

ДИШЛИК О.П.

В.о.директора КДП "Київгеоінформатика", Інститут географії НАНУ

БЕРЕЗИНЕЦЬ О.В.

Інженер КДП "Київгеоінформатика", Інститут географії НАНУ

МОЛОЧКОВА Н.М.

К.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник, Національний заповідник «Софія Київська»

НІЩУК Л.О.

С.н.с., Національний заповідник «Софія Київська»

УДК 69.058.7, 621.3.083, 621.3.087.5, 621.3.082.6

ТЕРМОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У СОФІЙСЬКОМУ СОБОРІ

Ключові слова: термограми, інфрачервоний (ІЧ) спектр, термографічні дослідження, тепловізор, температури поверхні конструкцій.

У статті викладені результати термографічних досліджень Софійського собору, а також переваги і обмеження використання цих досліджень на пам'ятках.

В статье изложены результаты термографических исследований Софийского собора, а также преимущества и ограничения использования этих исследований на памятниках.

In the article the expounded results of thermographic researches of the Sofia cathedral, and also advantages and limitations of drawing on these researches, are on monuments.

Одним з основних принципів моніторингу технічного стану стародавніх пам'яток архітектури є пріоритетне застосування неруйнівних методів досліджень, до яких відносяться термографічні дослідження [2].

Термографія – це науковий спосіб отримання термограм – зображення об'єкту в інфрачервоному (ІЧ) спектрі, який відображає картину розподілу температурних полів.

Розрізняють пасивну та активну форму досліджень. У пасивній термографії інтерес представляє підвищення або пониження природного температурного рівня досліджуваного об'єкту в порівнянні з температурою

оточення. У активній термографії додатковими джерелами енергії створюється температурний контраст між об'єктом, що цікавить, і фоном. Активний підхід потрібний у багатьох випадках, коли досліджувані частини знаходяться в температурній рівновазі з довкіллям.

Для дослідження і візуалізації ІЧ випромінювання були створені спеціальні прилади – інфрачервоні термометри (пірометри) та тепловізори або термографи.[5] Зазначені прилади дозволяють бачити теплове випромінювання навколишніх об'єктів незалежно від освітленості і дистанційно вимірювати температуру об'єктів у будь-якій точці поверхні об'єкту з точністю 0.1°C, робочого діапазону температур вистачає для вирішення більшості задач.

Унікальні можливості тепловізорів знайшли застосування у багатьох областях від індустрії до медицини. Зокрема, віднедавна почали інтенсивно використовуватись для контролю стану історичних будівель, їх матеріалів і структур та при документуванні об'єктів культурної спадщини напередодні та після їх консервації чи відновлення [1].

Чи не найпершим прикладом застосування термографії у цій сфері стало проведення реставрації фасадів базиліки Святого Петра в Римі. Єдиним науковим партнером Ватикану у визначенні стану збереження фасадів і контролі їх фізичних характеристик була компанія EniTechnologie. У листопаді 1997 року

її співробітник пан Джунта (Giunta) використовував на об'єкті тепловізор FLIR ThermoCAM SC 1000. Найбільш значиме застосування термографії було в оцінці стану штукатурки, де різниця температур 0,5°C була визначена як критична. Експертам EniTechnologie вдалося виявити тріщини, відшарування штукатурки з поверхні каменю і накопичення вологи, які інакше залишилися б прихованими. Результати роботи були представлені керівництву музею Лувр в Парижі та привернули інтерес міжнародної преси.

В кінці 2011 року між ООН і Італією було укладено угоду про виконання капітальної, комплексної програми по реставрації вілли Містерій (Помпея, об'єкт Всесвітньої культурної спадщини ЮНЕСКО), яка ніколи раніше не робилася. Запрошені співробітники Кильського університету (ФРН) для визначення прихованих тріщин, а також інтрузій води і солей застосували методи термографії (рисунок 1), причому не лише пасивної, але і активної, коли стіну нагрівають – незначно, всього на два градуси. У місцях відставання фрески від стіни, штукатурка швидше нагрівається та швидше вистигає, тоді як водяна інтрузія поводить зазвичай протилежним чином.

Тепловізійні дослідження давніх храмів проводились також і в Росії. У Спасо-Преображенському храмі в Суздалі візуально спостерігається тільки одна з п'яти наявних тріщин, тепловізор визначає наявність ще чотирьох тріщин, прихованих під фресками собору (рисунок 2).

В 2009-2012 роках в складі робіт з комплексного моніторингу Національним заповідником «Софія Київська» започатковано проведення термографічного контролю будівлі Софійського собору, Кирилівської та Андріївської церков. Дослідження виконувались за участю КДП «Київгеоінформатика».

Незважаючи на позитивний досвід термографічного обстеження і виявлення дефектів огорожуючих конструкцій, в Україні, як до речі і в Росії, держав-

них стандартів з якісного (без кількісних оцінок) обстеження будівельних споруд не існує. Тому, без ретельно відпрацьованих, відрецезованих і узаконених стандартних процедур отримані результати є несертифікованими, невідтворними і, цілком можливо, спірними.

Єдиним стандартом з тепловізійного обстеження будівель і споруд (стандарт не оновлювався з 1985 року та не відомо чи коли-небудь рецензувався) є ГОСТ 26629-85 "Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций".

Методика вимагає безлічі контактних вимірювань, фахових розрахунків та кількісного аналізу, обмежено використовує всі переваги сучасної цифрової термографії (точність, дистанційність, продуктивність), а тому порушує всі необхідні умови отримання достовірних і обґрунтованих результатів (кількісне фізичне обґрунтування, облік урахування основ теплобачення, свого роду радіаційної температури, правила опису і обґрунтування технології дій) [ГОСТ 26629-85, 1986]. І в зв'язку з цим її практичне використання є в умовах заповідника. Тому термографічне обстеження будівель заповідника мало таку специфіку:

1. Застосовувалась, в основному, пасивна термографія. Обстеження проводиться тільки в холодну пору року (при температурі навколишнього середовища нижче 0°C) при включеній системі опалювання. Необхідний перепад температур між вуличним і внутрішнім повітрям – не менше 20°C.
2. Для проведення обстеження використовувався тепловізор з великою матрицею, що гарантує менші похибки при вимірі і більш чітку теплову картину.
3. Дослідження мали переважно загальний характер, направлені на визначення можливості прикладного застосування, для перевірки і зіставлення різних методів і технологій реставрації. Зйомка внутрішньої поверхні здійснювалась в повному обсязі не залежно від місця дефектів.
4. Пріоритетним був якісний аналіз термограми, коли важлива не сама температура поверхні, а кольорне відображення різниці температур. У цьому випадку велике значення має програмне забезпечення, що дозволяє розшифровувати знімки, в тому числі визначати наявність вологості.

Тепловізійне обстеження проводиться в кілька етапів:

1. Внутрішня зйомка – найбільш важливий етап, оскільки при внутрішній зйомці виявляється більше 90% дефектів. Зйомка проводиться не вибірково, а кожної стіни в усіх приміщеннях, кожного вікна або дверей.



Рис. 1. Термографія фресок вілли Містерій.

2. Зовнішня зйомка – забезпечує контроль розвитку наскрізних тріщин.
3. Комп'ютерне опрацювання термограм.
4. Складання звіту. Технічний звіт за результатами тепловізійного обстеження містить час та умови зйомки, опис обладнання, опис методу обстеження, результуючі термограми та відповідні фотозображення, характеристики виявлених дефектів, висновок за результатами обстеження та рекомендації.

Результати термографічних досліджень Софійського собору

1. Термографічні дослідження дозволили виявити аномалії полів температури на поверхнях конструкцій собору, в тому числі у віддалених та важкодоступних місцях та з наявним на них монументальним живописом (рисунок 3).

Таким чином, відшарування штукатурки від стін може бути розпізнане і ліквідоване на ранній стадії, що дозволяє мінімізувати витрати коштів.

У зоні відшарування утворюється простір між муруванням і оздоблювальними матеріалами, де формується тонкий повітряний шар, який не в змозі проводити тепло. При нагріванні стіни створюється температурний градієнт, який розрізняється між інтактною зоною стіни і ділянкою з відшаруванням, де створений повітряний шар. Вважаючи, що місцеві теплові потоки є постійними, температура ділянок з відшаруванням буде змінною. Тому при вимірі температури поверхні стіни ділянка з відшаруванням може бути виявлена по різниці температур.

2. Метод цифрової термографії дозволяє виявляти та контролювати динаміку скритих не проявлених тріщин, як поодиноких так і розгалужених.

Своєчасне їх виявлення за допомогою тепловізора та правильна інтерпретація в комплексі з результатами інших досліджень, дозволяє виявити невидимі небезпечні процеси та своєчасно вжити заходи для усунення причин можливих деформацій.

Прикладом цього служить пасивна термограма зондажу стародавнього мурування з пізнішими нашаруваннями різних оздоблювальних матеріалів, (рисунок 4). Хоча, можливо, для діагностики подібних об'єктів краще застосовувати активний тепловий контроль з різними джерелами теплової дії, включаючи природний сонячний нагрів.

3. Одним з найважливіших чинників збереження пам'яток архітектури є їх температурно-вологісний режим, особливо при спільному музейному і церковному використанні. При постійному музейному використанні пам'яток найважливішою задачею є створення ефективних систем підтримки мікроклімату [4, 6].

Окремі кількісні дослідження, тобто вимірювання температури поверхні внутрішніх стін собору (доволі складної конфігурації), визначили можливість досліджувати характер теплових потоків в об'ємі собору, фіксувати просторові і часові розподіли температури на поверхні живопису, температури повітря, що примикає до живопису, а також оцінювати ризик випа-

дання конденсату (точка роси), що визначається за температурою поверхні стіни, температурою та вологістю повітря. Температурні показники, що можуть визначатись тепловізором у довільній точці і в будь-який необхідний момент часу, корелюються з результатами досліджень, проведених у Софійському соборі.

4. Пасивним методом теплового контролю можуть бути виявлені порушення гідроізоляції та місця з підвищеною вологістю, які на моніторі тепловізора виглядають як «холодна пляма». Приклад ділянки стелі Північної башти Софійського собору з підвищеною вологістю наведено на рисунку 5.

Промоклі конструкції мають підвищену теплопровідність і підвищені тепловтрати, які призводять до аномалій у загальному температурному фоні.

Слід зазначити, що тепловізор не визначає кількісну (цифрову) міру вологонасиченості, у т.ч. тому, що вимірювання відбувається по поверхні. Також, при високій відносній вологості повітря швидкість випару значно падає, ефект охолодження зменшується, і в такому випадку визначити вологі поверхні тепловізором не є можливим.

5. Застосування тепловізійної діагностики дозволяє додатково проводити енергоаудит будівлі, виявлення пошкоджень теплоізоляції покрівлі та конструкцій даху.

Переваги використання тепловізійної технології моніторингу:

- Тепловізійні методи є високоефективними внаслідок неруйнівної і швидкої за часом діагностики поверхонь великого розміру[5].
- Тепловізійні методи дозволяють ефективно і дистанційно контролювати температуру та вологісний стан в будь-яких місцях, доступ до яких неможливий чи утруднений.
- При використанні тепловізійної техніки можливо отримати такий об'єм інформації, збір якої за допомогою звичайних засобів зайняв би значну кількість часу і засобів чи взагалі був би неможливий.
- Програмне забезпечення дозволяє візуалізувати дані вимірів, які можна записати і зберігати для подальшого аналізу.
- Проведення робіт має високу міру безпеки і низьку вартість робіт.

Обмеження та недоліки термографії:

- Якісні тепловізійні камери мають велику грошову вартість і їх легко пошкодити.
- Розшифровка термограмм в деяких випадках потребує залучення фахівців з інфрачервоного сканування, теплопровідності матеріалів тощо, що, в свою чергу, вимагає витрат часу і засобів.
- Можливість виміру тільки температури поверхонь, при цьому визначення вологості є похідним результатом, що впливає на його точність.

ВИСНОВКИ

Крім традиційних методів моніторингу стану Софійського собору, проведення постійних термографічних досліджень вбачається корисним. Своєчасне виявлення за допомогою тепловізора температурних аномалій, що відображають невидимі небезпечні процеси, та своєчасно вжити заходів для усунення причин можливих деформацій. Результати термографічних досліджень необхідно розглядати в комплексі з результатами інших досліджень.

Застосування тепловізійної діагностики дозволить додатково провести енергоаудит будівель і дахів пам'яток, виявити місця тепловтрати та місця з підвищеною вологістю, що може становити загрозу для

стану творів монументального живопису (фресок та мозаїк), дослідити характер теплових потоків в об'ємі собору.

Отримані результати тепловізійних спостережень разом з результатами контролю температури, вологості та швидкості повітряних потоків дозволяють отримати цілісну картину стану мікроклімату в Соборі та інших пам'ятках, що має сприяти створенню умов тривалого збереження пам'яток в цілому, а також творів монументального живопису і предметів інтер'єру.

Цифрова термографія – багатообіцяюча технологія для моніторингу об'єктів культурної спадщини. Низька вартість досліджень, мобільність і можливість кількісної і точної оцінки температури структур забезпечує широке використання методу в сфері збереження культурної спадщини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Merla, L. Di Donato, G. Martino, M.L. Rainone & P. Signanini. An application of digital infrared thermography on historical cultural heritage damaged in the L'aquila earthquake. "Cultural Heritage – Cairo 2009" (4th International Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage of the Mediterranean Basin)
2. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение. / Пер. с франц. М.: Мир, 1988.
3. ГОСТ 26629-85. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества ограждающих конструкций. М.: Госстандарт, 1986.
4. Дорохов В. Б., Зотов А. В. Опыт применения неразрушающих методов контроля температурно-влажностного режима ограждающих конструкций памятников архитектуры // Музейное хранение и оборудование. М., 1991. С. 24-30. (Информкультура ГБЛ. Экспресс-информ.)
5. Ллойд Дж. Системы тепловидения. / Пер. с англ. под ред. А. И. Горячева. М.: Мир, 1978, С. 416.
6. Сизов Б. Т. Теплофизические аспекты сохранения памятников архитектуры. // АВОК, 2002. № 1. С. 24-29.

ABSTRACT

Molochkova N.M., Nischuk L.A. History of construction and restoration "Sophia" //The world of geotechnik.- 2016.- №2.- P.12-15.

This article contains the basic stages of architectural and restoration history of the ancient St. Sophia Cathedral in Kiev, its use, research in this area.

[V.F. Rybin], A.S. Skalskiy, V.Y. Saprykin, [V.A. Kutsiba], N.M. Molochkova Engineering protection of territory problems ensemble structures St. Sophia Cathedral from flooding //The world of geotechnik.- 2016.- №2.- P.16-22.

Members of IGS NAS of Ukraine conducted complex hydrogeological monitoring of the territory of the architectural ensemble of St. Sophia Cathedral since 2001. Monitoring data are generalized in article. IGS NAS of Ukraine provide recommendations about prevention of damage of architectural monuments as a result of negative changes of hydrogeological regime.

I.V. Matveev, V.I. Kravchenko, N.M. Molochkova, N.Y. Ankyanets Deformation and stress in the construction of the cathedral "Sophia" in the event of seismic action //The world of geotechnik.- 2016.- №2.- P.23-26.

Presents the results of research work supporting structures St. Sophia Cathedral on the basis of performance is based on a spatial model, created in 2002-2004. With the work facilities and grounds to static loads and seismic effects of synthetic accelerograms. It describes the structural system of St. Sophia Cathedral (XI century).

V.I. Lyalko, V.E. Filipovich, H.B.Krylova The study of the distribution of surface temperatures in the historical part of kyiv //The world of geotechnik.- 2016.- №2.- P.27-29.

The article discusses the possibilities of the space monitoring based on thermal satellite imagery for urban areas. The surface differentiation of the thermal field in time and space on the example of the historical part of Kyiv was investigated. Problem areas were identified and recommendations to reduce and stabilize the growth of urban heat islands, through rational construction and urban greenery optimal planting were developed.

O.P. Dyshlyk The control of geodetic parameters as part of a comprehensive geotechnical monitoring objects National Reserve "Sophia" //The world of geotechnik.- 2016.- №2.- P.30-33.

This article contains description of results on creation of the complex monitoring system over the technical state of the Sophia cathedral buildings and territory. The system of monitoring is needed for the permanent supervision after the dynamics of processes which influence on the technical state of territory and ancient buildings with the purpose of the early prevention of their negative consequences.

Dyshlyk O.P., Berezynets O.V., Molochkova N.M., Nischuk L.A. Thermographic studies in St. Sophia Cathedral //The world of geotechnik.- 2016.- №2.- P.34-37.

In the article the expounded results of thermographic researches of the Sofia cathedral, and also advantages and limitations of drawing on these researches, are on monuments.

РИСУНКИ ДО СТАТТІ ДИШЛИК О.П., БЕРЕЗИНЕЦЬ О.В., МОЛОЧКОВА Н.М., НИЩУК Л.О
«ТЕРМОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У СОФІЙСЬКОМУ СОБОРІ»

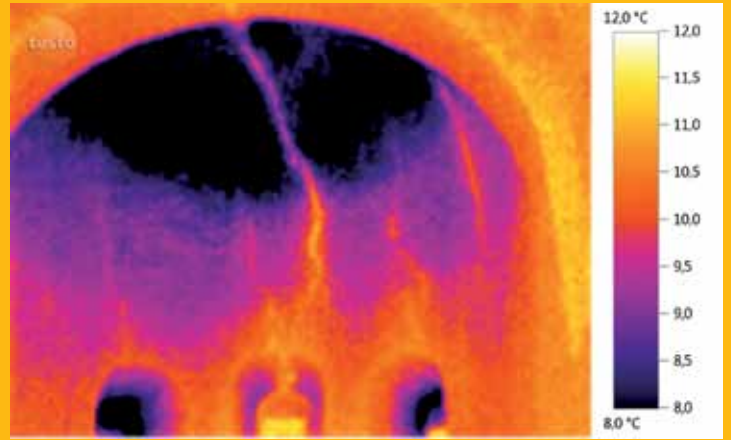


Рис. 2. Внутрішня стіна Спасо-Преображенського храму з фресками і її термографічне зображення.

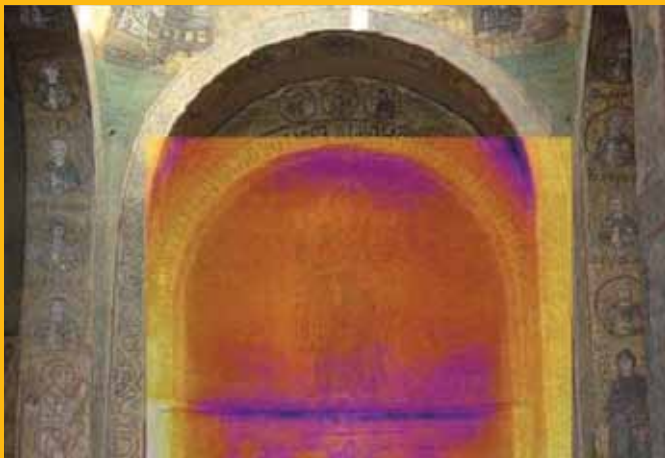


Рис. 3. Внутрішня стіна Софійського собору з мозаїкою і її термографічне зображення.



Рис. 4. Мережа прихованих тріщин, зондаж мурування Софійського собору (термографія)

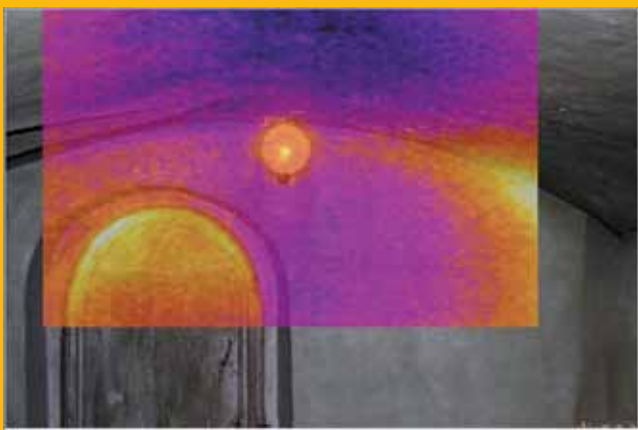


Рис. 5. Місце з підвищеною вологістю, склепіння північної башти Софійського собору (термографія).

РИСУНКИ К СТАТТЄ В.Ф. РЫБИН, А.С. СКАЛЬСКИЙ, В.Ю. САПРЫКИН,
В.А. КУЦИБА, Н.Н. МОЛОЧКОВА
«ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИИ АНСАМБЛЯ
СООРУЖЕНИЙ СОФИЙСКОГО СОБОРА ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ»



Рис. 2. Схема розміщення гідрогеологічних пунктів спостереження на території ансамблю споруд Софійського собору; ізолінії УГВ в 2014 г.