

DOI: 10.18372/2415-8151.16.14331

УДК 72.01(477):514.18:515.2

Дорошенко Юрій Олександрович¹,

д.т.н., професор

E-mail: dua159@ukr.net

Пустовойт Руслан Олександрович²,

магістрант

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

E-mail: gmail97@ukr.net

ГЕОМЕТРІЯ КУПОЛІВ ПРАВОСЛАВНИХ ХРАМІВ

Анотація – у статті презентовано узагальнені результати геометричного аналізу форми куполів православних храмів у їх генезисі на основі виявлених пропорційних закономірностей форми та подано геометро-графічний апарат побудови обрису купола православного храму за принципами деформативного конструювання геометричних об'єктів. Запропоновано узагальнену класифікацію форми куполів православних храмів. Розроблено механізм стилістичного рішення форми купола з урахуванням виявлених їх формотворних інваріантів пропорційності і гармонійності. На основі одержаних результатів геометричного аналізу форми куполів можна розвивати канонічні традиції архітектури православ'я із збереженням стилістичних особливостей об'єкта проектування. Представлені у статті результати можуть використовуватися під час реставрації, реконструкції та будівництва нових об'єктів сакральної архітектури православ'я: соборів, храмів, церков, монастирів тощо.

Ключові слова: сакральна архітектура Православ'я, купол православного храму, геометрія куполів, формоутворення, геометричний аналіз, архітектурна пропорційність, деформативне конструювання, коробова лінія, біарк.

Постановка проблеми. Сакральна архітектура Православ'я незмінно привертає до себе увагу дослідників, архітекторів, дизайнерів. При цьому окрема увага звертається на

¹ © Дорошенко Ю. О.

² © Пустовойт Р. О.

куполи православних храмів – як визначальної особливості сакральної архітектури православ'я.

Останнім часом активізувалися процеси реставрації, реконструкції та будівництва нових об'єктів сакральної архітектури православ'я: соборів, храмів, церков, монастирів тощо. Оскільки всі будівлі такого роду традиційно згори прикрашаються маківками – православними куполами, то актуалізується потреба науково обгрунтованого та канонічно відповідного їх відтворення. Тому логічним виявляється дослідження геометрії куполів, зокрема, з'ясування геометричних аспектів їх формоутворення відповідно до усталених церковних канонів та архітектурно-дизайнерської теорії і практики.

На основі одержаних результатів геометричного аналізу форми куполів можна розвивати канонічні традиції архітектури православ'я із збереженням стилістичних особливостей об'єкта проектування. Сучасна архітектурно-будівельна практика свідчить, що внаслідок простого копіювання архітектурного прототипу без належного аналізу його геометрії далеко не завжди вдається зберегти канонічні традиції у новоствореному об'єкті, нерідко і ненавмисно певним чином їх спотворюючи.

На формування архітектурного рішення православного храму значний вплив через призму канонічних традицій мають естетичні та архітектурні уподобання тієї чи іншої епохи, державні, ідеологічні та світоглядні установки суспільства, які разом узяті визначають особливості того чи іншого сакрального архітектурного об'єкта православ'я.

Отже, зважаючи на все сказане вище, вивчення геометрії куполів православних храмів – як визначальних акцентів будівлі храму – з виявленням їх формотворних інваріантів є актуальним науково-практичним напрямком досліджень. А одержані результати геометричного аналізу мають розкрити канонічні засади формотворення куполів та стати теоретичним підґрунтям проектування їх форми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Архітектурна наука ніколи не втрачала інтересу до різноаспектного вивчення архітектури культових споруд та сакральних комплексів [1–7].

Зокрема, у [1] православні монастирі розглядаються як складноструктуровані багатоелементні архітектурно-містобудівні утворення. Окрема увага у цій публікації відводиться класифікації монастирів та вивченню їх планувальної організації.

У [2] розкрито історичні передумови та теоретичні основи пізнання феномену сакрального у формуванні об'єктів храмовбудування, структури та простору міст, а також розкрито форми прояву сакрального у історичному розвитку та плануванні міст, структурі християнського храму та особистісному одкровенні Творця. Узагальнено досвід сучасного українського храмовбудування, визначено основні чинники і тенденції, сформульовано архітектурно-містобудівні принципи формування сакральних місць та об'єктів у планувальній і просторовій структурі міст.

У [3] здійснено ретроспективний аналіз генези та еволюції архітектурно-просторової організації сакральних комплексів Волині. Внаслідок цього визначився підхід до розуміння архітектурно-просторової організації сакральних комплексів як цілісної системи, що формується об'ємно-просторовими та розпланувальними елементами, об'єднаними специфічними канонічними закономірностями побудови.

У [4] наведено результати аналізу генезису архітектури і просторової організації православних духовних центрів у XI–XV століттях під впливом різних чинників, зокрема, певних стилістичних явищ. А у [5] описується процес становлення і розвитку регіональної архітектурної школи православ'я у XVII–XVIII століттях.

Публікації [6–8] присвячені композиційному аналізу об'єктів сакральної архітектури православ'я, архітектурному проектуванню, реконструкції та відтворенню православних храмів.

Типологічні особливості формування архітектурно-планувальної структури чоловічих православних монастирів висвітлюються у [9].

Окрема увага у низці публікацій – друкованих і мережевих – приділяється вивченню і висвітленню

особливостей куполів православних храмів. Зокрема, у [10] подається інформація щодо значення кольору та форми куполів православних храмів. А результати досліджень геометричних закономірностей форми куполів православних храмів, зокрема, на прикладі куполів Троєкурівського монастиря, наводяться у [11].

Геометро-графічний аналіз форми куполів православних храмів виявив прояв у їх формоутворенні золоті пропорції (золотого перерізу) [12, 13]. Зокрема, в Інтернеті розміщено кілька науково-дослідних робіт школярів, виконаних під керівництвом вчителів, де наводяться результати пошукового аналізу прояву пропорції золотого перерізу у геометрії куполів православних храмів [11, 12]. А у [13] показано графічне задання золоті пропорції за допомогою кутового пропорційного масштабу та наведено три геометро-графічних алгоритми побудови обрису цибулинного купола православного храму.

Низка Інтернет-ресурсів містить креслення куполів православних церков [14, 15].

Найближче за ідейно-змістовою спрямованістю до цієї публікації є [16–18], присвячені розгляду математичних основ та геометричному аналізу гармонійності і пропорційності архітектурних форм православних церков.

Проте, наведені публікації мають розрізнений характер, не узагальнюють формотворні тенденції та не показують універсальний геометро-графічний апарат побудови обрису купола православного храму – як твірної поверхні обертання – за принципом золоті пропорції (золотого перерізу).

Метою публікації є презентація узагальнених результатів геометричного аналізу форми куполів православних храмів у їх генезисі на основі виявлених пропорційних закономірностей форми та подання геометро-графічного апарату побудови обрису купола православного храму за принципами деформативного конструювання геометричних об'єктів.

Основна частина (виклад основного матеріалу дослідження). У православ'ї храм є не тільки архітектурним об'єктом, культовою будівлею. Він є чимось взначально більшим, своєрідним відображенням неба на землі, людини і

ковчегу. Будівлю кожного православного храму (церкви) згори завершує купол – як постійне нагадування вірянам про небо, куди кожний з них має спрямовувати свої думки. Православні храми з часів Київської Русі мають властиву тільки ним особливість – багатоглавість (багатокупольність), Примітно, що кількість куполів храму є символічним, чим у такий спосіб вірянам передається певна інформація.

Під куполом (італ. cupola – купол, свод; від лат. cupula, cupa – бочка) розуміють просторове покриття будівель і споруд, що перекиває згори переважно круглі, еліптичні, багатокутні у плані приміщення у вигляді склепіння, яке за своєю формою зазвичай є поверхнею обертання криволінійної твірної, опуклої назовні, навколо вертикальної осі і за виглядом нагадує верхню півсферу. Куполи удавнину виникли на Сході, отримавши символічне значення "небесного балдахіна", яке збереглося протягом багатьох століть. В українській мові синонімом слова "купол" виступає "баня".

Ідейна основа формоутворення купола у православному храмовому зодчестві пов'язана з основою християнської символіки, адже купол у православ'ї не випадково називають главою чи маківкою – як найважливішого архітектурного елемента храму. Він є своєрідним символом Глави Церкви – Господа Бога Ісуса Христа. З купола органічно виростає хрест, який його вінчає і являє собою образ розп'ятого Христа. Купол і хрест є одним цілим, а його складові пов'язуються між собою як символічно, так і пропорційно. Нині слово "маківка" у розмовній мові використовується тільки в значенні "купол храму (церкви)".

Визначально у православному храмубудуванні у Київській Русі використовувався сферичний купол, який прийшов на нашу землю з Візантії, чим у такий спосіб здавна передавалася ідея небесного (сфера) і вічного (коло). Такий купол не має плавного переходу від основи до верхушки і виглядає як півсфера, увінчана згори хрестом.

З плином часу під впливом багатьох чинників форми куполів видозмінювалися, залишаючи в собі визначальну ідейну стилістику.

У православ'ї можна відстежити дві тенденції у формоутворенні куполів – гострокутні (шпильові) та опуклі куполи. Шпильові куполи, серед яких найбільше є шатрових куполів, виникли і розвивалися під впливом язичництва та католицизма. Зокрема, шатрові верхи дуже схожі на готичні шпилі католицьких соборів. Після певного періоду їх поширення, нині у чистому вигляді майже не залишилися, а проявляються у поєднанні з опуклими куполами.

Першоосновою тенденції розвитку опуклих куполів став візантійський купол-півсфера, визначально не ширший за барабан (частина будівлі церкви під куполом). Надалі розвиток архітектури православних храмів загалом і куполів зокрема пішов різними шляхами під інтегрованою дією місцевих чинників та мусульманських впливів, але із збереженням константинопольської традиції. У підсумку форма купола поступово змінювалася, отримуючи відповідну назву і несучи в собі певну сакральну символічність (змістове навантаження). При цьому нерідко у одного храму було кілька різних за формою куполів (рис. 1).



Рис. 1. Церква в селі Слобідка-Рахнівська (Хмельницька область)

Отже, внаслідок свого історичного розвитку куполи православних храмів стали досить різноманітними (форма, відтворення, фактура), багатосимволічними і дуже красивими. Зокрема, форми куполів православних храмів символізують: сферичні – Вічність, шоломоподібні – Спасіння, цибульчасті – Небеса, шатрові – Світло.

Додаткову символічність і красу куполу надає його колір, палітра якого у православ'ї є досить широкою. Зокрема, вичурність форми, яскраве розфарбування та рельєфна фактурність поверхні куполів храму Василя Блаженного передають неймовірну красу Небесного Ієрусаліма.

Найпоширенішою першоосновою форми куполів православних храмів стала цибулина. Цибульчастий купол відтворює форму полум'я палаючої свічки, повторюючи усі його вигини, символізує полум'яність молитви, стремління до Бога, постійне прагнення вірянина до досконалості.

Для України характерними є грушоподібні куполи. Їх форма стала своєрідним інтегратором впливу шоломоподібної та цибульчастої форми купола.

Проведений аналіз форми куполів православних храмів (церков) дав змогу класифікувати їх геометрію з виділенням таких групових узагальнених форм: гострокутні (шпильові) та опуклі куполи. До першої групи віднесено конусну та шатрову форми. Групу опуклих куполів складають такі форми: сферична, блюдчаста, шоломоподібна, шапкоподібна, цибульчаста, грушоподібна, гіпертрофована, цибульчаста гранована та маківка (табл. 1).

Далі перейдемо до геометричного аналізу куполів православних храмів з групи опуклих куполів. Геометричним прототипом, своєрідним родоначальником усіх куполів цієї групи виступає сферичний купол. Геометрично він є поверхнею обертання чверті кола – як твірної поверхні – навколо вертикальної осі. Геометричний механізм утворення такої поверхні є досить простим і зрозумілим.

Блюдчаста форма купола утворюється зі сферичного шляхом його умовної вертикальної деформації. Тобто, твірна

поверхні обертання з чверті кола має перетворитися у чверть еліпса внаслідок вертикальної деформації. Зважаючи на те, що у тогочасних зодчих інструментальними засобами вимірювання довжин і розмітки контурів виступали рівна довга жердина (лінійка) та шматок мотузки (циркуль і рулетка), то замість чверті еліпса було логічно будувати чверть овала, який має найточніше апроксимувати вихідний еліпс. Тобто, твірною поверхні обертання для блюдчастої форми купола була дволанкова (двоцентрова) коробова лінія з вертикальною та горизонтальною дотичними в кінцевих точках.

Геометричним механізмом варіативного конструювання твірної і власне поверхні обертання блюдчастого купола за описаних обставин виступає метод деформативного конструювання геометричних об'єктів – ліній, контурів, поверхонь, точкових полів і хмар [19, 20]. Реалізатором керованої варіації форми геометричного об'єкта у методі деформативного конструювання є супровідний багатокутник, який зазвичай охоплює проєктований об'єкт. Цілеспрямована деформація (зміна конфігурації) супровідного багатокутника зумовлює адекватну деформацію (зміну форми) проєктованого геометричного об'єкта. У даному разі – чверті овала. Зважаючи на вид проєктної кривої, найзручнішим супровідним багатокутником буде прямокутник, вертикальна і горизонтальна сторони якого в кінцевих точках твірної збігаються з відповідними дотичними. Варіація довжини і ширини супровідного прямокутника зумовить адекватну зміну форми твірної поверхні обертання блюдчастого купола аж до побудови купола бажаної форми.

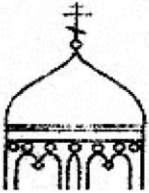







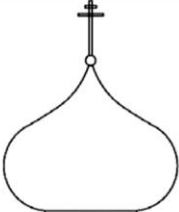

Для графо-аналітичної алгоритмізації побудови чверті овала (як твірної поверхні обертання блюдчастого купола) слід задіяти математичний апарат побудови біарка за двома заданими кінцевими точками, дотичними в них та умовою спряження [21, 22]. Зазначеним універсалізується апарат побудови і аналізу твірних для поверхонь групи опуклих куполів.

Таблиця 1.

Стилізоване групування форми куполів православних храмів

Форма купола	Ескіз	Приклад	
Гострокутні			
Конусна		Спасо-Преображенський собор, м. Чернігів	
Шатрова		Шатровий купол над головним вівтарем Покровської церкви, м. Київ	
Опуклі			
Сферична		Храм Преображення Господнього, м. Білгород	
Блюдчаста		Церква Дмитра Солунського	

Продовження табл. 1.

Шоломоподібна		Храм Князя Володимира, м. Астрахань	
Шапкоподібна		Спасо-Преображенський собор, м. Чернігів	
Цибульчаста		Знаменська Церква, м. Балахна	
Грушоподібна		Храм Святого Іоанна Хрестителя, м. Київ	
Гіпертрофована		Спаська церква, с. Володимирівка, Харківська обл.	

Закінчення табл. 1.

Цибульчаста гранована		Собор СвятоБогоявлінського монастиря, м. Орша	
Маківка		Андріївська Церква, м. Київ	

Твірна поверхні шоломоподібного купола також є двоцентровою коробовою лінією, проте, з точкою перегину у точці спряження. У найпростішому варіанті твірна будується у охопному квадраті з двох дуг кіл однакових радіусів як біарк з точкою перегину. Змінюючи умову спряження (розташування точки спряження дуг біарка), можна одержувати дволанкову твірну як двоцентрову коробову лінію з двома дугами кіл різних радіусів та з точкою перегину. Заміна охопного квадрата на прямокутник забезпечить одержання купола з висотою, меншою за діаметр його основи.

Найскладнішою для графічної побудови виявляється твірна поверхні купола цибульчастої форми. Відомо кілька графо-аналітичних алгоритмів побудови такої твірної з позицій реалізації у кінцевій формі твірної і утворюваній поверхні купола пропорції золотого перерізу (рис. 2) [11–13].

На рис. 2,а твірною є двоцентрова коробова лінія (біарк) з точкою перегину, а на рисунках 2,б та 2,в твірною є трицентрова коробова лінія (триарк) з точкою перегину у межах верхнього біарку. Прояв золотого перерізу у формі куполів підтверджено охопним трикутником, у якому основа співвідноситься з його висотою за пропорцією золотого перерізу.

Виявлена пропорційність у вигляді золотого перерізу виявляється не єдиною для купола цибульчастої форми. За допомогою аналізу пропорцій і сумірностей форми архітектурного об'єкту як геометричного можна виявити закономірності його побудови, основи гармонійності, розкрити секрети методу, використаного зодчим. Зокрема, у формі твірної і власне поверхні цибульчастого купола проявляються пропорції з ряду Фібоначі, що свідчить про гармонійність форми такого купола. Для рис. 2,а – це числа 3 і 5. Також можна варіювати величиною R, гармонізуючи її з величиною меншого радіуса.

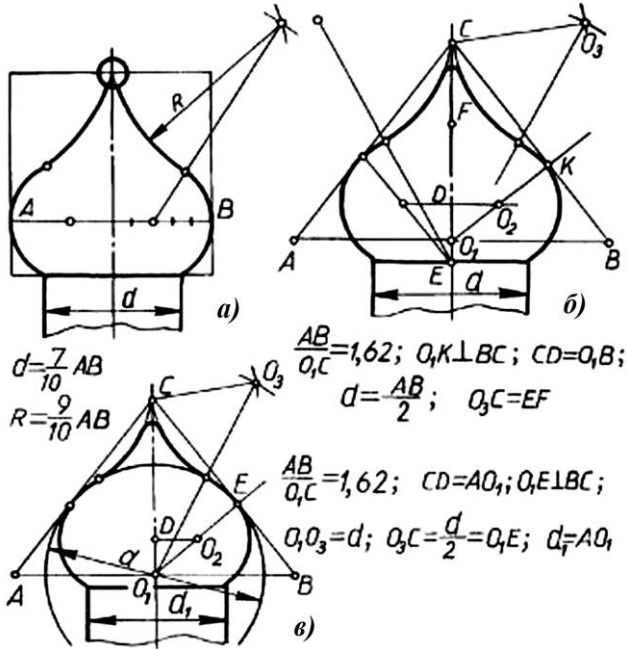


Рис. 2. Графо-аналітичні алгоритми побудови твірної (обрису) поверхні купола цибульчастої форми

На рисунках 2,б та 2,в проявляються співвідношення 1:1 (радіуси дуг біарка з точкою перегину) та 1:2 (нижні дві дуги коробової твірної).

Узагальнений графо-аналітичний алгоритм побудови твірної поверхні цибульчастого купола наведено на рис. 3, де показано додатковий прояв золоті пропорції.

Незважаючи на одержані результати геометричного аналізу форми цибульчастих куполів з позицій їх пропорційності та гармонійності, поле можливих досліджень залишається досить широким. Адже геометричного аналізу потребують усі (!) куполи усіх (!) православних храмів. Бо всі вони є унікальними і неповторними. У їх формі приховується інтуїтивно зрозуміла зодчим художня краса, природна гармонійність форми і усталена стилістичність архітектурно-дизайнерського рішення.

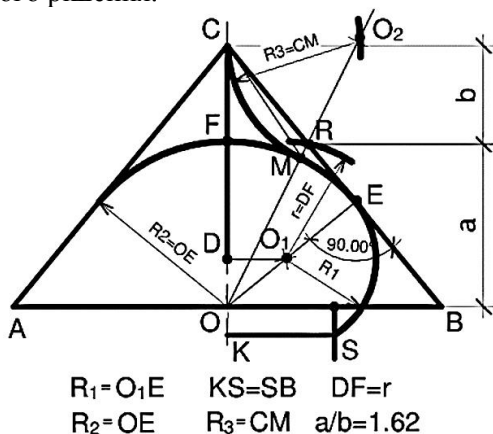


Рис. 3. Узагальнений графо-аналітичний алгоритм побудови твірної (обрису) поверхні цибульчастого купола

Інструментальним реалізатором зазначеного вище дослідження (геометричного аналізу) стане розроблена за авторським алгоритмом мовою AutoLisp функція-доданок для САПР AutoCAD. Принцип її роботи полягає у варіативній побудові методом деформативного конструювання на фотографічних зображеннях куполів (як тлі) їх обрисів у вигляді дво- чи трицентрових коробових ліній – як колових сплайнів з заданими дотичними у вузлових точках – на основі біарків. Сподіваємося, що

одержані результати будуть цікавими і корисними для архітектурної науки і практики.

Висновки з даного дослідження. Отже, у статті реалізовано її мету, а саме, презентовано узагальнені результати геометричного аналізу форми куполів православних храмів у їх генезисі на основі виявлених пропорційних закономірностей форми та подання геометро-графічного апарату побудови обрису купола православного храму за принципами деформативного конструювання геометричних об'єктів.

Запропоновано узагальнену класифікацію форми куполів православних храмів.

Розроблено механізм стилістичного рішення форми куполів з урахуванням виявлених їх формотворних інваріантів пропорційності і гармонійності, зокрема, золотого перерізу і пропорцій з ряду Фібоначі.

Представлені у статті результати можуть використовуватися під час реставрації, реконструкції та будівництва нових об'єктів сакральної архітектури Православ'я: соборів, храмів, церков, монастирів тощо.

Перспективи подальших досліджень. Шляхом проведення експериментальних досліджень щодо геометричного аналізу форми куполів православних храмів за допомогою розробленої функції-доданка у середовищі САПР AutoCAD можуть бути розкриті секрети православного зодчества з позицій прояву пропорційності і природної гармонійності.

На основі одержаних результатів геометричного аналізу форми куполів можуть розвиватися канонічні традиції архітектури православ'я із збереженням стилістичних особливостей об'єкта проектування.

Одержані у процесі дослідження наукові і практичні результати будуть інтегровані до магістерської дисертації Руслана Пустовойта "Особливості архітектурно-планувальної організації чоловічих православних монастирів".

Література

1. *Тулешков Н.Л.* Архитектура на Българските манастири. – София: Държавно издателство "Техника", 1987. – 196 с.

2. *Криворучко Ю.І.* Феномен сакрального у розвитку міст та територій (на досвіді України): Автореф. дис. ... доктора архітектури: 18.00.01 – Теорія архітектури, реставрація пам'яток архітектури / Криворучко Юрій Іванович; КНУБА. – К., 2018. – 36 с.

3. *Гнатюк Л.Р.* Архітектурно-просторова організація сакральних комплексів історичної Волині: Автореф. дис. ... канд. архітектури: 18.00.01 – Теорія архітектури, реставрація пам'яток архітектури / Гнатюк Лілія Романівна; НАОМА. – К., 2010. – 22 с.

4. *Панченко Т.А.* Архитектура и пространственная организация православных духовных центров Беларуси в период XI – первая половина XV века // Вестник Брестского государственного технического университета: Строительство и архитектура. – №1(103). – 2017. – С. 3–7.

5. *Панченко Т.А.* Православные монастыри Киевской епархии на белорусских землях в период XVII–XVIII веков // Вестник Брестского государственного технического университета: Строительство и архитектура. – №1(109). – 2018. – С. 2–7.

6. *Балдин В.И.* Архитектурный ансамбль Троице-Сергиевой лавры. – М.: Искусство, 1976. – 45 с.

7. *Слепцов О.С.* Архітектурне проектування і реконструкція православних храмів: Підручник для ВНЗ / Українська академія архітектури, Київський національний університет будівництва та архітектури, Науково-проектне архітектурне бюро ЛПЦЕНЗіАРХ. – К.: А+С, 2014. – 272 с.

8. *Мещеряков В.М.* Відтворення Одеського кафедрального Спасо-Преображенського собору/ В.М. Мещеряков. – Одеса: Фенікс, 2017. – 464 с.

9. *Пустовойт Р.О., Дорошенко Ю.О.* Типологічні особливості формування архітектурно-планувальної структури чоловічих православних монастирів // Архітектура та екологія: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 12–14 листопада 2019 року). – К.: НАУ, 2019. – С.74–77. – URL: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/37206>.

10. Что означают цвета и формы куполов на православных храмах. URL: <https://kinokak.ru/numerologiya/chto-oznachayut-cveta-i-formy-kupolov-na-pravoslavnyh-hramah-pochemu-kupola.html> (дата звернення: 10.01.2020).

11. Геометрия куполов Троекуровского монастыря. URL: https://xn--j1ahfl.xn--p1ai/library/zadachi_na_postroeniyegeometriya_kupolov_troekurovsko_22709.html (дата звернення: 10.01.2020).

12. Учебный проект "Геометрия горящей свечи". URL: <https://multiurok.ru/files/uchiebnyi-proiekt-gieometrii-ghorishchiesvies.html> (дата звернення: 10.01.2020).

13. Геометрические построения. Угловой пропорциональный масштаб. URL: http://rezzba.at.ua/publ/geometricheskie_postroeniya_uglovoj_proporcionalnyj_masshtab_ehlipsy_rozetki/14-1-0-71 (дата звернення: 10.01.2020).
14. Чертежи куполов церкви. URL: <https://stroystandart.info/index.php?name=files&op=view&id=3434> (дата звернення: 10.01.2020).
15. Чертежи куполов церкви. URL: <https://www.pinterest.com/pin/509610514076178142/> (дата звернення: 10.01.2020).
16. Волошинов А.В. Математика и искусство/ А.В. Волошинов. – М.: Просвещение, 1992. – 335 с.
17. Афанасьев К.Н. Анализ пропорций храма Покрова на Нерли// Искусство и точные науки. – М.: Наука, 1979. – С. 126–141.
18. Метод Аркадия Осипова: Золотое сечение – Цветок жизни – Природоподобные технологии. URL: <https://arkadyosipov.ru/> (дата звернення: 10.01.2020).
19. Дорошенко Ю.О. Сутність та термінологічно-понятійний апарат деформативного конструювання геометричних об'єктів// Прикл. геометрія та інж. графіка. Праці/ Таврійська держ. агротехн. академія. – Вип. 4. – Т. 15. – Мелітополь: ТДАТА, 2002. – С. 78–84.
20. Дорошенко Ю.О. Політканинні перетворення у деформативному конструюванні геометричних об'єктів. – К.: Педагогічна думка, 2001. – 390 с.
21. Bolton K.M. Biarc curves// Computer Aided Design, 1975, v.7, №2, p. 89–92.
22. Дорошенко Ю.А. Построение локального окружностного сплайна с дополнительными узлами// Прикл. геометрия и инж. графика. – К.: Будивельник, 1990. – Вып. 50. – С. 97–98.

References

1. Tuleshkov N.L. Arkhitektura na B'lharskyte manastyry. – Sofyya: Dyrzhavno yzdatelstvo "Tekhnyka", 1987. – 196 s.
2. Kryvoruchko Yu.I. Fenomen sakral'noho u rozvytku mist ta terytoriy (na dosvidi Ukrainy): Avtoref. dys. ... doktora arkhitektury: 18.00.01 – Teoriya arkhitektury, restavratsiya pam'yatok arkhitektury / Kryvoruchko Yuriy Ivanovych; KNUBA. – K., 2018. – 36 s.
3. Hnatyuk L.R. Arkhitekturno-prostorova orhanizatsiya sakral'nykh kompleksiv istorychnoy Volyni: Avtoref. dys. ... kand. arkhitektury: 18.00.01 – Teoriya arkhitektury, restavratsiya pam'yatok arkhitektury / Hnatyuk Liliya Romanivna; NAOMA. – K., 2010. – 22 s.
4. Panchenko T.A. Arkhitektura y prostranstvennaya orhanyzatsyya pravoslavnykh dukhovnykh tsevtrov Belarusy v peryod KhI – pervaya polovyna XV veka // Vestnyk Brest'skoho hosudarstvennoho

tekhnicheskoho unyversyteta: Stroytel'stvo y arkhitektura. – #1(103). – 2017. – S. 3–7.

5. *Panchenko T.A.* Pravoslavnye monastyry Kyevskoy eparkhyy na belorusskykh zemlyakh v peryod XVII–XVIII vekov // Vestnyk Brest'skoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta: Stroytel'stvo y arkhitektura. – #1(109). – 2018. – S. 2–7.

6. *Baldyn V.Y.* Arkhitekturnyy ansambl' Troitse-Serhyevoy lavry. – M.: Yskusstvo, 1976. – 45 s.

7. *Slyeptsov O.S.* Arkhitekturne proektuvannya i rekonstruktsiya pravoslavnykh khramiv: Pidruchnyk dlya VNZ / Ukrayins'ka akademiya arkhitektury, Kyivskyy natsional'nyy unyversytet budivnytstva ta arkhitektury, Naukovo-proektne arkhitekturne byuro LITsENZiARKh. – K.: A+S, 2014. – 272 s.

8. *Meshcheryakov V.M.* Vidtvorennya Odes'koho kafedral'noho Spaso-Preobrazhenskoho soboru/ V.M. Meshcheryakov. – Odesa: Feniks, 2017. – 464 s.

9. *Pustovoyt R.O., Doroshenko Yu.O.* Typolohichni osoblyvosti formuvannya arkhitekturno-planuval'noyi struktury cholovichykh pravoslavnykh monastyriv // Arkhitektura ta ekolohiya: Materialy Kh Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (m. Kyiv, 12–14 lystopada 2019 roku). – K.: NAU, 2019. – S.74–77. – URL: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/37206>.

10. Chto oznachayut tsveta y formy kupolov na pravoslavnykh khramak. URL: <https://kinokak.ru/numerologiya/chto-oznachayut-cveta-i-formy-kupolov-na-pravoslavnyh-hramah-pochemu-kupola.html> (data zvernennya: 10.01.2020).

11. Neometryya kupolov Troekurovskoho monastyrya. URL: https://xn--jlahfl.xn--plai/library/zadachi_na_postroeniya geometriya kupolov troekurovsko_22_2709.html (data zvernennya: 10.01.2020).

12. Uchebnyy proekt "Neometryya horyashchey svechy". URL: <https://multiurok.ru/files/uchebnyi-proiekt-gieometriia-ghoriashchiei-sviec.html> (data zvernennya: 10.01.2020).

13. Neometrycheskye postroeniya. Uhlovy propoortsional'nyy masshtab. URL: http://rezzba.at.ua/publ/geometricheskie_postroeniya_uglovoj_proporcional_nyj_masshtab_ehllipsy_rozetki/14-1-0-71 (data zvernennya: 10.01.2020).

14. Chertezhy kupolov tserkvy. URL: <https://stroystandart.info/index.php?name=files&op=view&id=3434> (data zvernennya: 10.01.2020).

15. Chertezhy kupolov tserkvy. URL: <https://www.pinterest.com/pin/509610514076178142/> (data zvernennya: 10.01.2020).

16. *Voloshynov A.V.* Matematyka y yskusstvo/ A.V. Voloshynov. – M.: Prosveshchenye, 1992. – 335 s.

17. *Afanas'ev K.N.* Analiz proporsyy khrama Pokrova na Nerly// Yskusstvo y tochnye nauky. – М.: Nauka, 1979. – S. 126–141.

18. *Metod Arkadyya Osypova: Zolotoe sechenye – Tsvetok zhyzny – Pryrodopodobnye tekhnolohyy.* URL: <https://arkadyosipov.ru/> (data zvernennyya: 10.01.2020).

19. *Doroshenko Yu.O.* Sutnist' ta terminolohichno-ponyatiynyy aparat deformatyvnoho konstruyuvannya heometrychnykh ob'yektiv// Prykl. heometriya ta inzh. hrafika. Pratsi/ Tavriys'ka derzh. ahrotekhn. akademiya. – Vyp. 4. – Т. 15. – Melitopol': TDATA, 2002. – S. 78–84.

20. *Doroshenko Yu.O.* Politkanynni peretvorennya u deformatyvnomu konstruyuvanni heometrychnykh ob'yektiv. – К.: Pedahohichna dumka, 2001. – 390 s.

21. *Bolton K.M.* Biarc curves// Computer Aided Design, 1975, v.7, #2, p. 89–92.

22. *Doroshenko Yu.A.* Postroenye lokal'noho okruzhnostnoho splayna s dopolnytel'nymy uzlamy// Prykl. heometriya y unzh. hrafyka. – К.: Budyvel'nyk, 1990. – Vyp. 50. – S. 97–98.

Аннотация:

Дорошенко Ю. А., Пустовойт Р. А. Геометрия куполов православных храмов. В статье представлены обобщенные результаты геометрического анализа формы куполов православных храмов в их генезисе на основе выявленных пропорциональных закономерностей формы и представлены геометро-графический аппарат построения очертания купола православного храма на принципах деформативного конструирования геометрических объектов. Предложена обобщенная классификация формы куполов православных храмов. Разработан механизм стилистического решения формы купола с учетом выявленных их формообразующих инвариантов пропорциональности и гармоничности. На основе полученных результатов геометрического анализа формы куполов можно развивать канонические традиции архитектуры православия с сохранением стилистических особенностей объекта проектирования. Представленные в статье результаты могут использоваться при реставрации, реконструкции и строительства новых объектов сакральной архитектуры православия: соборов, храмов, церквей, монастырей и тому подобное.

Ключевые слова: сакральная архитектура Православие, купол православного храма, геометрия куполов, формообразования, геометрический анализ, архитектурная пропорциональность, деформативного конструирования, коробовая линия, биарк.

Abstract

Doroshenko Y.O., Pustovoi R.O. Geometry of domes of orthodox temples. The article presents generalized results of geometric analysis of

the shape of domes of orthodox temples in their genesis on the basis of revealed proportional regularities of the form.

Due to the intensification of the processes of restoration, reconstruction and construction of new objects of the sacred architecture of Orthodoxy, the need for scientifically grounded and canonically appropriate reproduction of their cupola (Orthodox domes) is actualized. Therefore, this study clarifies the geometrical aspects of the formation of domes of Orthodox temples in accordance with established church canons and architectural design theory and practice.

The article presents a generalized classification of the shape of domes of Orthodox temples.

The geometrical-graphical algorithms for constructing the outline of the bulbous dome of an Orthodox church are generalized.

A new geometric and graphical apparatus for constructing the outline of the dome of the Orthodox church on the principles of deformative design of geometric objects is presented. It uses the evolution of the dome shape from hemispherical to bulbous and pear-shaped.

For variational design and design of the dome outline, it is proposed to use box lines, biarkas, circular flaps.

The mechanism of stylistic decision of the dome shape taking into account the shape-forming invariants of proportionality and harmony, in particular, the gold section and the Fibonacci series is developed.

According to the author's algorithm, AutoLisp has developed an add-on function for the AutoCAD program, which will become a tool for researching (geometric analysis) the shape of domes of Orthodox temples in their photographs. Such research consists in the variational construction by the method of deformative construction on the photographs of domes (as background) of their outlines in the form of two- or three-centered box lines - as circular splines with given tangents at nodal points - on the basis of biarcs.

Based on the results of geometric analysis of the dome shape, you can develop canonical traditions of Orthodoxy architecture while preserving the stylistic features of the design object.

The results presented in the article can be used in the restoration, reconstruction and construction of new objects of the sacred architecture of Orthodoxy: cathedrals, temples, churches, monasteries and more.

***Keywords:** sacred Orthodoxy architecture, dome of the orthodox church, dome geometry, shaping, geometric analysis, architectural proportionality, deformative construction, box line, biarc.*

Стаття надійшла в редакцію 10.01.2020р.

Стаття прийнята до друку 13.01.2020 р.