: Херсонщина, Таврія, Каховка» (16—17 вересня 2016 р.) — Каховка; Херсон: Гілея, 2016. — С. 98—101.*

*Фотограмметрия та дистанційне зондування: Методичні вказівки. — К.: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2014.*

*Надійшла 31.10.2017*

*Д.Д. Ныконенко<sup>1</sup>, С.Б. Радченко<sup>2</sup>, А.В. Волков<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Старший научный сотрудник, Национальный заповедник «Хортица»*

<sup>2</sup> *Магистрант Киевского национального университета строительства и архитектуры*

<sup>3</sup> *Старший научный сотрудник, Национальный заповедник «Хортица»*

## БАШНЯ ВИТОВТА ПО ДАННЫМ СОВРЕМЕННЫХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье приведены результаты неинвазивных исследований каменной башни, находящейся в пределах с. Веселое Бериславского р-на Херсонской обл., близ плотины Каховской ГЭС и традиционно связываемой с деятельностью Великого князя Литовского Витовта. Данный памятник никогда не исследовался археологически, практически не известен в научной литературе и не упоминается в исторических источниках. Доподлинно известно лишь об использовании башни в XIX в. князем П.Н. Трубецким в качестве водонапорной, для находящегося поблизости винодельного хозяйства.

Актуальность проведенных исследований обусловлена подготовкой к строительству второй очереди Каховской ГЭС, и как следствие — возникшей угрозой уничтожения объекта. Для получения полной информации про инженерные и архитектурные особенности башни Витовта выбран метод создания измерительно точной 3D-модели и ее дальнейшего исследования. Фактически была создана цифровая копия строения. Процедура получения исходных цифровых данных состояла из аэрофотосъемки объекта и прилегающего участка Земли, с последующей фотограмметрической обработкой снимков.

В результате проведенных работ установлены внешние и внутренние диаметры строения, высота и толщина стен на всех уровнях. Определены размеры всех архитектурных элементов — оконных и дверных проемов, отверстий от крепления деревянных балок. Погрешность измерений расстояний не превышает 5,0 см. Благодаря детальному инструментальному обследованию башни Витовта установлено, что количество строительных ярусов объекта, которые фиксируются с наружной стороны не совпадает с количеством этажей. Высота ярусов, обустройство и взаимное расположение входных и оконных отверстий, следы от балок внутренних перекрытий указывают на то, что при четырех ярусах башня имела пять этажей. Верхний ярус совпадает с последним этажом, так как был надстроен позже в XIX в. Расположение оконных проемов свидетельствует о наличии на момент строительства приоритетного для наблюдения направления на север. Именно на север от башни предполагается существование давней Таванской переправы.

Установленные архитектурные параметры и особенности башни Витовта позволяют предположить ее средневековое происхождение. Однако, очевидно, что выводы о времени ее возникновения и характере использования на протяжении существования невозможны без проведения археологических исследований.

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* башня Витовта, Нижнее Поднепровье, Великое княжество Литовское, фотограмметрия, аэрофотосъемка, 3D-моделирование.

*Dmytro D. Nykonenko<sup>1</sup>, Symon B. Radchenko<sup>2</sup>, Anatolii V. Volkov<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Senior research fellow of the National Preserve «Khortytsia»

<sup>2</sup> MA student of the Kyiv National University of Building and Architecture

<sup>3</sup> Senior research fellow of the National Preserve «Khortytsia»

## VYTAUTAS TOWER ACCORDING TO MODERN PHOTOGRAMMETRIC STUDIES

The article presents the results of non-invasive studies of a stone tower located within the village Vesele of Beryslav Region in Kherson Oblast, near the dam of Kakhovka hydroelectric power plant (HPP) and traditionally associated with the activities of Vytautas the Great of Lithuania. This monument has never been explored archaeologically, it is in fact unknown in the scientific literature and is not mentioned in historical sources. It is known for certain only about the usage of the tower as a water-supplying one, for a nearby winery in the 19<sup>th</sup> century by Prince P.N Troubetzkoi.

The importance of the research is conditioned by the preparation for the construction of the second stage of the Kakhovka HPP, and as a result, the emerging threat of destruction of the object. The method for creating a measurably accurate 3D model and for its further investigation was chosen. In fact, a digital copy of the object was created to obtain a full information about the engineering and architectural features of the Vytautas Tower. The procedure for obtaining the initial digital data consisted of aerial photography of the object and the adjacent portion of the Earth, followed by photogrammetric processing of the images.

As a result of the works performed, the external and internal diameters of the structure, the height and thickness of the walls at all levels are established. The sizes of all architectural elements are defined: windows and doors apertures and apertures from fastening of wooden beams. Measurement errors do not exceed 5,0 cm. Thanks to a detailed instrumental survey of the Vytautas Tower it is established that the number of building layers of the object that are fixed from the outside does not coincide with the number of floors. The height of the tiers, the arrangement and relative position of the entrance and windows openings, the traces from the beams of the inner slabs indicate that, at four tiers, the tower had five floors. The upper tier coincides with the last floor, since it was built later in the 19<sup>th</sup> century. The location of the window openings indicates that at the time of construction, there was a priority of observation direction to the north. It is to the north from the tower where the existence of the old Tavan crossing is presumed.

The established architectural parameters and features of the Vytautas Tower allow the authors to assume its mediaeval origin. However, it is obvious that conclusions about the time of its occurrence and the nature of its usage during its existence are impossible without performing archaeological research.

*К е у о р д с:* Vytautas Tower, the Dnipro River lower region, Grand Duchy of Lithuania, photogrammetry, aerial photography, 3D modelling.

## References

- Fotogrammetriia ta dystantsiine zonduvannia: Metodychni vkazivky. Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury, 2014.
- Instruktsiia z topohrafichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (HKNTA-2.04-02-98)
- Lobanov A.N., Burov M.I. Fotogrammetriia: Uchebnyk dlia vuzov. Moskva: Nedra, 1987.
- Mikhalon Litvin. O nravakh tatar, litovtsev i moskvitian. Moskva: Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 1994.
- Mitiushov E.A., Mitiushova L.L. Razvertki lineichatykh poverkhnosti: [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: [http://vuz.exponenta.ru/PDF/FOTO/kaz/Articles/Mit\\_Mit.pdf](http://vuz.exponenta.ru/PDF/FOTO/kaz/Articles/Mit_Mit.pdf). Nazva z ekranu. Data zvernennia 09.05.2017 r.
- Nazarov A.S. Fotogrammetriia: ucheb. posobie dlia studentov vuzov. Minsk: TetraSystems, 2006.
- Nedilko A.H. Vytovtova mytnytsia - pamiatka pochatku XV stolittia: problemy lokalizatsii ta suchasnoho stanu. *Zb. mat-liv Vseukr. nauk.-prakt. konf. «Mynule i suchasni: Khersonshchyna, Tavriia, Kakhovka» (16-17 veresnia 2016 r.)*. Kakhovka; Kherson: Hileia, 2016, pp. 98-101.