
¹Maksym Yasynskyi,
²Rostyslav Hnidets,
³Iryna Pohranychna,
⁴Lytvynchuk I.

¹Максим Ясінський,
²Ростислав Гнідець,
³Ірина Погранична,
⁴Ілля Литвинчук

e-mail: maksym.r.yasynskyi@lpnu.ua
ORCID: 0000-0002-8285-4522
e-mail: rostyslav.b.hnidets@lpnu.ua
ORCID: 0000-0003-1351-4986
e-mail: iryna.i.pohranychna@lpnu.ua
ORCID: 0000-0002-4164-6110
e-mail: illia.v.lytvynchuk@lpnu.ua
ORCID: 0000-0002-4635-060X

УДК 726:27-9:004

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦИФРОВАННЯ ЦЕРКВИ СВ. МИКОЛАЯ У м. ЛЬВОВІ

SURVEYING AND DIGITIZATION OF THE ST. NIKOLAI CHURCH IN LVIV

Keywords: architectural heritage, 3D models,
popularization of cultural heritage, photogrammetry.

Ключові слова: архітектурна спадщина, 3D мо-
делі, популяризація культурної спадщини, фото-
грамметрія.

¹ PhD, associate professor Department of
Architecture and Conservation,
Lviv Polytechnic National University,

¹ канд. арх., доцент кафедри архітектури та
реставрації, Національний університет
«Львівська політехніка», Львів

² PhD, associate professor Department of
Architecture and Conservation,
Lviv Polytechnic National University,

² канд. арх., доцент кафедри архітектури та
реставрації, Національний університет
«Львівська політехніка», Львів

³ PhD, senior lecturer Department of Architecture
and Conservation,
Lviv Polytechnic National University,

³ канд. арх., старший викладач кафедри
архітектури та реставрації, Національний
університет «Львівська політехніка», Львів

⁴ Postgraduate student of the Department of
Architecture and Restoration
Lviv Polytechnic National University, Lviv

⁴ аспірант кафедри архітектури та реставрації,
Національний університет «Львівська
політехніка», Львів

<https://doi.org/10.23939/sa2024.01.202>

Abstract

Preservation of cultural heritage is an important aspect of the activities of every country, and modern technologies play an important role here. In this research paper, we will consider the synthesis of traditional and modern methods of researching architectural and historical objects on the example of the oldest sacred sites in Lviv.

Digitization of cultural heritage objects is a technological and modern approach to documenting objects. However, recording the current state of an object alone does not give a complete picture of the object of study. Therefore, the study of historical materials should be combined with the process of digitization, which will allow to obtain more complete information about the object of study.

The article discusses the methods of photogrammetry, laser scanning of buildings and their combination, which allows achieving high accuracy and speed in conducting field surveys of objects. An important aspect of the use of modern methods of object fixation is the ability to obtain data on the state of the object in a short period of time, including even camera work to process the collected materials. The advantage of using photogrammetry is the quick creation of a color map and a fairly detailed building volume, but not enough to make accurate architectural drawings. However, this fixation gives a clear understanding of the loss of color in the plaster, the presence of biological damage and other damage. The advantages of laser scanning are, first of all, its accuracy, which allows for detailed measurement drawings. Therefore, the combination of these two approaches and their combination allows to achieve the best result.

The options for popularizing digitized cultural heritage objects in the form of 3D models and their distribution on the Internet or 3D printing of souvenir models are also considered.

Анотація

Збереження культурної спадщини є важливим аспектом діяльності кожної держави, і тут важливу роль відіграють сучасні технології. У цій дослідницькій роботі ми розглянемо синтез традиційних і сучасних методів дослідження архітектурно-історичних об'єктів на прикладі найдавніших сакральних об'єктів Львова.

Оцифрування об'єктів культурної спадщини – це технологічний і сучасний підхід до роботи з документування об'єктів. Однак одна лише фіксація наявного стану об'єкта не дає повного уявлення про об'єкт дослідження. Тому вивчення історичних матеріалів необхідно поєднувати з процесом їх оцифрування, що дозволить отримати більш повну інформацію про об'єкт дослідження.

У статті розглянуто методики фотограмметрії, лазерного сканування будівель та їх поєднання що дозволяє досягнути високої точності та швидкості при проведенні натурних досліджень об'єктів. Важливим аспектом використання сучасних методів фіксації об'єктів є можливість отримання даних про стан об'єкта за короткий проміжок часу, враховуючи навіть камеральні роботи з опрацювання зібраних матеріалів. Перевагою використання фотограмметрії є швидке створення колірної карти та доволі детального об'єму будівлі, проте недостатнього для виконання точних архітектурних креслень. Проте ця фіксація дає чітке розуміння про втрати кольористики тиньку, наявність біопораження та інші пошкодження. Перевагами Лазерного сканування є в першу чергу точність що дозволяє виконати детальні обмірні креслення. Тому поєднання цих двох підходів та їх суміщення дозволяє досягнути найкращого результату.

Також у статті розглянуто варіанти популяризації оцифрованих об'єктів культурної спадщини у вигляді 3д моделей та поширення їх у мережі інтернет або 3д друку сувенірних макетів.

Постановка проблеми

Традиційні методи передпроектних досліджень, а саме обміри, фотофіксація та історичні дослідження, у прикладному значенні повинні бути доповнені сучасними методами їх дослідження, зокрема, фотограмметрії, сканування, оцифрування і 3D моделювання, що дають можливість більш точно та прецизійно, а головню достатньо швидко створити підстави для творення точної картини технічного стану об'єкта дослідження, його архітектурно-просторових особливостей та стану внутрішнього облаштування, для більш оптимального рішення щодо його збереження та реставрації, на певному етапі чи в майбутньому.

Мета статті

Доповнення дослідження пам'ятки архітектури – церкви св. Миколая у Львові сучасною методикою та методами фотограмметрії, оцифрування та 3D моделювання.

Аналіз досліджень та публікацій

Багата українська архітектурна спадщина, головню в царині храмобудування, стала підґрунтям для численних досліджень як дерев'яних, так мурованих церков. Це, зокрема, стосується пам'яток, що включені були в реєстр національних чи місцевих, і церква св. Миколая, що у Львові, тут не виняток. Глибокі дослідження церковної архітектурної спадщини знаходимо в публікаціях та статтях В. Тимофієнка (Тимофієнко, 2003), В. Вечерського (Вечерський, 2006), П. Ричкова (Ричков, Михайлишин, 2010), Я. Тараса (Тарас, 2015) та багатьох інших. Тематику пам'яток храмової архітектури Львова знаходимо у працях таких львівських дослідників, як В. Вуйцика (Вуйцик, 1991), Р. Липки (Вуйцик, Липка, 1987), І. Мельника (Мельник, 2010), А. Рудницького (Біріольова, Рудницький, 1999), М. Долинської (Долинська, 2014), І. Качора (Качор І., Качор Л., 2004), Ю. Лукомського (Лукомський, 2018), Ю. Диби (Диба, 2012), Ю. Дубика (Дубик, 2014), Р. Гнідця (Гнідець, 2015) та інших. Проте сьогодняшня методика дослідження пам'яток суттєво доповнюється новітніми методами фотофіксації, обмірів та 3D моделювання як існуючих об'єктів, так і гіпотетично відтворюваних.

Виклад основного матеріалу

Географічне розташування України на перетині історичних торговельних шляхів, на своєрідному перехресті культурних впливів Заходу та Сходу сприяло обміну ідеями й досягненнями в галузі мистецтва та архітектури. Тому територія Західної України, а особливо Львова, була віддавна цікавою багатьом етнічним групам населення. Це створило передумови до багатогранного і різноманітного етнічного складу населення України з різними віросповіданнями. Тривале співіснування різних конфесій та їх відмінності стали одною з причин типологічного розмаїття сакральних, адміністративних та громадських будівель провідних міст Західної України. Це спонукало розвиток архітектури в кількох відносно незалежних напрямках. Тому кожен тип культових споруд (церква, костел, синагога, мечеть) відрізняються об'ємно-просторовою структурою та стилістичними особливостями. Їх поєднання з традиціями регіональних художніх шкіл, що походили від давньоруського зодчества, зумовило створення низки видатних храмів.

Про розвиток стильових і конструктивних форм білокам'яного будівництва Галицько-Волинської Русі свідчать нечисленні будівлі XIII—початку XIV ст., які частково збереглися, та результати археологічних досліджень у Львові, Галичі, Василеві, Холмі (Тимофієнко, 2003).

Як і інші давньоруські міста, Львів складався з двох частин: укріпленого дитинця (замку) і підгороддя, також обнесеного валами і частоколом. Дитинець знаходився на верхньому плато сучасної Замкової гори; довкола простягалося підгороддя з головною торговою площею. Житла були лише дерев'яними. Будинки, як свідчать археологічні розкопки багатьох давньоруських міст, мали невеликі розміри, щільно стояли один біля одного. Щодо планувальної структури давньо-

Дослідження та оцифрування церкви Св. Миколая у м. Львові

руського Львова, то дослідники стверджують, що його забудова була доволі регулярною. Тодішнє містобудування підпорядковувалося нормам, законодавчо закріпленими у так званих Кормчих книгах, відомих ще з кінця X ст. Очевидно, що ними також користувалися і в княжому Львові (Мельник, 2010). Дерев'яна забудова давнього Львова не дійшла до нас, проте деякі будівлі сакрального зодчества збереглися.

Найдавнішими храмами Львова, заснованими в XIII–на початку XIV ст., є церкви Параскеви П'ятниці, Св. Онуфрія та Св. Миколи (Тимофієнко, 2003). З часом були побудовані костели Марії Сніжної та Івана Хрестителя (рис. 1), архітектура яких має характерні риси тогочасного західного будівництва – готичного стилю. (Долинська, 2005).

Церква св. Параскеви (вул. Богдана Хмельницького, 77). Первісна будівля церкви не вціліла, а на її місці зараз існує мурований храм середини XVII ст.



а



б



в



г



д

Рис. 1. Найдавніші храми Львова: а – церква Параскеви П'ятниці; б – Церква Св. Онуфрія; в – церква Св. і Миколая; г – церква Пресвятої Богородиці Сніжної; д – Церква Іоанна Хрестителя

Церква Св. Онуфрія (вул. Б. Хмельницького, 36). Об'ємно-просторова характеристика цієї церкви, тобто її дерев'яної первісної будівлі, не відома, та невисвітлена у відомих історичних джерелах. Проте відомо сам факт існування однойменної дерев'яної церкви на місці сьогоденної церкви св. Онуфрія ще в часи князя Льва Даниловича (Долинська, 2005), біля якої поселилися ченці, так тут сформувався монастир. У 1463 р. монастир обновили львівський міщанин Степан Дропан. Майже через століття, близько 1550 р., як доводять історики, князь Костянтин Острозький на місці дерев'яної збудував муровану церкву, яка стала ядром сучасної споруди (Вуйцик, 1991). Спершу храм складався з двох частин, які до XVIII ст. не були з'єднані між собою: основної – так званої «великої церкви», і Троїцької каплиці з південної сторони – «малої церкви». Після багатьох руйнувань від пожеж та воєн пам'ятку постійно відбудовували. Найгрунтовнішу реставрацію здійснено в 1680 р., після турецької облоги 1672 р. У 1701 р. стараннями Лини Красовської, дружини діяльного члена Успенського Ставропігійського братства Миколи Красовського, розширено Троїцьку каплицю. Під час реконструкції 1776 р., проведеної архітектором Францом Кульчицьким, між «великою церквою» і каплицею пробито стіну і з'єднано ці дві споруди в одну (Вуйцик, 1991). Внаслідок цих перебудов та реконструкції 1902 року вона втратила первісний вигляд, а її сучасний вигляд – це конгломерат різночасових нашарувань (Вуйцик, Липка, 1987).

Церкви Св. Миколи (вул. Б. Хмельницького, 28). Вважається, що заснована в XIII ст. церква св. Миколая була надвірною церквою князів, їх родинною усипальницею, але не зовсім зрозуміло, кого з Романовичів могли тут поховати. (Качор І., Качор Л., 2004). Цілком можливо, що заснував її ще Данило або Лев, та в ній молилися князі – засновники Львова (Крипякевич, 1991).

Церква збудована під горою Будельницею, розташовувалась на князівському подвір'ї при древньому Волинському шляху (Тимофієнко, 2003) – торговому маршруті купців, що вів з Волині до Галича (тепер це вулиця Богдана Хмельницького). При Волинському шляху вирувало львівське життя протягом XIII – початку XIV ст. Вздовж нього споруджували храми і будували житло львівські купці та ремісники. Торгували на площі, яка нині зветься Старий Ринок (Біріольова, Рудницький, 1999).

На фоні численних дискусій про княжий Львів не підлягає сумніву той факт, що головним храмом того міста була церква св. Миколая – одна з найдавніших пам'яток монументальної архітектури міста, що дійшла до наших днів. Вона була осередком громадського життя давнього Львова, його духовним центром.

Збудована на території підгороддя церква св. Миколая, котру, можливо, звели з нагоди закладення Львова, дає певне уявлення про характер давньоруського будівництва. На основі археологічних досліджень XX ст. існує версія, що церкву спорудили на давньому цвинтарі на місці старого дерев'яного храму (Качор І., Качор Л., 2004).

1448 р. польському королю Казимиру IV для підтвердження давніх прав церкви св. Миколая представили грамоту, яку надав 1292 р. князь Лев I. Відтак це перша письмова згадка про цю церкву. Згідно з грамотою князя Лева, церква св. Миколая дістала у довічне володіння дворища та землю довкола храму (Біріольова, Рудницький, 1999).

1471 р. церкву звільнили від податків, а 1543 р. король Зигмунд I надав їй право юрисдикції, тобто парох церкви звільнявся від цивільного суду, підлягаючи лише духовному (*brachium regale*), сам виконував судочинство поміж парафіянами в менш значних справах, збирав належні з них чинші, в тому числі і для королівського старости. Себто всі мешканці в границях парафії підлягали церковній владі. У документі 1544 р. записано, що біля церкви містилось помешкання пароха. За пароха Степана (1539–1579) у 1544 р. було засноване братство, членами якого були українські ремісники. Серед них чисельністю виділявся шевський цех. Парох церкви був членом капітули при церкві св. Юра, заснованої владиком Макарієм Тучапським. Під патронатом братства спочатку були церковний шпиталь, тобто захист для знеможених старців, а також невелика школа, а з 1606 р. братство взяло патронат над парафією, виконуючи з 1744 р. замість пароха право юрисдикції. В XVII ст. церква св. Миколая стала церквою українського цеху шевців, які жили у великому числі на передмісті (Качор І., Качор Л., 2004, Крипякевич І., 1991).

Визначніші українські родини, що належали до парохії св. Миколая близько 1600 р., були Красовські, Добрянські, Висоцькі, Дунаєвські, Ковалевські, Мороховські, Корчовські, Рогатинці, Поповичі, Велички (Крипякевич, 1991). Через зубожіння населення передмістя та зменшення серед нього християн в той час храм вже був досить убогим (Качор І., Качор Л., 2004).

Пожежа 1623 р. сильно пошкодила будівлю храму. З письмових джерел відомо, що в 1664 р. за єпископа Афанасія Желиборського (тодішнього єпископа) «...церква Св. Миколая почала муруватися». З 1669 р. Ставропігійське братство надавало гроші на відбудову, котра тривала до 1701 р., про що свідчить напис на арці головної нави (Качор І., Качор Л., 2004).

Церква св. Миколая по своїй об'ємно-просторовій композиції це однонавова, первісно одно-верха, порівняно невелика споруда з прямокутним нартексом та напівкруглою апсидою. З півночі й півдня до нави прилягали дві симетричні однонавові, невеликі за розміром, нижчі від нави каплички, які майже повторюють схему плану основного об'єму та утворюють з ним у плані хрест (Тимофієнко В., 2003).

У другій половині XVII ст. церкву перебудовано й роботи закінчено в 1701 р., як про це свідчить надпис на арці головної нави. До церкви 1776 р. прибудували захристя з північного боку, тоді ж, імовірно, над апсидою з'явилася баня ближче до кінця XVIII ст. (Тимофієнко, 2003). Сліди перебудови виказує характер кладення кам'яних блоків. На східному простінку нави (справа від центральної апсиди, у восьмому ряду від цоколя) помічено вмурований кам'яний блок вторинного використання з перевернутим латинським написом. Отже, стіни перекладено від самого низу, проте планувальна та об'ємно-просторова структура була в основному збережена (Вуйцик В., 1991) У XVIII ст. церква була покрита гонтою.

Вигляд відбудованої церкви зберігся на гравюрі Ф. Пернойера з 1775–1777 рр. (Качор І., Качор Л., 2004). Проте пожежа 1800 р. знищила криті гонтою дахи, купол, вежу-дзвінницю над бабинцем, і тоді побудовано теперішні бані, криті бляхою, цілком можливо, що на зразок давніх (Крипякевич І., 1991). Після відбудови храм набув свого сьогоdnішнього вигляду, а частково перемуровані під час перебудови стіни зберегли обриси давньої будівлі (Качор І., Качор Л., 2004).

Сама церква мурована з тесаних блоків білого вапняку не пізніше другої половини XIII ст. у традиціях давньої галицької архітектури (Мельник І., 2010). Від будівлі XIII ст. залишилися план, нижня частина кам'яних стін і відкриті з-під тиньку при реставрації 1924 р. апсиди, вимуровані з тесаних блоків білого вапняку. Застосування у будівництві тесаного білого каменю було поширене в XII–XIII ст. у Галицько-Волинській Русі, зокрема на Галицькій землі (Вуйцик, 1991). У руках досвідчених майстрів тесаний камінь розкривав свої широкі технічні і пластичні можливості. Тут з нього будували не тільки культові, а й світські споруди. Княжий замок у Львові теж мав кам'яну основу, що підтвердили дані археологічних досліджень. Галицькі зодчі досягли у білокам'яному будівництві високого технічного і художнього рівня, як це, зокрема, спостерігаємо на прикладі Миколаївської церкви.

У 1977 р. було виявлено, що фундамент її апсид на всю глибину складений з каменю грубшої обробки, ніж стіни. Для стін він обтесаний з надзвичайною старанністю і вмінням, припасовка швів тут дуже щільна і точна.

Миколаївська церква хоч і постала наприкінці XIII ст., проте прямих аналогів у давньоруському будівництві не має. У її об'ємно-плановому вирішенні багато спільного з п'яти-камерними українськими дерев'яними храмами. Це одна із неповторних і самобутніх архітектурних пам'яток на терені давньої Галичини (Вуйцик, Липка, 1987). Церква є єдиним постійно діючим храмом Львова протягом усієї історії Львова (Качор І., Качор Л., 2004).

В архітектурі церкви помітний вплив романського зодчества, що пояснюється зв'язками Галицько-Волинського князівства із середньовічною Європою. Теперішня будівля є частково змінена протягом довгих віків. Найстаршою частиною, як вже зазначалося, вважаються мури з гарного тесаного каміння, які відкрито під час реставрації 1924 р. Вони вказують, що церква мала план т.зв. грецького (рівнораменного) хреста.

Як вже зазначалося, церква св. Миколая являє собою своєрідну хрещату в плані споруду, що складається з основного квадратного нефа, навколо якого групуються об'єми вітваря з дещо видовженою півкруглою апсидою, прямокутного бабинця, з півночі і півдня – бічні каплиці з півкруглими апсидами, північна з яких була добудована захристям (рис. 2). Неф і вітварна частина завершені типовими для української архітектури банями з ліхтарями. Об'ємно-планувальна композиція Миколаївської церкви зближує її з храмами Київської та Володимиро-Суздальської Русі, а також має аналоги в архітектурі південних слов'ян. В цьому певною мірою позначився вплив романської будівельної традиції. Поєднання класичного візантійсько-руського хрестовокупольного плану з романською будівельною технікою витворило новий самобутній стиль, характерний для зодчества давньої Галичини (Вуйцик, 1991).

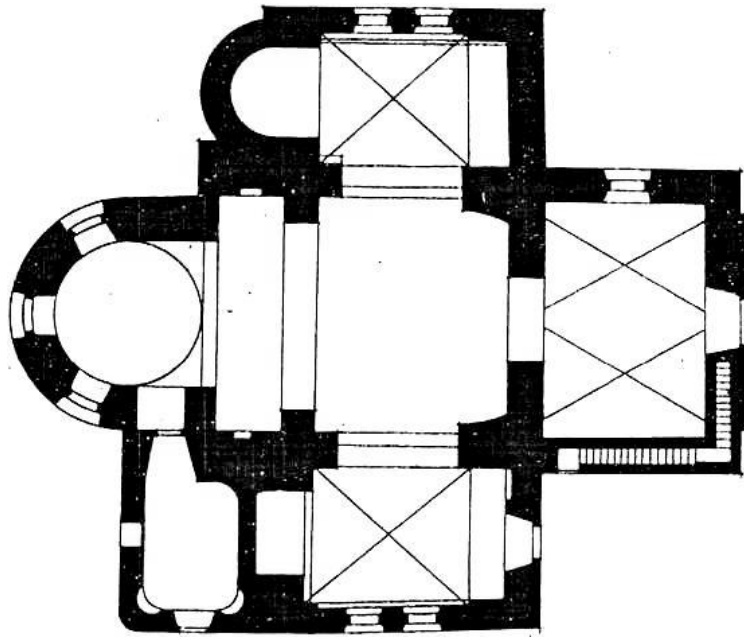


Рис. 2. План церкви святого Миколая

Храму притаманна суворість, простота та монументальність архітектурних форм. Площини стін, позбавлені зовнішнього декоративного оздоблення, та невеликі вікна підсилюють враження міцності (Тимофієнко, 2003).

Архітектура інтер'єра, особливо у верхній частині, має виразні сліди пізньої перебудови. На півциркульній арці, що з'єднує неф з вітварем, вміщено напис з датою реконструкції храму в 1701 р. Решта арок мають злегка кілевидну форму. Із старовинних пам'яток мистецтва тут збереглися ікона Федора Тіронського (XVII ст.) та ікона Богоматері, яка є цінним твором львівського малярства першої половини XVII ст. (рис. 3), за стилем близька до школи художника Федора Сеньковця. (Вуйцик, 1991).

При багатовіковій історії та багато предметів інтер'єру та цінного начиння чи оздоблення змінювались, одні пропадали інші їх замінювали. Але є об'єкти, які залишилися в церкві з різних часів. Зокрема, з давнього вітваря, котрий згорів 1783 року, залишилась ікона Ісуса Христа з Богоматір'ю й Апостолами. Ікона Богородиці у лівому вітварі намальована 1848 р. А. Качмарським, а у правому знаходиться ікона Богородиці з XVII ст., близька за стилем до школи художника Ф. Сеньковича, що залишилась з давнього оздоблення церкви. Інтер'єр церкви походить з XX ст. Іконостас виконали у 1947–1949 роках, розпис стін – у 1955–1957 роках (Качор І., Качор Л., 2004).

Всередині церква незвичайно убога. Старий іконостас погорів 1783 р., залишився з нього тільки один образ Ісуса Христа з Божою Матір'ю й Апостолами (рис. 4). У головному престолі є

стара ікона св. Миколая (рис. 5). Цікавий також образ Богородиці, з рамен якої спливають стяжки з написами, до яких чіпляються грішники. Вдолі змальована морська пронасть і в ній змії з роззявленою пащекою, а також старий хрест у срібній оправі з XV–XVI ст. (Крипякевич, 1991). Фрески на фасаді церкви виконав у 1924 р. Петро Холодний-старший (Качор І., Качор Л., 2004).



Рис. 3. Архітектура інтер'єру церкви із виглядом на ікону Богоматері (Автор фото – Р. Гнідець, 2024)



Рис. 4. Архітектура інтер'єру церкви із виглядом на іконостас (Автор фото – Р. Гнідець, 2024)

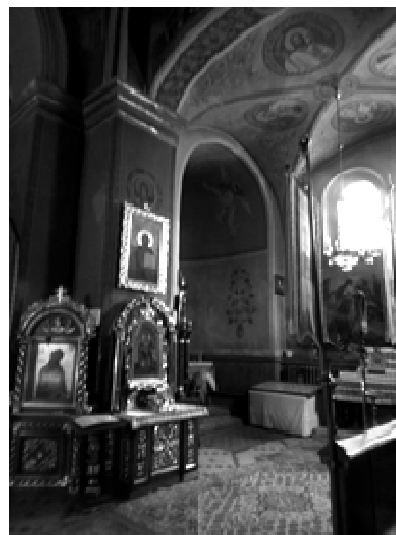


Рис. 5. Архітектура інтер'єру церкви із виглядом на ікону св. Миколая (Автор фото – Р. Гнідець, 2024)

Що стосується території церкви, то вона є невеликої площі, огорожена кованим огороженням на мурованій основі та стовпах (рис. 6). Ковані елементи виготовлені Михайлом Стефанівським у міжвоєнний період (Нога О., 2004) При церкві був старий цвинтар, але з нього збереглися тільки два залишки надгробних плит, вмуровані у підлогу пресвітерії. Повз церкву, на схід, проходить стрімка вуличка «Під брамкою», імовірно, що в цьому місці були ворота до нижчих частин княжого замку (Крипякевич, 1991). У глибині ділянки, ліворуч від церкви, з півночі, знаходиться оригінальний парафіяльний будинок (Мельник, 2010) (рис. 7).

Незважаючи на ґрунтовні перебудови XVII та початку XIX ст., ця церква зберегла свою самобутність, на ній можна виявити риси первісної споруди. Саме завдяки цьому церква св. Миколая серед всіх пам'яток архітектури Львова насамперед заслуговує на підвищену увагу – як єдина збережена церква Львова, яка була закладена ще в княжі часи.

Зазначені історичні факти та проведені дослідження стали основним критерієм для дослідження церкви завдяки новітнім технологіям та її оцифруванню з метою подальшої популяризації та збереження під загрозою знищення в ході війни росії проти України.

Архітектурні обміри методом фотограмметрії є значно ефективнішими та продуктивнішими, займають значно менше ресурсів і часу. Плани та фасади споруд, отриманих фотограмметричним методом, є точними, значно інформативнішими за ручні обміри, завдяки повноті зображень, деталізованими, наочними та дають можливість використовувати результати обмірів у популяризації об'єкта.

Фотограмметрію можна застосовувати в усіх натурних роботах архітектора, які передбачають обмірні та фіксаційні роботи території, екстер'єру, інтер'єру, архітектурних деталей, скульптур, також результати фотограмметрії дають можливість розробляти історико-архітектурні реконструкції втрачених об'єктів, або визначати їх габарити та розміри за архівними знімками; будувати цифрові 3D моделі архітектурних об'єктів, деталей, скульптури, а також руїн таких об'єктів.



Рис. 6. Огорожа навколо церкви, виконана Михайлом Стефанівським у міжвоєнний період



Рис. 7. Парафіяльний будинок біля церкви св. Миколая

Саме тому метод фотограмметрії якнайкраще підходить для опрацювання будівлі церкви св. Миколая. Оскільки завдяки його використанню ми отримаємо доволі точну її 3D модель, з текстурями матеріалів з яких вона побудована. Така модель буде добрим матеріалом для популяризації об'єкта в мережі Інтернет.

Проте для нашого дослідження та подальшого використання матеріалів у процесі розроблення реставраційної документації потрібна буде більша точність моделі. Тому для цього дослідження ми обрали комплексну методику, яка поєднує метод фотограмметрії та лазерного сканування, яке є точнішим та дає достовірніші метричні дані. Відповідно опрацювання об'єкта (фотограмметричне та лазерне знімання) розділено на три етапи.

Перший етап – це фотограмметричне знімання об'єкта дронами DJI Mini 2. Для створення даних (бази даних) графічних матеріалів, тобто набору фотографій об'єкта для подальшого їх опрацювання та створення 3D моделі церкви на їх основі.

Другий етап – це лазерне сканування об'єкта високоточним 3D сканером Leica ScanStation P40 для уточнення 3d моделі, створеної у процесі фотограмметричного знімання.

Третій етап – це лазерне сканування інтер'єру церкви разом з фотографічним зніманням для фотограмметричного створення моделі інтер'єру та доповнення його результатами лазерного сканування.

При обраній комбінації методик кожен етап мав свою основну мету. Акцент фотограмметричного знімання дронами зводився до більш детального опрацювання верхніх елементів об'єкта, таких як дахова структура, об'єми куполів та інших елементів, тих, які неможливо буде опрацювати за допомогою лазерного наземного 3D сканера. Проте з метою створення текстур для всієї будівлі церкви менш детально опрацьовані й інші частини будівлі. Така градація в деталізації була зумовлена обмеженістю часу для польотів дронами в умовах військового стану, що діє в Україні через війну росії проти України.

Саме лазерне сканування церкви відбулося на початку жовтня 2023, в межах наукових досліджень та навчання студентів кафедри архітектури та реставрації Національного університету «Львівська політехніка». Акцентом лазерного сканування був весь об'єкт, як екстер'єр, так і інтер'єр. Проте, оскільки лазерний сканер є наземного базування, вдалося опрацювати не всю зовнішню поверхню об'єкта. Обмежену кількість інформації, за допомогою цього методу, ми отримуємо про покриття даху. Тому важливо суміщати результати фотограмметрії та лазерного сканування об'єкта для отримання найповнішої інформації про об'єкт та його об'ємно-просторову структуру.

Останній етап фіксації об'єкта (опрацювання інтер'єру) відбувався одночасно з лазерним скануванням, оскільки церква св. Миколая є діючою культовою спорудою і в ній часто відбуваються богослужіння та інші просвітницькі заходи.

Як вже зазначалося, створення бази даних фотографій об'єкта для фотограмметричного знімання екстер'єру відбувалося за допомогою дрона DJI Mini 2. Було розроблено схему обльоту церкви (рис. 8) з врахуванням більш детального знімання саме верхньої частини церкви – її дахів та куполів.

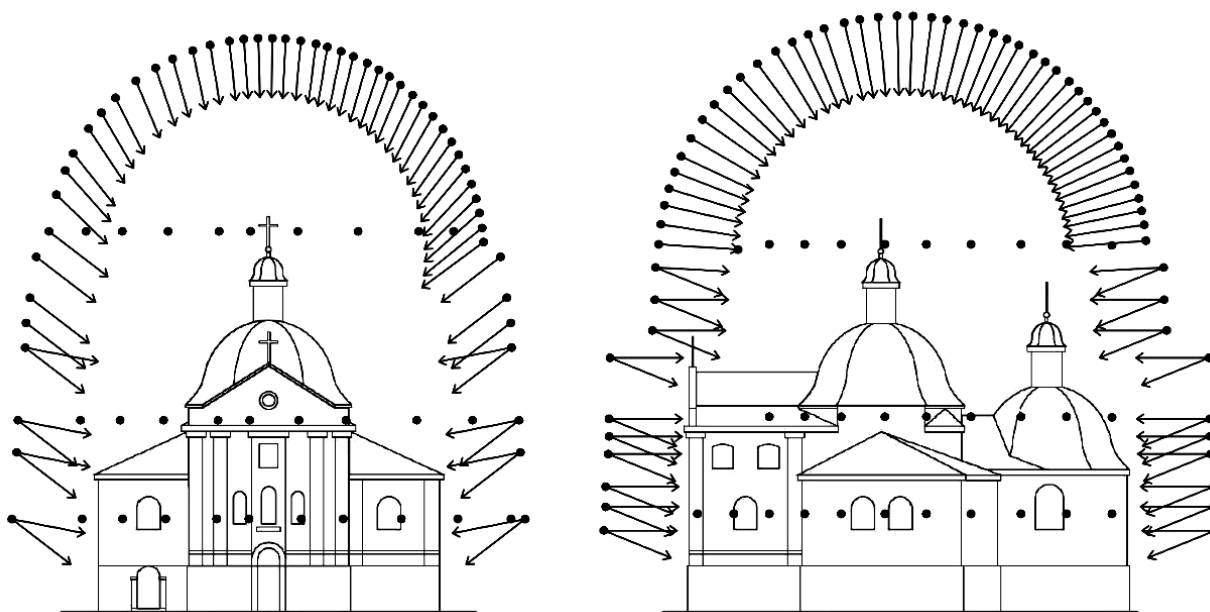


Рис. 8. Схема обльоту церкви св. Миколая для фотограмметричного знімання дронами

Важливим аспектом для фотограмметричного знімання є достатня кількість фотографій об'єкта, а також їх якість, фіксована експозиція та кольоровий баланс (температура білого кольору), м'яка освітленість об'єкта. В процесі обльоту об'єкта дроном ми зробили 360 фотографій об'єкта. Для знімання було обрано день з погодними умовами, максимално сприятливими зйомці – відсутність опадів, вітру до 5 м/с, хмарність, при якій не відбивались чіткі падаючі тіні, часовий проміжок до 2 год дня, що дозволило виконувати сет фотографій протягом 1,5 год без зміни температури кольору природного освітлення

Для нашого дослідження на першому етапі ми використовували програму Reality Capture для оброблення фотографій об'єкта та створення хмари крапок (рис. 9) Програма є доволі проста в користуванні та інтуїтивно зрозуміла. Саме процес роботи в програмі можна коротко описати так: створивши новий проєкт, ми завантажуюмо всі відібрані нами фотографії об'єкта до програми. Запускаємо процес вирівнювання фотографій програмою. На цьому етапі програма на основі штучного інтелекту зшиває фото на підставі методу стереопар та GPS координат, яка була включена під час фотографування. У випадку отримання різнорідних фотографій (наприклад, з іншими характеристиками освітлення, температури білого кольору, низького відсотку перекриття сусідніх фотографій чи на стереопарах) створюються окремі компоненти, які можуть являти собою окремі ізольовані частини об'єкта. У нашому випадку із всього фотосету створився один компонент, який повністю покриває поверхню об'єкта та всіх його частин.

Після того, як ми переконались у створенні необхідного нам компоненту, запускаємо послідовно команди побудови топології об'єкта, побудови розгортки поверхні та текстуровання (рис. 10).

Останній етап – експорт з хмари точок в межах визначеного 3D простору полігональної структури для використання у прикладних програмах 3д-моделювання або перегляду в режимі онлайн на платформах типу Sketchfab (рис. 11).

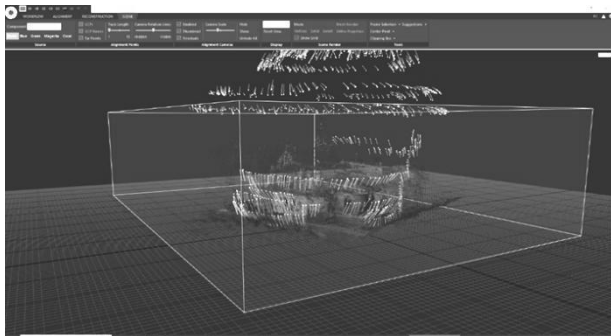


Рис. 9. Процес вирівнювання фотографій програмою на основі штучного інтелекту

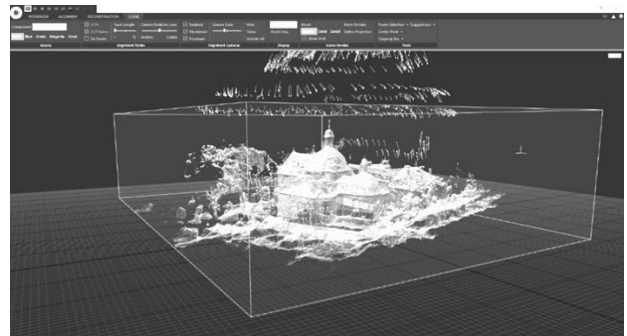


Рис. 10. Побудова розгортки поверхні

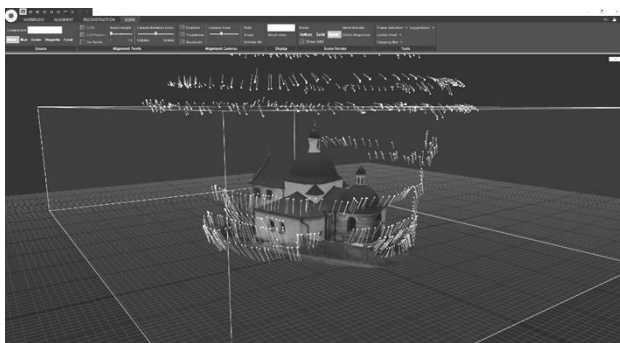


Рис. 11. Послідовне текстуровання

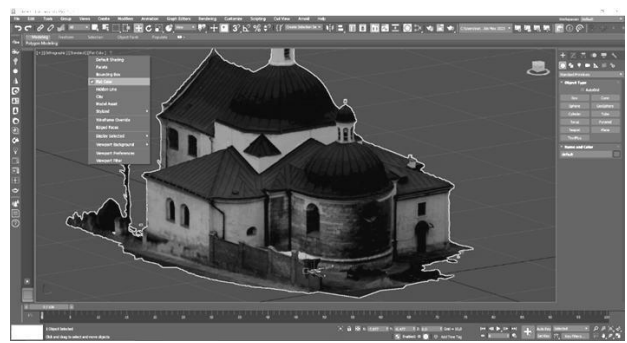
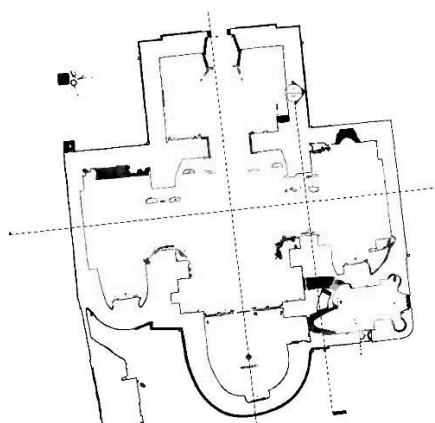


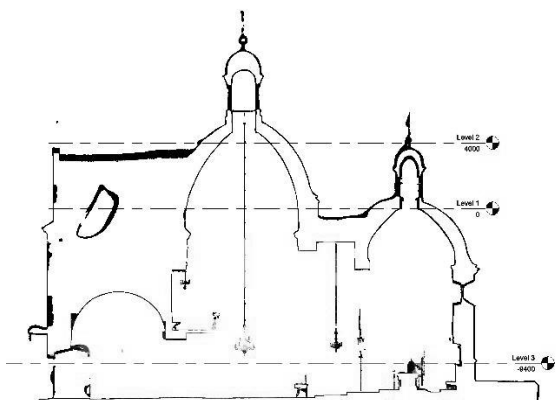
Рис. 12. Полігональна та текстурована поверхня відсканованої церкви в межах визначеного 3D-простору, підготовленої для експорту



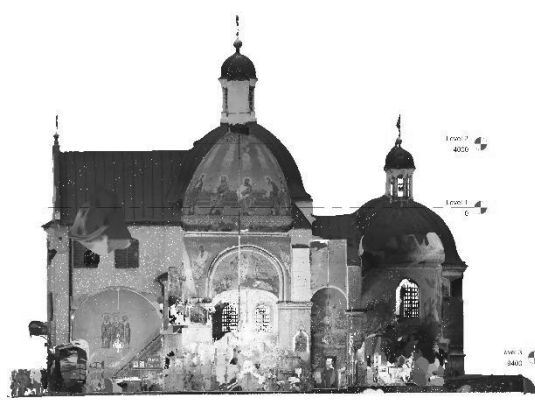
а



б



в



г



д



е

Рис. 13. Результати лазерного сканування церкви св. Миколая та його суміщення з результатами фотограмметрії: а – зведена хмара точок лазерного сканування; б – план об'єкта з хмари точок; в – переріз об'єкта з хмари точок; г – переріз об'єкта після суміщення результатів сканування та фотограмметрії; д – екстер'єр об'єкта після суміщення результатів сканування та фотограмметрії; е – перспективний горизонтальний розріз об'єкта після суміщення результатів сканування та фотограмметрії

В результаті ми отримали доволі точну та детальну модель церкви св. Миколая вже на етапі фотограмметричного знімання (рис. 12) з більш деталізованим верхом будівлі, оскільки більшість фотографій дроном було зроблено саме верхньої частини.

На сьогодні виконано вже всі етапи фіксації – фотограмметричне знімання екстер'єру церкви, лазерне сканування та фотограмметричне знімання інтер'єру. Лазерне сканування церкви виконували приладом кафедри архітектури та реставрації Leica ScanStation P40, який дає високоточну та щільну хмару точок. Для створення точної моделі церкви було проведено її сканування 39 разів з різних точок (станцій) зовні та всередині, що дало можливість створити високоточну модель будівлі (рис. 13, а). Завдяки цій моделі легко можна отримати плани, перерізи, ізометрію чи перспективу об'єкта (рис. 13, б, в). 3d модель, отримана в результаті лазерного сканування, є чорнобілою, хоча наявний лазерний сканер дає можливість робити кольорове сканування об'єкта. Такий спосіб лазерного сканування займає значно більше часу, а сканування однієї станції триває у кілька разів довше. В умовах війни сканування об'єктів для їх фіксації необхідно проводити за короткий проміжок часу та з високою точністю. Тому ми вирішили апробувати методику поєднання фотограмметричного знімання об'єкта з лазерною фіксацією. Окремо обидва етапи можна зробити у відносно стислі терміни, в межах кількох годин, а результати себе повністю оправдовують (рис.13, г, д, е).

Пророблена нами робота дала можливість створити детальну кольорову цифрову модель копію церкви, за короткий період часу затраченого на польові роботи, апробувати суміщення лазерного та фотограмметричного знімання архітектурних об'єктів.

Також цю модель ми використали для розроблення низькополігональної моделі церкви для 3D друку (рис.14).

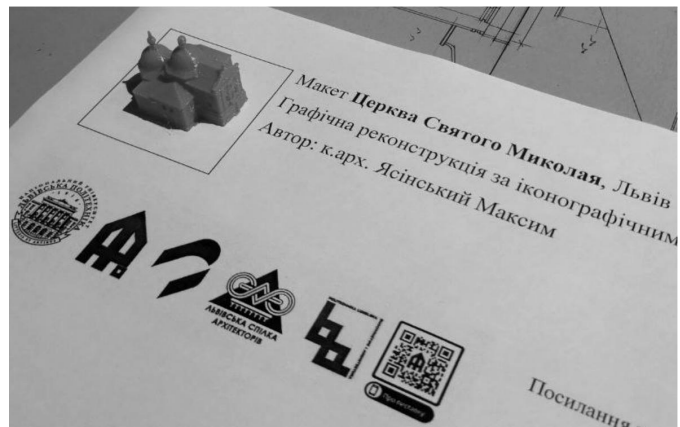
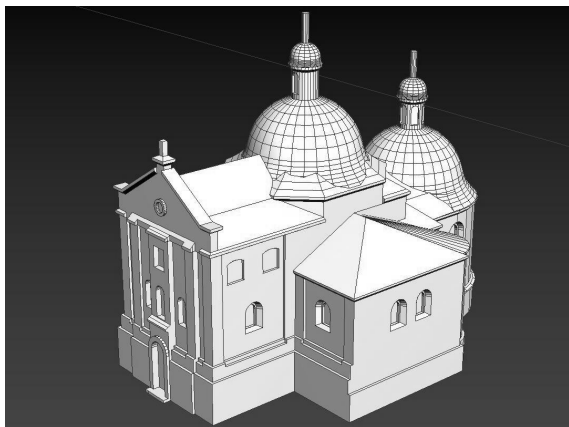


Рис. 14. Низькополігональна модель церкви св. Миколая та її 3D друк на виставці міні-моделей

Висновки

Цифрова обробка об'єктів культурної спадщини у поєднанні з традиційними методами дослідження дає змогу сформуванню повну базу даних об'єкта дослідження. Поєднання різних технологій дозволяє досягнути високої точності та швидкості при проведенні натурних досліджень об'єктів. Крім того, важливим аспектом є можливість отримання даних про стан об'єкта за короткий проміжок часу, враховуючи навіть камеральні роботи з опрацювання зібраних матеріалів. Цифрові копії об'єктів дослідження, отримані в результаті проведених згідно із запропонованою методикою робіт, дають нам додаткові можливості з популяризації цих об'єктів та наявності більш

повної та детальної інформації для їх відновлення у разі їх знищення під час російських ракетних обстрілів українських міст.

Бібліографія

Біріольова Ю., Рудницький А. (1999). Львів: Туристичний путівник. Львів: Центр Європи. Перше видання. 295 с.

Вечерський В. (2006). Українська народна дерев'яна архітектура. Сучасні проблеми дослідження, реставрації та збереження культурної спадщини. 3 (2). С. 29–46.

Вуйцик В. (1991). Державний історико-архітектурний заповідник у Львові / *Худож. Оформл. В. І. Сави; Фотозйомка В. Ф. Ольхом'яка. 2-ге вид., допов.* Львів: Видавництво «Каменярь». 175 с.

Вуйцик С., Липка Р. (1987). Зустріч зі Львовом. Путівник. Видавництво «Каменярь». Львів. 175 с.

Гнідець Р. Б. (2015). Національна ідентичність архітектури українських церков у традиції та новаторстві їх вираження. *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Архітектура.* (836). С. 168–175.

Долинська М. (2014). Львів. Простір і мешканці (історико урбаністичний нарис). *Видавництво українського католицького університету. Львів.* 168 с.

Дыба Ю. Р. (2012). Першовзір архітектурної композиції Успенської церкви у Львові. Львів. С. 108–116.

Дубик Ю. (2014). Історія будівництва дерев'яної церкви Блаженного Миколая Чарнецького у Львові. Народознавчі зошити.

Качор І., Качор Л. (2004). Кризь віки, Львів, видавництво «Центр Європи». Львів. 240 с.

Крипякевич І. (1991). Історичні проходи по Львові / *Авт. Передм. Я. Д. Ісаєвич; Упоряд. Текстолог. опрац. і приміт. Б. З. Якимовича; упоряд. Лл. Матеріалу Р. І. Крип'якевича; Худож. В. М. Павлик. Львів. Видавництво «Каменярь». 167 с.*

Лукомський Ю. В. (2018). Церква Благовіщення у давньому Галичі. Матеріали і дослідження з археології Прикарпаття і Волині, (22), 167–208. URL: <https://doi.org/10.33402/mdapv.2018-22-167-208>

Мельник І. (2010). Довкола Високого Замку шляхами й вулицями Жовківського передмістя та північних околиць міста Львова. Львів: Априорі. 287 с.

Нога О. (2004). Історія життя та творчої діяльності. Михайло Стефанівський. Львів: Українські технології. 108 с.

Ричков П. А., Михайлишин О. Л. (2010). Храмова архітектура міжвоєнної Волині і культурно-історичний контекст. *Проблеми теорії и історії архітектури України*, (10), 126–135.

Тарас Я. (2015). Сакральна дерев'яна архітектура України (X–XXI ст.). Народознавчі зошити, (1), 16–44.

Тимофієнко В. (2003). Історія Української Архітектури, видавництво «Техніка». Київ. 472 с.

References

Biriolova Yu., Rudnytskyi A. (1999). Lviv: Tourist Guide - Lviv: Center of Europe. The first edition. 295 p.

Vecherskyi V. (2006). Ukrainian folk wooden architecture. Modern problems of research, restoration and preservation of cultural heritage, (3 (2)). С. 29–46.

Vuytsyk V. (1991). State historical and architectural reserve in Lviv / *Artist Form V. I. Owls; Photography by V.F. Olkhomyak - Second edition, supplemented. Lviv: «Kamenyar» Publishing House.* 175 p.

Vuytsyk S., Lypka R. (1987). Meeting with Lviv. Guidebook. «Kamenyar» publishing house. Lviv. 175 p.

Hnidec R. B. (2015). The national identity of the architecture of Ukrainian churches in the tradition and innovation of their expression. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Architecture*, (836), 168–175.

Dolynska M. (2014). Lviv. Space and inhabitants (historical urban essay). Publishing House of the Ukrainian Catholic University. Lviv. 168 p.

Dyba Yu. R. (2012). A preview of the architectural composition of the Church of the Assumption in Lviv. 108–116.

Dubyk Yu. (2014). History of the construction of the wooden church of Blessed Mykola Charnetsky in Lviv. Ethnological notebooks.

Kachor I., Kachor L. (2004). Through the Ages, Lviv, «Center of Europe» publishing house. 240 p.

Krypyakevich I. (1991). Historical passages around Lviv / *Author. Prev. Ya.D. Isaevich; arrange Textologist. processed and note B. Z. Yakimovich; according to Ill. Material R. I. Krypyakevich; Artist V. M. Pavlyk. Lviv. «Kamenyar» publishing house. 167 p.*

Lukomsky Yu. V. (2018). Church of the Annunciation in ancient Halych. Materials and research on the archeology of Prykarpattia and Volhynia, (22), 167–208. URL: <https://doi.org/10.33402/mdapv.2018-22-167-208>

Melnyk I. (2010). Around the High Castle on the roads and streets of the Zhovkiv suburb and the northern outskirts of the city of Lviv. Lviv: Apriori. 287 p.

Noga O. (2004). «History of life and creative activity. Mykhailo Stefanivskyi». Lviv: Ukrainian Technologies. 108 p.

Taras Ya. (2015). Sacred wooden architecture of Ukraine (X–XXI centuries). Ethnological notebooks, (1), 16–44.

Timofienko V. (2003). History of Ukrainian Architecture, «Technika» publishing house, Kyiv. 472 p.