

УДК 726:697.9

Енергоефективне формування мікроклімату в історичній культовій споруді-пам'ятці з настінним живописом

В. Р. Вахула¹

¹ асист. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, v.vahula@gmail.com,
ORCID:0000-0001-7973-6421

Анотація. Для збереження складних історичних об'єктів з унікальними архітектурно-інженерними рішеннями та пам'ятками монументального живопису, що представляє культурну та історичну цінність, задача підтримання визначених музейними фахівцями параметрів мікроклімату є актуальною. Об'єктом дослідження є Софійський собор – пам'ятка архітектури, історії та монументального живопису національного значення, складова об'єкту всесвітньої культурної спадщини ЮНЕСКО. Розташування споруди у центрі міста обумовлює вплив несприятливих зовнішніх метеоумов, зокрема високої загазованості повітря, а привабливість пам'ятки для туристів – високий рівень відвідуваності та, як наслідок, динамічні зміни внутрішніх параметрів повітряного середовища. Наявний режим надходження теплоти, вологи й газів у Софійському соборі є періодичним з характерними максимумами значень температури і відносної вологості в різних зонах будівлі під час відвідування його людьми. Проведено три серії натурних досліджень параметрів повітряного середовища Собору. Першу серію проведено 02 жовтня 2019 р. при температурі зовнішнього повітря плюс 18,9 °С та відносній вологості 47,5 % при вимкненій і увімкненій системі вентиляції та до початку опалювального сезону. Друга серія вимірювань проводилася 12-14 листопада 2019 р. при температурі зовнішнього повітря плюс 8,9 °С та відносній вологості 73 % при вимкненій вентиляції та увімкненому опаленні. Третю серію вимірювань проведено 08 лютого 2020 р. при температурі зовнішнього повітря мінус 3,2 °С та відносній вологості 56,2 % при вимкненій вентиляції та увімкненому опаленні. Аналіз результатів свідчить про необхідність реконструкції та модернізації систем інженерного забезпечення мікроклімату та теплопостачання Собору. На даний час фізичний знос систем опалення та вентиляції становить 75...85 %. Вони потребують негайної реконструкції та зміни режиму експлуатації. З урахуванням виконаних натурних досліджень розроблено проєкт модернізації систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Ключові слова: Софійський собор, збереження пам'яток, музей, мікроклімат.

Вступ. Проблема зберігання культових споруд – пам'яток архітектури не може розглядатися у відриві від проблеми створення у них оптимальних мікрокліматичних умов. Основним інформаційним джерелом для розв'язання цієї задачі є постійне проведення моніторингу стану повітряного середовища будівель і споруд. Об'єктом дослідження є Софійський собор – пам'ятка архітектури, історії, монументального живопису національного значення, складова об'єкту всесвітньої культурної спадщини ЮНЕСКО.

Актуальність дослідження. Для забезпечення збереження складних історичних об'єктів з унікальними архітектурно-інженерними рішеннями та пам'ятками монументального живопису, що представляє культурну та історичну цінність, задача підтримання визначених музейними фахівцями параметрів мікроклімату є актуальною.

Останні дослідження та публікації. Вплив мікроклімату на стан музейних пам'яток є одним з основних факторів, що впливають на швидкість їхнього старіння, а недотримання параметрів мікроклімату призводить до деградації цих пам'яток [1-8]. Тому для прийняття рішень щодо реконструкції та модернізації систем формування мікроклімату слід провести

моніторинг стану повітряного середовища музею.

Формулювання цілей статті. Збір та аналіз параметрів повітряного середовища при усталеному режимі функціонування Софійського собору та прогнозуванні зміни параметрів мікроклімату у випадках проведення святкових заходів.

Основна частина. Розташування Софійського собору в центрі міста обумовлює вплив несприятливих зовнішніх метеорологічних умов, зокрема високої загазованості повітря, а привабливість пам'ятки для туристів – високий рівень відвідуваності та, як наслідок, динамічні зміни внутрішніх параметрів повітряного середовища.

На сьогодні будівля функціонує як музейний комплекс з обмеженням максимальної кількості екскурсантів до 100 осіб. Постійних релігійних масових заходів на даний час не проводиться.

Наявний режим надходження теплоти, вологи та газів у Софійському соборі є періодичним з характерними максимумами значень температури і відносної вологості в різних зонах будівлі під час відвідування його людьми. Залежно від періоду року, кількості відвідувачів, наявності увімкненої вентиляції за 4...5 годин відносна вологість збільшується на

5...8 %, а температура – на 2...3 °С.

Вирішення задачі створення мікроклімату повинно здійснюватися комплексно:

- дослідження температурно-вологісного повітряного режиму;
- дослідження стану огорожувальних конструкцій;
- визначення факторів, які дестабілізують температурно-вологісний режим будівлі;
- розроблення відповідних інженерних систем забезпечення мікроклімату приміщень.

У рамках виконання поставленого завдання було проведено три серії натурних досліджень параметрів повітряного середовища у приміщенні Собору. Першу серію вимірів було проведено 02 жовтня 2019 р. при температурі зовнішнього повітря +18,9 °С та відносній вологості 47,5 % при вимкненій і ввімкненій системі вентиляції та до початку опалювального сезону.

Друга серія вимірювань проводилася 12...14 листопада 2019 р. при температурі зовнішнього повітря +8,9 °С та відносній вологості 73 % при вимкненій системі вентиляції та увімкненій системі опалення (початок опалювального сезону відбувся 29 жовтня). Третю серію вимірювань було проведено 08 лютого 2020 р. при температурі зовнішнього повітря –3,2 °С та відносній вологості 56,2 % при вимкненій системі вентиляції та увімкненій системі опалення.

Для проведення вимірів будівлю Собору була умовно розділена на характерні зони, обумовлені об'ємно-планувальними особливостями інтер'єру:

- перший поверх:
 - у нартексі;
 - бічні галереї;
 - центральна частина;
 - за вітварями;
- другий поверх:
 - хори;
 - галереї з музейною експозицією;
- третій поверх:
 - реставраційної майстерні;
 - експозиційна зала;
- гвинтові сходи.

У кожній зоні було виділено точки замірів. Параметри визначалися на трьох рівнях за висотою (1,0 м, 2,0 м та 3,0 м).

У процесі натурних досліджень вимірялися

- температура повітря, °С;
- відносна вологість, %;
- швидкість руху, м/с;
- турбулентність повітря, %;
- освітленість, лк.

Характерний результат наведено на рис. 1.

Температура повітря в нижній зоні Собору коливається від 11,8 до 15,4 °С. В нартексі температура становить $t = 13...14$ °С, у центральній частині 12,3...13,4 °С, у бічних галереях 14,9...15,1 °С. У вітварній частині собору, де розташована значна площа фресок та мозаїк, температура знаходиться в межах 11,8...12,3 °С.

Для збереження творів монументального живопису рекомендована температура внутрішнього повітря в холодний період року становить 14...16 °С, в теплий період року 20...22 °С. Рекомендована відносна вологість внутрішнього повітря становить 50 % при можливому відхиленні протягом доби на 5 % у бік збільшення в теплий період року та на 5 % у бік зменшення у холодний період року.

Поле температури повітря в соборі (рис. 1) не задовольняє вимогам до зберігання фресок, мозаїк та настінного живопису, що призводить до руйнації творів мистецтва та безпосередньо огорожувальних конструкцій. Через це виникає необхідність реставраційних робіт для підтримання інтер'єру собору в автентичному стані. Необхідна реконструкція та модернізація систем інженерного забезпечення мікроклімату та теплопостачання Собору.

На даний час фізичний знос наявних систем опалення та вентиляції за даними обстежень становить 75...85 %. Вони потребують негайної реконструкції та зміни наявного режиму експлуатації.

В рамках реконструкції систем інженерного забезпечення з урахуванням виконаних натурних досліджень було розроблено проект модернізації систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату у Соборі було запроєктовано припливну та витяжну установки з рециркуляцією та утилізацією енергії витяжного повітря, що встановлюється в підвальному приміщенні під нартексом. За допомогою наявних підлогових каналів повітря транспортується до приміщення.

У теплий період року для охолодження, та зволоження повітря в установці передбачено тепловий насос та парозволожувач (рис. 2). Для боротьби з мікобіотою встановлені каналні бактерицидні секції.

У холодний період року в установці передбачено встановлення двох калориферів (електричного та водяного) для функціонування установки в режимі повітряного опалення в комплексі з центральною системою водяного опалення.

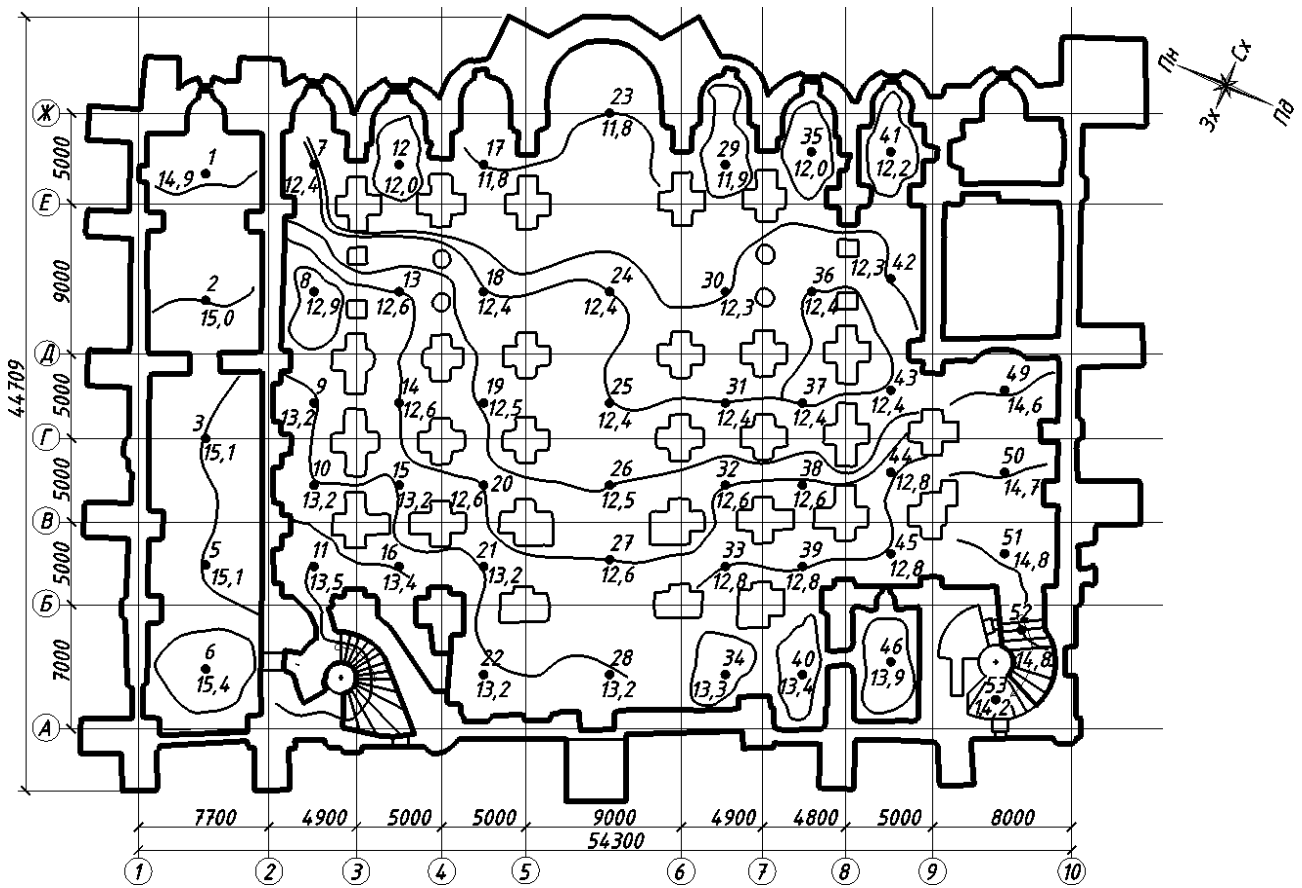


Рис. 1. Ізотерми в плані Собору на відмітці 2 м від підлоги

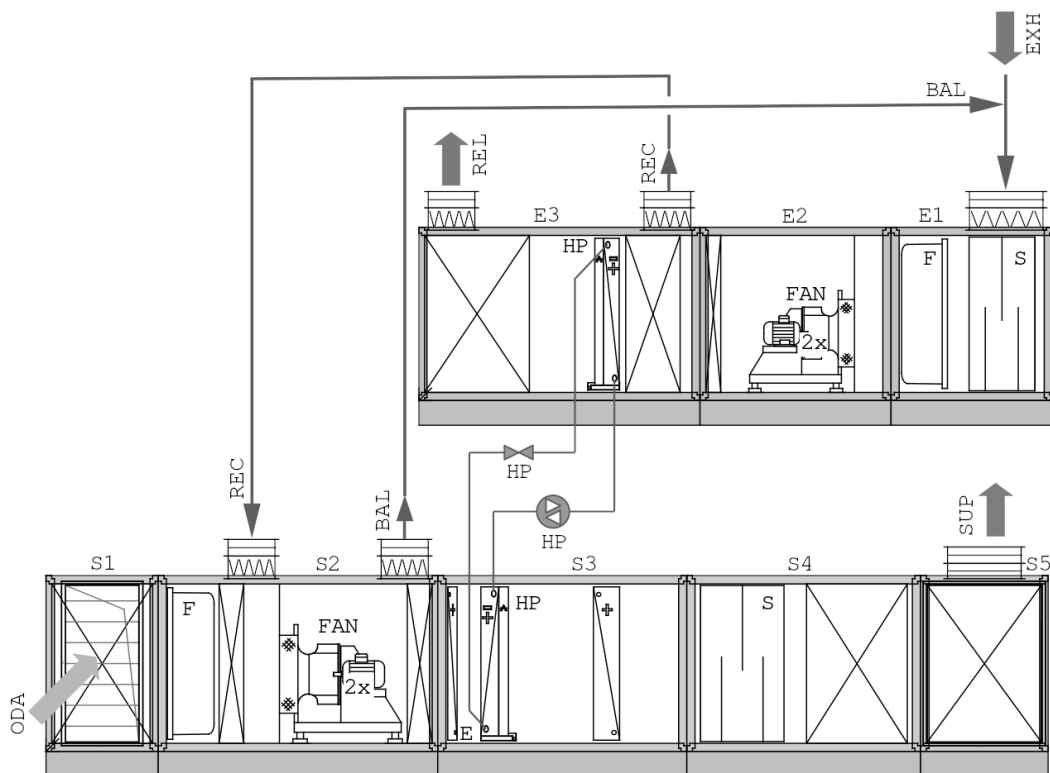


Рис. 2. Схема припливної та витяжної установок з теплонасосною утилізацією енергії витяжного повітря:

S1-S5 – припливна установка; S1 – приймальна секція; S2 – фільтровентиляторна секція;

S3 – секція оброблення повітря; S4 – шумоглушна секція; S5 – секція парозволоження та знезараження ультрафіолетовими лампами; E1-E3 – витяжна установка; E1 – фільтро-шумоглушна секція; E2 – вентиляторна секція; E3 – секція відбору енергії витяжного повітря; F – фільтр; FAN – вентилятор; E – електронагрівач; HP – тепловий насос-холодильна установка; S – шумоглушник; BAL – балансувальний повітровід; REC – рециркуляційний повітровід; ODA – забір зовнішнього повітря; SUP – подача повітря до приміщення; EXH – витяжне повітря з приміщення; REL – викид повітря до атмосфери;

⊠ – герметичні двері; ▭ – клапан

Для забезпечення оптимального функціонування установки та з урахуванням вимог до енергоефективності припливно-витяжна установка працює в трьох режимах залежно від температури та відносної вологості зовнішнього повітря.

У теплий період року при температурі повітря в межах 35...22 °С установка працює у прямоплинному режимі. За допомогою теплового насоса-холодильної установки відбувається охолодження припливного повітря. При температурі зовнішнього повітря нижче 22 °С за необхідності вмикається електричний повітрянагрівач. У разі встановлення реверсивного компресора в тепловому насосі-холодильній установці, як це показано на рис. 2, у переважній більшості випадків цього можна уникнути завдяки утилізації ним теплоти витяжного повітря.

З подальшим зниженням температури повітря нижче 0 °С використовується часткова рециркуляція повітря, суміш підігрівається в електронагрівачі. У разі встановлення реверсивного компресора більшість теплової енергії передає тепловий насос, а електронагрівач вмикається за потреби. У холодний період року відсоток рециркуляційного повітря збільшується, суміш догрівається у водяному повітрянагрівачі, дозволюється у парозволожувачі й подається до приміщень. У випадках, коли потужності водяного повітрянагрівача недостатньо, додатково вмикається електричний. У пікові морози можлива 70 % рециркуляція повітря. Після оброблення в установці повітря знезаражується у бактерицидних секціях.

Видалення частини повітря здійснюється крізь барабан центральної бані, а залишок – через витяжну установку. Оскільки тепловий насос-холодильна установка вимагає повітряного балансу припливу та видалення, частина

зовнішнього повітря перед секцією оброблення перекидається до витяжної установки балансувальним повітроводом.

Така схема повітрообміну є найбільш раціональною в даних умовах. Адже забір повітря до витяжної установки з барабану бані неможливий без пошкодження інтер'єру або екстер'єру. А відсутність вентилявання цього простору призведе до погіршення стану мікроклімату в ньому та пошкодження оздоблення й будівельних конструкцій.

Для припливно-витяжної установки у підвалі бракує місця. Установки розташовано одна поперед одною.

Висновки. Аналіз результатів натурних досліджень показав необхідність реконструкції та модернізації систем інженерного забезпечення мікроклімату та теплопостачання Собору. В даний час фізичний знос наявних систем опалення та вентиляції за даними обстежень складає 75...85 %. Вони потребують негайної реконструкції та зміни наявного режиму експлуатації. Запроектовані припливна та витяжна установки з рециркуляцією та утилізацією енергії витяжного повітря дозволяють енергоефективно забезпечувати мікроклімат у приміщенні задля збереження пам'ятки архітектури, історії та культури України.

Подяки. Роботу виконано в рамках госпрозрахункових тематик “Модернізація системи опалення та мікроклімату в Софійському соборі” та “Проведення комплексного науково-технічного дослідження Софійського собору, XI ст. - об'єкту нерухомої культурної спадщини Національного заповідника “Софія Київська”, що знаходиться за адресою: м. Київ, вул. Володимирська, 24” на замовлення Національного заповідника “Софія Київська” Міністерства культури України.

Література

1. Довгалюк В. Б. Функціональний аналіз теплопровідності та в'язкості квазітвердих капілярно-пористих тіл за змінних параметрів повітряного середовища при музейному зберіганні / В. Б. Довгалюк, Ю. В. Човнюк, М. О. Шишина, А. С. Москвітін // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2020. – Вип. 34. – с. 7-15. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2020.34.7-15>
2. Довгалюк В. Б. Енергоефективні технології організації повітророзподілу в музеях різного призначення при змінних режимах тепловологонадходжень / В. Б. Довгалюк, Ю. В. Човнюк, О. М. Складенко, А. К. Ситницька // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2020. – Вип. 32. – с. 6-16. – <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2020.0.6-16>
3. Човнюк Ю. В. Метод аналізу ізотерм, поверхневої фрактальної розмірності та динамічного хаосу при вологообміні колоїдних капілярно-пористих музейних експонатів за змінних умов мікроклімату / Ю. В. Човнюк, В. Б. Довгалюк, В. Т. Кравчук // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2019. – Вип. 30. – с. 6-19. – <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.30.6-19>

4. Довгалюк В. Б. Можливості застосування фрактальних моделей для ідентифікації мікрокліматичних параметрів музейних приміщень / В. Б. Довгалюк, Ю. В. Човнюк, Є. О. Іванов, А. К. Ситницька // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2019. – Вип. 29. – с. 6-11. – <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.29.6-11>

5. Довгалюк В. Б. Аналіз процесів тепломасообміну та деформації колоїдних капілярно-пористих тіл методами фрактального аналізу та дискретної нелінійної динаміки / В. Б. Довгалюк, Ю. В. Човнюк, М. О. Шишина // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2019. – Вип. 28. – с. 6-16. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.28.6-16>

6. Човнюк Ю. В. Концептуальні основи створення мехатронних систем керування мікрокліматом музейних приміщень з використанням нечітких логічних контролерів (регуляторів) / Ю. В. Човнюк, М. Г. Диктерук, В. Б. Довгалюк, О. М. Скляренко // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2018. – Вип. 27. – с. 6-17. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2018.27.6-17>

7. Човнюк Ю. В. Використання електромагнітних хвиль для контролю процесів вологопереносу в матеріалах художніх виробів / Ю. В. Човнюк, М. Г. Диктерук, В. Б. Довгалюк, О. М. Скляренко // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2018. – Вип. 26. – с. 6-12. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2018.26.6-12>

8. Довгалюк В. Б. Концептуальні основи аналізу тепломасообмінних і деформаційних процесів у полімерних дисперсних тілах для формування мікроклімату музеїв В. Б. Довгалюк, Ю. В. Човнюк // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2017. – Вип. 33. – с. 6-24. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2017.23.6-24>

References

1. Dovhaliuk V., Chovniuk Y, Shyshyna M, Moskvitina A. “Funktsionalnyi analiz teploprovodnosti ta viazkosti kvazitverdikh kapilarno-porystykh til za zminnykh parametriv povitrianoho seredovyscha pry muzeinomu zberihanni” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 34, 2020, pp. 7-15, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2020.34.7-15>

2. Dovhaliuk V., Chovniuk Y, Skliarenko O., Sytnytska A. “Enerhoefektyvni tekhnolohii orhanizatsii povitrorozpodilu v muzeiakh riznoho pryznachennia pry zminnykh rezhymakh teplovolonadkhdzhen” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 32, 2020, pp. 6-16, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2020.0.6-16>

3. Chovniuk Y, Dovhaliuk V., Kravchuk V. “Metod analizu izoterm, poverkhnevoi fraktalnoi rozmirnosti ta dynamichnoho khaosu pry volohoobmini koloidnykh kapilarno-porystykh muzeinykh eksponativ za zminnykh umov mikroklimatu” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 30, 2019, pp. 6-19, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.30.6-19>

4. Dovhaliuk V., Chovniuk Y, Ivanov Y, Sytnytska A. “Mozhlyvosti zastosuvannia fraktalnykh modelei dlia identyfikatsii mikroklimatychnykh parametriv muzeinykh prymishchen” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 29, 2019, pp. 6-11, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.29.6-11>

5. Dovhaliuk V., Chovniuk Yu, Shyshyna M. “Funktsionalnyi analiz teploprovodnosti ta viazkosti kvazitverdikh kapilarno-porystykh til za zminnykh parametriv povitrianoho seredovyscha pry muzeinomu zberihanni” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 28, 2019, pp. 6-16, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.28.6-16>

6. Chovniuk Y, Dykteruk M., Dovhaliuk V., Skliarenko O. “Kontseptualni osnovy stvorennia mekhatronnykh system keruvannia mikroklimatom muzeinykh prymishchen z vykorystanniam nechitkykh lohichnykh kontroleriv (rehuliatoriv)” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 27, 2018, pp. 6-17, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2018.27.6-17>

7. Chovniuk Y, Dykteruk M., Dovhaliuk V., Skliarenko O. “Vykorystannia elektromahnitnykh khvyl dlia kontroliu protsesiv volohoperenosu v materialakh khudozhnykh vyrobiv” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 26, 2018, pp. 6-12, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2018.26.6-12>

8. Dovhaliuk V., Chovniuk Yu. “Kontseptualni osnovy analizu teplomasoobminnykh i deformatsiinykh protsesiv u polimernykh dyspersnykh tilakh dlia formuvannia mikroklimatu muzeiv” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*, Iss. 23, 2017, pp. 6-24, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2017.23.6-24>

УДК 726:697.9

Энергоэффективное формирование микроклимата в историческом культовом сооружении-памятнике с настенной живописью

В. Р. Вахула¹

¹ ассист. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, v.vahula@gmail.com,
ORCID:0000-0001-7973-6421

Аннотация. Для сохранения сложных исторических объектов с уникальными архитектурно инженерными решениями и памятниками монументальной живописи, представляющих культурную и историческую ценность, задача поддержания определённых музейными специалистами параметров микроклимата является актуальной. Объектом исследования является Софийский собор – памятник архитектуры, истории и монументальной живописи национального значения, составляющий объект всемирного культурного наследия ЮНЕСКО. Расположение сооружения в центре города обуславливает влияние неблагоприятных внешних метеоусловий, в частности высокой загазованности воздуха, а привлекательность достопримечательности – высокий уровень посещаемости и, как следствие, динамические изменения внутренних параметров воздушной среды. Существующий режим поступления теплоты, влаги и газов в Софийском соборе периодичен с характерными максимумами значений температуры и относительной влажности в различных зонах здания во время посещения его людьми. Проведены три серии натурных исследований параметров воздушной среды Собора. Первая серия проведена 02 октября 2019 г. при температуре наружного воздуха плюс 18,9 °С и относительной влажности 47,5 % при выключенной и включённой системе вентиляции до начала отопительного сезона. Вторая серия измерений проводилась 12-14 ноября 2019 г. при температуре наружного воздуха плюс 8,9 °С и относительной влажности 73 % при выключенной вентиляции и включённом отоплении. Третья серия измерений проведена 08 февраля 2020 г. при температуре наружного воздуха минус 3,2 °С и относительной влажности 56,2 % при выключенной вентиляции и включённом отоплении. Анализ результатов свидетельствует о необходимости реконструкции и модернизации систем инженерного обеспечения микроклимата и теплоснабжения Собора. В настоящее время физический износ систем отопления и вентиляции составляет 75...85 %. Они нуждаются в немедленной реконструкции и изменении режима эксплуатации. С учётом выполненных натурных исследований разработан проект модернизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: Софийский собор, хранение достопримечательностей, музей, микроклимат.

UDC 726:697.9

Energy-efficient microclimate formation in a historical religious monument building with wall paintings

V. Vakhula¹

¹ Assistant professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, v.vahula@gmail.com,
ORCID:0000-0001-7973-6421

Abstract. In order to preserve complex historical objects with unique architectural, engineering solutions and monumental art that are of cultural and historical value, the task of maintaining the microclimate parameters determined by museum specialists is relevant. The object of the study is St. Sophia Cathedral – a monument of architecture, history and monumental painting of national importance, which is a UNESCO World Cultural Heritage Site. The location of it in the city centre determines the influence of adverse outdoor conditions, in particular, high air pollution, and the attraction of the site – a high level of attendance and, as a result, dynamic changes in the indoor parameters of the air environment. The existing regime of heat, moisture and gases in the St. Sophia Cathedral is periodic with characteristic maxima of temperature and relative humidity values in different areas of the building when people visit it. Three series of natural studies of the air environment parameters in the Cathedral were carried out. The first series was held on 02 October 2019 at an outdoor temperature of plus 18.9 °C and a relative humidity of 47.5 % with the ventilation system turned off and on before the start of the heating season. The second series of measurements was carried out on 12-14 November 2019 at an outside air temperature of plus 8.9 °C and a relative humidity of 73 % with the ventilation turned off and the heating turned on. The third series of measurements was carried out on 08 February 2020 at an outside air temperature of minus 3.2 °C and a relative humidity of 56.2 % with ventilation off and heating on. An analysis of the results indicates the need for reconstruction and modernization of the engineering microclimate systems and heat supply of the Cathedral. Currently, the physical deterioration of heating and ventilation systems is 75-85%. They need immediate reconstruction and change of operating mode. Taking into account the performed field studies, a project for the modernization of heating, ventilation and air conditioning systems was developed.

Keywords: Sophia Cathedral, storage of sights, museum, microclimate.

Надійшла до редакції / Received 29.03.2022