

УДК 7.025'174

DOI <https://doi.org/10.32782/uad.2024.3.10>**Миколайчук Антоніна Романівна,**

докторка філософії з образотворчого мистецтва, декоративного мистецтва, реставрації,
доцентка кафедри мистецтвознавчої експертизи
Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв
ORCID ID: 0000-0002-3536-7262
a.mykolaichuk@dakkkim.edu.ua

ШЛЯХИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ У ПРЕВЕНТИВНІЙ КОНСЕРВАЦІЇ

У статті досліджується інтеграція Інтернету Речей (IoT) у практику превентивної консервації культурної спадщини, акцентуючи на можливостях удосконалення методів збереження об'єктів у змінних умовах навколишнього середовища та технологічного прогресу. Особливу увагу приділено потенціалу IoT для постійного моніторингу та управління станом культурних об'єктів, а також ролі хмарних технологій у обробці й зберіганні даних, отриманих від сенсорів у реальному часі.

Проаналізовано сучасні технології IoT, що забезпечують моніторинг мікрокліматичних умов (температури, вологості, освітлення та забруднення повітря), з прикладами успішного впровадження у таких проєктах, як IoT системи Newsteo у Луврі, MUSECORR, Collection Care тощо. Оцінюються переваги застосування IoT, включаючи автоматизацію процесів управління, підвищення економічної ефективності та зниження ризиків пошкодження об'єктів.

Стаття також обговорює ризики та етичні питання, пов'язані з використанням IoT, такі як безпека даних, технічні бар'єри та економічні витрати. У висновках підкреслюється необхідність подальших досліджень у напрямку вдосконалення сенсорних технологій, інтеграції даних з різних джерел та створення універсальних платформ для ефективного збереження культурної спадщини.

Ключові слова: превентивна консервація, культурна спадщина, моніторинг мікроклімату, Інтернет речей, хмарні технології, управління даними, етичні аспекти.

Mykolaichuk Antonina. APPLICATIONS OF THE INTERNET OF THINGS IN PREVENTIVE CONSERVATION

The article explores the integration of the Internet of Things (IoT) into the practice of preventive conservation of cultural heritage, focusing on enhancing methods for preserving objects under changing environmental conditions and technological advancement. Special attention is given to the potential of IoT for continuous monitoring and management of the state of cultural objects, as well as the role of cloud technologies in real-time data processing and storage obtained from sensors.

The study analyzes current IoT technologies that provide monitoring of microclimatic conditions (temperature, humidity, lighting, and air pollution), with examples of successful implementation in projects such as like the Newsteo IoT systems at the Louvre, MUSECORR, Collection Care, etc. The advantages of using IoT are assessed, including the automation of management processes, increased cost-efficiency, and reduced risk of damage to objects.

The article also discusses the risks and ethical issues associated with the use of IoT, such as data security, technical barriers, and economic costs. The conclusions emphasize the need for further research in the direction of improving sensor technologies, integrating data from different sources, and creating universal platforms for the effective preservation of cultural heritage.

Key words: preventive conservation, cultural heritage, microclimate monitoring, Internet of Things, cloud technologies, data management, ethical issues.

Вступ. Превентивна консервація виступає ключовим підходом забезпечення довготривалого збереження рухомих пам'яток. Концепція захисту видатних творів мистецтва від шкідливих впливів має глибокі історичні корені [1], однак як термін превентивна

консервація з'являється тільки наприкінці ХХ століття та активно розвивається на сьогодні.

Про важливість дотримання вимог та створення належного середовища для збереження пам'яток зазначено в рекоменда-

ціях ЮНЕСКО та Міжнародної ради музеїв ICOM [2]. Збереження об'єктів культурної спадщини є складним і багатограним процесом, що потребує комплексного підходу. Традиційні методи превентивної консервації, такі як контроль температурно-вологісного режиму, регулярне обстеження стану об'єктів і обмеження впливу шкідливих факторів і, на жаль, наразі в Україні – війни, постійної загрози ракетних чи БПЛА атак і окупації наших територій росією [3] нерідко спрямовані на усунення вже наявних проблем, а не на їх попередження, що призводить до запізнілої реакції та можливих незворотних втрат пам'ятки. Нині існує необхідність інтеграції новітніх технологій, таких як Інтернет Речей (IoT), для забезпечення безперервного моніторингу та оперативного реагування на зміни у стані культурних об'єктів.

Сучасні методи превентивної консервації культурної спадщини здебільшого залишаються реактивними, покладаючись на втручання після виникнення проблем. Це створює значні ризики для збереження пам'яток, зокрема в умовах зміни клімату та інших надзвичайних ситуацій.

Аналіз досліджень і публікацій. Хоча в Україні превентивні заходи ще й досі не розглядаються як ключовий інструмент збереження культурної спадщини [2, с. 30], у науковій літературі питання превентивної консервації культурної спадщини досліджується досить активно, проте багато традиційних підходів залишаються спрямованими на усунення наслідків, а не на їх попередження. Наприклад, численні дослідження [4; 5] фокусуються на необхідності контролю за мікрокліматичними параметрами, такими як температура і вологість, однак обмежуються рекомендаціями щодо оптимальних параметрів збереження, не надаючи рішень для автоматизації цього контролю в режимі реального часу. Такі підходи часто не враховують складність динамічних умов навколишнього середовища і не пропонують технологічних засобів для їх безперервного моніторингу та регулювання.

Існує також низка робіт, що обговорюють важливість використання інформаційних технологій у галузі консервації, зокрема вірту-

альних платформ для аналізу та документації [6]. Однак, більшість з них обмежується теоретичними аспектами, не демонструючи практичних прикладів впровадження IoT у повсякденну практику консервації. Публікації, які висвітлюють потенціал IoT, здебільшого описують окремі випадки використання сенсорів для моніторингу окремих параметрів [7], але не роблять системного аналізу їхньої ефективності у комплексному підході до збереження культурної спадщини.

Хоча деякі дослідження [8; 9] зазначають можливість автоматизації процесів моніторингу і управління за допомогою IoT, вони рідко торкаються питань безпеки даних, технічних бар'єрів або економічних аспектів, які можуть ускладнити їх широкомасштабне впровадження. Крім того, питання інтеграції IoT з іншими технологіями, такими як хмарні платформи для зберігання та аналізу даних, залишається мало висвітленим у поточній науковій літературі.

З огляду на вищезазначене, відсутні узагальнені підходи, які б інтегрували дані з різних джерел для створення комплексної системи управління збереженням. Багато досліджень не охоплюють усіх аспектів, необхідних для повної інтеграції цих технологій, таких як автоматизований моніторинг, прогнозування на основі аналізу великих обсягів даних та інтеграція IoT з іншими сучасними технологіями. Це свідчить про необхідність більш глибокого вивчення цього питання для розробки цілісних рішень у сфері превентивної консервації, особливо в контексті забезпечення довготривалого збереження культурних об'єктів в умовах швидких змін у навколишньому середовищі та соціальних умовах.

Мета статті – оцінити потенціал використання IoT для перетворення превентивної консервації з реактивного підходу на проактивний, шляхом безперервного моніторингу і оперативної обробки даних.

Виклад основного матеріалу. Традиційні методи моніторингу та управління умовами збереження культурних об'єктів, як-от контроль за температурою, вологістю, освітленням і забрудненням повітря, базуються на періодичних ручних вимірюваннях або викорис-

танні стаціонарних пристроїв [4]. Хоча ці методи забезпечують базовий рівень захисту, вони мають декілька важливих обмежень, які впливають на їх ефективність.

Перш за все, реакція на зміну умов збереження може відбуватися із запізненням, що збільшує ризик пошкодження об'єктів у проміжку між вимірюваннями. До того ж, такі методи є трудомісткими і вимагають постійної участі персоналу, що збільшує витрати на їхнє обслуговування та підвищує ймовірність людської помилки.

Новітні IoT-технології, що базуються на мережі розумних сенсорів, пропонують суттєві переваги у порівнянні з традиційними методами. Розглянемо використання IoT у конкретних проектах:

Моніторинг мікроклімату: У Луврі впроваджена комплексна система IoT для моніторингу мікрокліматичних умов для того, щоб клімат в приміщенні зберігався максимально стабільним і ні в якому разі без різких змін, при цьому ідеальна відносна вологість має становити близько 55% для живопису на дереві або полотні, якщо температура близько 20° [10].

Зокрема, у музеї використовується IoT система Newsteo, розроблена французькою компанією Newsteo [10], з бездротовими датчиками і засобами керування для відстеження, оповіщення та контролю рівня вологості й температури у різних виставкових залах і сховищах. Зібрані дані передаються в реальному часі до центральної системи управління через 3G/4G або Ethernet до SaaS-додатків [10], що дозволяє автоматично регулювати кліматичні установки. Зокрема встановлені там сенсорні датчики «LOG 12 Temperature and Humidity Sensor» [10] допомагають підтримувати температуру та вологість у визначених параметрах для різних видів пам'яток. Цей датчик має високу чутливість і здатен реєструвати зміни з точністю до $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ для температури та $\pm 3\%$ RH для вологості [10], забезпечуючи безперервне збирання даних у режимі реального часу. Частота збору даних може бути налаштована від одного разу на хвилину до одного разу на годину, залежно від вимог збереження конкретних пам'яток. Система IoT

автоматично передає дані до центральної системи управління через протоколи Bluetooth та Wi-Fi. Програмне забезпечення Webmonitor обробляє дані, забезпечуючи їх відображення в реальному часі та аналізує відхилення від встановлених параметрів, забезпечуючи детальний моніторинг мікрокліматичних параметрів.

Так, на виставці «Франсуа I та голландське мистецтво» встановлено 17 датчиків температури та відносної вологості, підключених до основного приймача. Вимірювання передаються у хмарне сховище та відображаються у веб-додатку Webmonitor у режимі реального часу. У разі аномальних коливань клімату виставки сповіщення надсилається керівнику електронною поштою [10].

Виявлення забруднювачів: У фінансованому ЄС проєкті MUSECORR йдеться про IoT-системи AirCorr, розроблені Французьким інститутом корозії (Institut de la Corrosion) та впроваджені у виробництво компанією «NKE Instrumentation» [11] для моніторингу корозії металевих пам'яток у музеях Європи. Наразі виготовляються і використовуються такі версії AirCorr: AirCorr I: внутрішній реєстратор зі змінним датчиком; AirCorr I Plus: реєстратор для приміщень із датчиками температури та відносної вологості, 2 змінними датчиками корозії та дисплеєм, що показує поточну корозійну активність; AirCorr 0: водонепроникний реєстратор для зовнішнього використання. Реєстратори корозії AirCorr використовують сенсори електричного опору з високою точністю для визначення рівня корозії, спричиненої забруднювачами повітря. IoT-системи AirCorr має датчики (для таких металів як мідь, срібло, свинець, залізо/сталь, цинк, алюміній, олово, бронза, латунь), здатні реєструвати рівні корозійних агентів як-от SO_2 , NO_x , та O_3 , з чутливістю до концентрацій на рівні, для порівняння, – від 50нм (нанометрів) для міді до 800нм для заліза [11]. Точність вимірювань сягає $\pm 5\%$, що дозволяє своєчасно виявляти найменші зміни, які можуть призвести до пошкодження культурних об'єктів.

На сьогодні такі IoT AirCorr системи використовуються в музеї історії мистецтв у Відні, Швейцарському національному музеї, Націо-

нальному музеї Данії, Датській королівській бібліотеці, Австралійському військовому меморіалі, Луврі, Музеї моряків у США, Національному архіві у Чеській Республіці [11].

Дані з цих сенсорів автоматично передаються на сервери для подальшого аналізу. Програмне забезпечення для обробки даних використовує алгоритми для виявлення тенденцій корозійного процесу, що дозволяє швидко виявляти зміни у стані об'єктів та своєчасно вживати заходів для запобігання їх подальшому руйнуванню [12]. Це підходить для більш ефективного контролю стану артефактів у порівнянні з традиційними методами.

У світовій практиці вже реалізовано низку схожих інноваційних проєктів, що використовують IoT-технології для моніторингу та збереження культурної спадщини. Зокрема прикладами застосування подібних IoT систем є: у Ватиканських музеях для захисту Сікстинської капели від вібрацій, викликаних відвідувачами та транспортом, встановлено IoT-сенсори, що вимірюють вібрації та передають дані до центральної системи управління для запобігання пошкодженню фресок [13]. У фінансованому ЄС проєкті «CollectionCare», який об'єднав 18 партнерів з 9 країн, розроблені IoT-сенсорні системи для моніторингу температури, вологості, освітлення та забруднення повітря в музеях і архівах, що дозволяє значно знизити ризики пошкодження і оптимізувати витрати на утримання колекцій [14]. У Міланському соборі впроваджена IoT-система для моніторингу мікроклімату, що збирає дані для оцінки стану збереження будівлі та ризиків для її матеріалів [15]. У палаці Хемптон-Корт (Велика Британія) використовується IoT-система для збереження гобеленів XVI століття шляхом автоматичного регулювання кліматичних умов [7].

Ці проєкти демонструють ефективність використання систем IoT у превентивній консервації, підкреслюючи переваги технологій у збереженні культурної спадщини через постійний моніторинг і управління умовами зберігання в реальному часі.

Результати. По-перше, IoT забезпечує безперервний моніторинг умов збереження в реальному часі, що дозволяє оперативно

виявляти відхилення від оптимальних параметрів та своєчасно вживати коригувальні заходи [8]. Завдяки цьому значно знижується ризик пошкодження культурних об'єктів.

По-друге, IoT-системи значно точніші, оскільки здатні збирати велику кількість даних з різних сенсорів і інтегрувати їх у єдину систему. Це дозволяє створити комплексну картину умов збереження та відстежувати навіть незначні зміни в мікрокліматі чи інших параметрах середовища [9]. Така точність особливо важлива для збереження чутливих об'єктів, які можуть пошкоджуватися навіть від незначних змін у навколишньому середовищі.

Третя ключова перевага IoT полягає в економічній ефективності. Хоча впровадження IoT-технологій може вимагати початкових інвестицій у закупівлю та встановлення обладнання, їх використання у довгостроковій перспективі знижує експлуатаційні витрати завдяки автоматизації процесів управління, зниженню необхідності ручного моніторингу та швидкому виявленню потенційних загроз, що суттєво зменшує витрати на ремонт і реставрацію [16].

IoT-технології забезпечують автоматизований збір даних у реальному часі, дозволяють швидко реагувати на зміни умов, забезпечуючи високу точність, економію ресурсів і зменшення людських помилок. Наприклад, системи можуть автоматично регулювати температуру, вологість чи освітлення у відповідь на зміну мікрокліматичних умов, що сприяє стабільності умов збереження [17]. IoT-технології підвищують точність та оперативність моніторингу, знижують витрати на енергоспоживання, покращують умови зберігання культурних об'єктів і доводять ефективність міждисциплінарних підходів [18] у превентивній консервації.

Запровадження IoT також супроводжується певними застереженнями. Найвищим ризиком є безпека даних, особливо систем управління, що може призвести до потенційно небезпечних змін умов збереження. Інтеграція IoT-технологій з існуючими системами може бути технічно складною, потребувати оновлення програмного забезпечення та навчання персо-

налу. Використання IoT також піднімає етичні питання, зокрема щодо приватності та захисту даних про персонал або відвідувачів. Технічні обмеження та можливі збої в роботі сенсорів або програмного забезпечення можуть спричинити втрату контролю над умовами збереження. Важливо ретельно оцінювали ці ризики та етичні аспекти, розробляли ефективні стратегії управління ризиками і забезпечували відповідний захист даних.

Дослідження показує, що інтеграція IoT у превентивну консервацію дозволяє значно підвищити ефективність моніторингу та управління станом культурних об'єктів, забезпечуючи їх збереження в умовах сучасних викликів. Виявлені переваги включають автоматизацію процесів, підвищену точність даних і швидкість реагування. Водночас, важливо продовжувати дослідження в напрямі удосконалення сенсорних технологій, особливо для виявлення нових типів ризиків, таких як мікробіологічні загрози або структурні пошкодження.

Висновки. У результаті дослідження встановлено, що інтеграція Інтернету речей (IoT) у превентивну консервацію культурної спадщини відкриває нові можливості для тривалого збереження культурних об'єктів через

точний та безперервний моніторинг. Використання IoT знижує ризики пошкоджень завдяки своєчасному виявленню відхилень у мікрокліматичних умовах, вібраціях та інших потенційно небезпечних чинниках. Поєднання сенсорів із хмарними технологіями забезпечує точне збирання даних і автоматизує процеси управління, підвищуючи ефективність превентивних заходів.

Аналіз успішних впроваджень IoT у різних контекстах (музеї, історичні будівлі, архіви) демонструє зниження ризиків і підвищення економічної ефективності. Використання штучного інтелекту для обробки великих обсягів даних дозволяє не лише моніторити, але й прогнозувати можливі проблеми, підвищуючи проактивність прийняття рішень.

Подальші дослідження мають зосередитися на оцінці довгострокової ефективності IoT у різних умовах зберігання; удосконаленні сенсорних технологій для виявлення нових типів ризиків, пов'язаних з біологічними або хімічними чинниками; а також розробці способів інтеграції даних з різних джерел, аналізу їх у реальному часі та забезпечення ефективної взаємодії для упередження руйнації пам'яток.

Література:

1. Тимченко Т. Р. *Методи захисту основ станкового живопису: Навчальний посібник*. К.: Задруга, 2015. 106 с.
2. Борисенко М. Превентивна консервація як інструмент збереження культурного надбання. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2021, 35(1), 26–31. URL: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/35-1-4>
3. Возняк Т. Досвід організації музейної діяльності в ситуації війни. *Львівська національна галерея мистецтв імені Б.Г. Возницького*. (18 листопада 2023). URL: <https://lvivgallery.org.ua/news/taras-vozyak-dosvid-organizaciyi-muzeynoyi-diyalnosti-v-sytuaciyi-viyny>
4. Thomson G. *The museum environment* (2nd ed.). London : Butterworths, 1986. 312 p.
5. Camuffo D., Della Valle A., Becherini F. The European standard EN 15757 concerning specifications for relative humidity: suggested improvements for its revision. *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 9. P. 1344. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos13091344>.
6. Numerical modelling of mechanical degradation of canvas paintings under desiccation / D. S. H. Lee et al. *Heritage Science*. 2022. Vol. 10, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00763-w>.
7. Balancing Significance and Maintaining 'Sense of Place' in the Sustainable Display of Tudor Tapestries in the Great Hall, Hampton Court Palace / K. Frame et al. *Studies in Conservation*. 2018. Vol. 63, sup1. P. 87–93. URL: <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1497320>.
8. An energy-efficient Internet of Things (IoT) architecture for preventive conservation of cultural heritage / A. Perles et al. *Future Generation Computer Systems*. 2018. Vol. 81. P. 566–581. URL: <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.030>.
9. Chianese A., Piccialli F. Designing a Smart Museum: When cultural heritage joins IoT. *2014 Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies (NGMAST)*, Oxford, UK, 10–12 Sept. 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/ngmast.2014.21>.
10. TrZE. THE LOUVRE: Temperature and humidity in an exhibit hall – Newsteo. *Newsteo*: website, 2021. URL: <https://www.newsteo.com/en/portfolio-items/louvre-climate-conditions-monitoring/>.
11. Institut de la Corrosion & nke-instrumentation. (n.d.). *AIRCORR loggers: real-time monitoring of indoor and outdoor corrosivity and air quality* [Dataset]. <https://nke-instrumentation.com/wp-content/uploads/2019/05/AirCorr-brochure.pdf>

12. Real-time monitoring of indoor air corrosivity in cultural heritage institutions with metallic electrical resistance sensors / T. Prošek et al. *Studies in Conservation*. 2013. Vol. 58, no. 2. P. 117–128. URL: <https://doi.org/10.1179/2047058412y.0000000080>.
13. Cimino V. *The conservation of the Vatican Museums: a ten-year project completed*. Città del Vaticano : Edizioni Musei vaticani, 2016. 168 p.
14. The Project. *Collection Care*. URL: <https://www.collectioncare.eu/>
15. Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage / N. Aste et al. *Building and Environment*. 2019. Vol. 148. P. 240–257. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.015>.
16. A portable tool for the evaluation of microclimate conditions within museum enclosures, transit frames, and transport cases / M. Odlyha et al. *Studies in Conservation*. 2018. Vol. 63, sup1. P. 407–410. URL: <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1499841>.
17. Alsuhly G., Khattab A. An IoT Monitoring and Control Platform for Museum Content Conservation. *2018 Int.l Conf. on Computer and Applications (ICCA)*, Beirut, 25–26 August 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/comapp.2018.8460402>.
18. Perles, A., Fuster-López, L., & Bosco, E. Preventive conservation, predictive analysis and environmental monitoring. *Heritage Science*. 2024. Vol. 12, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01118-9>.

References:

1. Tymchenko, T.R. (2015). *Metody zakhystu osnov stankovoho zhyvopysu: Navchalnyi posibnyk*. [Methods of protecting the basics of easel painting: Training manual] K.: Zadruha [in Ukrainian].
2. Borysenko, M. (2021). Preventywna konservatsiia yak instrument zberezhennia kulturnoho nadbannia. [Preventive conservation as a tool for preserving cultural heritage] *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk*. P. 26–31. <https://doi.org/10.24919/2308-4863/35-1-4> [in Ukrainian].
3. Vozniak, T. (2023). *Dosvid orhanizatsii muzeinoi diialnosti v sytuatsii viiny | Lvivska natsionalna halereia mystetstv imeni B.H. Voznytskoho*. [Taras Wozniak: Experience of organizing museum activities in a war situation]. Lviv National Art Gallery named after B.G. Woznytskyi <https://lvivgallery.org.ua/news/taras-voznjak-dosvid-organizaciyi-muzeynoyi-diyalnosti-v-sytuaciyi-viyny> [in Ukrainian].
4. Thomson, G. (1986). *The museum environment* (2nd ed.). London : Butterworths.
5. Camuffo, D., Della Valle, A., & Becherini, F. (2022). The European standard EN 15757 concerning specifications for relative humidity: suggested improvements for its revision. *Atmosphere*, 13(9), 1344. <https://doi.org/10.3390/atmos13091344>
6. Lee, D. S., Kim, N., Scharff, M., Nielsen, A. V., Mecklenburg, M., Fuster-López, L., Bratasz, L., & Andersen, C. K. (2022). Numerical modelling of mechanical degradation of canvas paintings under desiccation. *Heritage Science*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00763-w>
7. Frame, K., Vlachou–Mogire, C., Hallett, K., & Takami, M. (2018). Balancing significance and maintaining ‘Sense of place’ in the sustainable display of Tudor tapestries in the Great Hall, Hampton Court Palace. *Studies in Conservation*, 63(sup1), 87–93. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1497320>
8. Perles, A., Pérez-Marín, E., Mercado, R., Segrelles, J. D., Blanquer, I., Zarzo, M., & García-Diego, F. (2018). An energy-efficient internet of things (IoT) architecture for preventive conservation of cultural heritage. *Future Generation Computer Systems*, 81, 566–581. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.030>
9. Chianese, A., & Piccialli, F. (2014). Designing a Smart Museum: When cultural heritage joins IoT. *2014 Eighth Int. Conf. on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies*. <https://doi.org/10.1109/ngmast.2014.21>
10. TrZE. (2021, March 23). *THE LOUVRE: Temperature and humidity in an exhibit hall – Newsteo*. Newsteo. <https://www.newsteo.com/en/portfolio-items/louvre-climate-conditions-monitoring/>
11. Institut de la Corrosion & nke-instrumentation. (n.d.). *AIRCORR loggers: real-time monitoring of indoor and outdoor corrosivity and air quality* [Dataset]. <https://nke-instrumentation.com/wp-content/uploads/2019/05/AirCorr-brochure.pdf>
12. Prošek, T., Kouřil, M., Dubus, M., Taube, M., Hubert, V., Scheffel, B., Degres, Y., Jouannic, M., & Thierry, D. (2013). Real-time monitoring of indoor air corrosivity in cultural heritage institutions with metallic electrical resistance sensors. *Studies in Conservation*, 58(2), 117–128. <https://doi.org/10.1179/2047058412y.0000000080>
13. Cimino, V. (2016). *The conservation of the Vatican Museums: A Ten Year Project Completed*. Città del Vaticano : Edizioni Musei vaticani.
14. The Project. *Collection Care*. <https://www.collectioncare.eu>
15. Aste, N., Adhikari, R., Buzzetti, M., Della Torre, S., Del Pero, C., & Leonforte, F. (2019). Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage. *Building and Environment*, 148, 240–257. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.015>
16. Odlyha, M., Slater, J. M., Grøntoft, T., Jakiela, S., Obarzanowski, M., Thickett, D., Hackney, S., Andrade, G., Wadum, J., Christensen, A. H., & Scharff, M. (2018). A portable tool for the evaluation of microclimate conditions within museum enclosures, transit frames, and transport cases. *Studies in Conservation*, 63(sup1), 407–410. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1499841>
17. Alsuhly, G., & Khattab, A. (2018). An IoT monitoring and control platform for museum content conservation. *2018 International Conference on Computer and Applications (ICCA)*. <https://doi.org/10.1109/comapp.2018.8460402>
18. Perles, A., Fuster-López, L., & Bosco, E. (2024). Preventive conservation, predictive analysis and environmental monitoring. *Heritage Science*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01118-9>