

УДК 697.95

Проектування системи витісняючої вентиляції в музейних приміщеннях

В. Р. Вахула¹

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

Анотація. В музейних приміщеннях, що розташовані в будівлях пам'яток архітектури важливим питанням є забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища та способ організації повітрообміну у виставкових та експозиційних залах. В таких будівлях неможливо проводити повітропроводи, тому використовуються існуючі канали від камінів, та природних витяжних каналів. В статті був розглянутий Національний центр народної культури "Музей Івана Гончара". Після аналізу архітектурних креслень музею було вибрано витісняючу систему вентиляції для організації повітрообміну. У витісняючій вентиляції під дією підйомної сили проводиться розширення повітря по висоті приміщення, завдяки чому якість повітря в зоні обслуговування вище, ніж в системах перемішувальної вентиляції. Об забезпечити необхідний мікроклімат запропоновано два варіанти організації повітрообміну. У рамках виконання поставленого завдання було проведено серію натурних досліджень параметрів повітряного середовища у приміщенні музею з такими параметрами: середня температура повітря в приміщенні знаходилася в межах $t_{wz} = 20$ °С, відносна вологість становила $\phi_{wz} = 55-60$ % в експозиційних залах. Розробка проекту системи формування мікроклімату музеїв, які розміщені в будівлях пам'яток історії та культури, потребує індивідуального підходу та виконання комплексу натурних, експериментальних і теоретичних досліджень процесів формування температурно-вологісного режимів у основних приміщеннях музею. Для дослідження повітрообміну та перетікання повітря між залами створено тривимірну модель, та змодельований рух повітря у двох варіантах для приміщень №40, 47 та 48 з урахуванням виконаних натурних досліджень та математичного моделювання варіантів організації повітрообміну було запропонований проект модернізації систем вентиляції та кондиціонування повітря..

Ключові слова: натурні дослідження, збереження пам'яток, музей, мікроклімат, витісняюча вентиляція.

Технологічні норми і вимоги. Ідеальними умовами для збереження експонатів є підтримка єдиного температурно-вологісного режиму в залах і сховищах музею.

Згідно з технологічними нормами:

- можливе коливання температури від 16 °С взимку до 24 °С влітку (найбільш краща температура: 18-22 °С);
- відносну вологість повітря необхідно підтримувати в межах 55 % \pm 5 % .

Фахівці галузі рекомендують встановити в приміщеннях зберігання картин систему автоматичного цілодобового і цілорічного контролювання параметрів повітря, яка значно полегшить регуляцію температурно-вологісного режиму.

Для зберігання картин підходять прецизійні кондиціонери, що відрізняються високою точністю контролю і управління температурою і вологістю, надійністю в експлуатації і повною сумісністю з системами управління мікрокліматом [1 - 8]

Розділимо приміщення музею на такі категорії:

- допоміжні приміщення, де відсутні колекції - в таких приміщеннях систему вентиляції та кондиціонування повітря передбачають, як для звичайних цивільних;

- виставкові та експозиційні зали, де містяться колекції, і є необмежений доступ відвідувачів - необхідне обслуговування окремою системою вентиляції;

- фондосховища, де містяться колекції, і присутній обмежений доступ відвідувачів - необхідне також обслуговування таких приміщень окремою системою вентиляції, не пов'язаної з іншими системами.

Параметри мікроклімату в різних приміщеннях музею. Дані параметри визначаються в залежності від властивостей матеріалу, з якого виготовлена колекція:

- гігроскопічні властивості (тканина, дерево, шкіра, мінерали, папір);
- фізико-хімічні (метал, скло, кіноматеріали, фотографічні);
- хімічним складом матеріалів (органічне це з'єднання або неорганічне, який тип фарби присутній на картині).

Потрібно також враховувати, що можуть виникати конфліктні умови збереження для різних типів матеріалів колекції. Деякі матеріали не допускається зберігати разом. Наприклад, не можна зберігати паперові твори і фотоматеріали разом, так як папір виділяє гази, які надають руйнівний вплив на фотоматеріали.

В архівах, лабораторіях холодного збері-

гання повинна підтримуватися температура повітря 10-14 °С, відносна вологість повітря 30-50 %. У приміщеннях зберігання експонатів з металу, для виключення корозії, відносна вологість повітря не повинна перевищувати 30 %.

Швидкість повітря (рухливість) в музейних приміщеннях повинна знаходитися в межах 0,1-0,3 м/с, швидкість обдування відкрито розташованих експонатів (картин і інших чутливих до ерозії поверхонь) потоком припливних струменів не повинна перевищувати 0,2 м/с.

Витрати повітря, особливості повітрообміну. Витрата припливного повітря в приміщеннях музею при наявності колекцій слід визначати розрахунком відповідно до прийнятої схеми організації повітрообміну і типом розподільника повітря. Слід враховувати теплопоступлення і вологонадходження від людей (відвідувачів та музейних працівників), теплопоступлення від сонячної радіації, в тому числі розсіяної сонячної радіації через ліхтарі природного освітлення, теплопоступлення від штучного освітлення, в тому числі і підсвічування.

В експозиційних залах слід приймати площу підлоги, що припадає на одну людину: максимальне значення - 7,4 м², середнє значення - 5,6 м², мінімальне значення - 3,7 м². Загальний витрата припливного повітря в приміщенні експозиції повинен бути достатній, щоб забезпечити відсутність застійних зон навколо експонатів, в той же час не допускається направляти приточну струмінь на них. Кратність повітрообміну повинна бути не менше 6-8.

У приміщеннях сховищ слід приймати повітрообмін не менше двох-триразового з метою забезпечення гарної циркуляції і перемішування повітря.

У лабораторіях реставрації схема організації повітрообміну повинна вибиратися з урахуванням щільності речовин, які використовуються при реставрації. Вимогам до інтер'єрів музейних приміщень найбільш відповідають щільні повітророзподільники.

Для наочності розглянемо експозиційні приміщення у порівнянні з приміщеннями фондів (іншою великою частиною музейного комплексу), що відрізняються від них призначенням і функціями. Саме ці відмінності і визначають особливості формування мікроклімату в експозиції та фондосховищі.

Найбільший вплив на умови зберігання в експозиційних приміщеннях надають їх архітектурні особливості або особливості проектування. Ці особливості визначаються необхідністю забезпечення доступу і перебування відві-

дувачів у залах. Призначення фондів не передбачає присутності великих переміщаються мас людей. Тому мікроклімат в них у продовж доби можна вважати менш мінливим.

Фондові приміщення можуть бути навіть більше за кубатурою, але вони зазвичай заповнені численними стелажми, шафами, спеціальним обладнанням. Все це перешкоджає необхідній циркуляції повітря, сприяє утворенню застійних зон, чого, як правило, не спостерігається в експозиційних залах, де наявність безлічі відкритих під час відвідування дверей і віконних прорізів призводить до того, що швидкість повітряного потоку може перевищувати прийняту норму 0,1 м/с. Нівелює невеликі коливання температури і вологості вільний струм повітря між залами.

Принципи витісняючої вентиляції. Повітряні потоки в вентилязованому приміщенні можна розділити на два типи: потоки при перемішувальній вентиляції і потоки при витісняючій вентиляції. При використанні перемішувальної вентиляції повітря подається таким чином, що повністю змішується з повітрям в приміщенні і концентрація забруднюючих речовин однакова по всьому об'єму. У витісняючій вентиляції під дією підйомної сили проводиться розшарування повітря по висоті приміщення, завдяки чому якість повітря в зоні обслуговування вище, ніж в системах перемішувальної вентиляції.

Протягом багатьох років витісняюча вентиляція використовувалася в виробничих будівлях з великими тепловими навантаженнями. Починаючи з середини 80-х років, її стали широко застосовувати і в невиробничих будівлях, особливо в Скандинавських країнах. В останні роки інтерес до витісняючої вентиляції підвищився в усьому світі, тому що вона дає можливість підвищити як температурну ефективність, так і ефективність вентиляції. В основі даного типу вентиляції лежить різниця щільності повітря, завдяки чому повітря в приміщенні розділяється на дві зони: верхню забруднену і нижню чисту зони (рис. 1.). Це забезпечується припливом з низькою швидкістю холодного повітря в нижню зону і видаленням повітря з верхньої зони. Вільна конвекція від джерел тепла забезпечує вертикальне переміщення повітря в приміщенні. Якщо джерела конвективного тепла в приміщенні одночасно є джерелами забруднення, конвективні потоки переміщують тепле забруднене повітря у верхню зону. Співвідношення витрати повітря в конвективних потоках і витрати припливного повітря визначає висоту межі двох зон. Сума витрат повітря в висхідних

(нагрітих) конвективних потоках на обраному рівні мінус сума витрат повітря в низхідних (холодних) конвективних потоках на тому ж рівні дорівнює витраті припливного повітря в приміщенні. Таким чином, збільшення витрати припливного повітря при незмінній витраті в конвективних потоках викликає зміщення кордону між зонами вгору, а зниження – вниз [4].

Безліч явищ в вентиляованих приміщеннях, таких як вертикальний температурний градієнт, рівні швидкості в розшарованому потоці, рівні розшарування і ефективність вентиляції можуть бути описані числом Архімеда. Це число виражає відношення між підйомною силою і силою інерції. Зазвичай воно визначається як:

$$A_r = \Delta \rho g L / (\rho \vartheta^2), \quad (1)$$

де $\Delta \rho$ - різниця щільності холодного і теплового повітря, кг/м^3 ; g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; L - характерний розмір, м ; ρ - щільність повітря, кг/м^3 ; V - швидкість повітря, м/с .

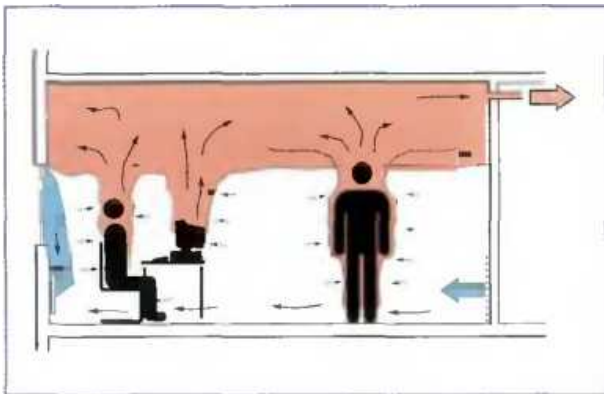


Рис. 1. Схема повітряних потоків в приміщенні з витісняючою вентиляцією.

Число Архімеда може бути виражено багатьма способами: визначенням різниці щільності через різницю температур і ін. Але основне положення залишається незмінним; більше значення числа Архімеда означає домінування підйомних сил; менше значення - домінування сил інерції (обумовлених швидкістю повітря).

При наявності в приміщенні температурної стратифікації наприклад в приміщенні з витісняючою вентиляцією, стратифікація впливає на характеристики конвективних потоків, рушійною силою яких є різниця щільності (температур) потоку і навколишнього повітря. При зменшенні цієї різниці потоки розпадаються і поширюються по приміщенню в горизонтальній площині (рис. 2).

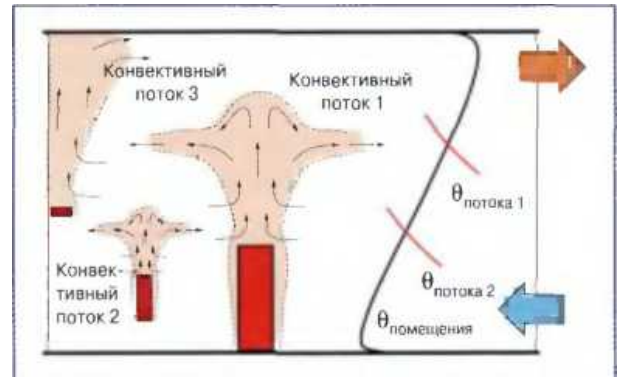


Рис. 2. Схема поширення повітряних потоків в приміщенні з витісняючою вентиляцією.

Натурні дослідження. У рамках виконання поставленого завдання було проведено серію натурних досліджень параметрів повітряного середовища у приміщенні музею

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

У кожній зоні було виділено точки замірів (рис. 3). Параметри визначалися на трьох рівнях за висотою (1,5 м, 2,0 м та 2,5 м). На момент дослідження повітря в приміщенні температура відносна вологість та барометричний тиск зовнішнього повітря складав $t_{ext}=12,7 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_{ext} = 61\%$ $B=760 \text{ мм}$

У процесі натурних досліджень вимірялися

- температура повітря, $^\circ\text{C}$;
- відносна вологість, %;
- швидкість руху, м/с ;

Середня температура повітря в приміщенні знаходилася в межах $t_{wz} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, а відносна вологість становила $\varphi_{wz} = 55\text{-}60\%$ в експозиційних залах.

Розробка проекту системи формування мікроклімату музеїв, які розміщені в будівлях пам'яток історії та культури, потребує індивідуального підходу та виконання комплексу натурних, експериментальних і теоретичних досліджень процесів формування температурно-вологісного режимів у основних приміщеннях музею. Параметри повітряного стану в холодний період року підтримуються системою опалення за рахунок конвекторів, встановлених у підлозі. Повітрообмін здійснюється за рахунок неорганізованої повітропроникності інфільтрації та періодичного провітрювання. Такий спосіб призводить до утворення застійних зон з низькою циркуляцією повітря і погіршення стану мікроклімату в музейному приміщенні

При розробці реконструкції систем вентиляції та кондиціонування доцільно використовувати існуючі канали в стінах першого поверху,

розмістити припливно-витяжну установку з рекуперацією теплоти зовні приміщення у внутрішньому дворі музею, що передбачає очищення, зволоження, бактеріологічну обробку в залах (50, 51, 52, 53).

Для дослідження повітрообміну та перетікання повітря між залами створено тривимірну модель Приміщень №40, 47 та 48 (рис. 4) Тривимірна модель створена з наданих планів співробітниками музею та контрольного особистого вимірювання геометричних розмірів усіх огорожених контрукцій та деталей інтер'єра.

Моделювання руху повітря в приміщеннях

музею проводилось у двох варіантах розподілу повітря в залежності від прийнятих конструктивних рішень подачі та видалення повітря в/з приміщення:

Варіант 1: подача та видалення повітря за допомогою існуючих решіток в стіні та додаткових повітропроводів у приміщенні з мінімальним втручанням до архітектурно-планувальних рішень будівлі (рис. 5).

Варіант 2: подача та видалення повітря за допомогою тільки існуючих каналів та створенням надлишкового тиску для перетікання повітря з одного приміщення в інше (рис. 6).

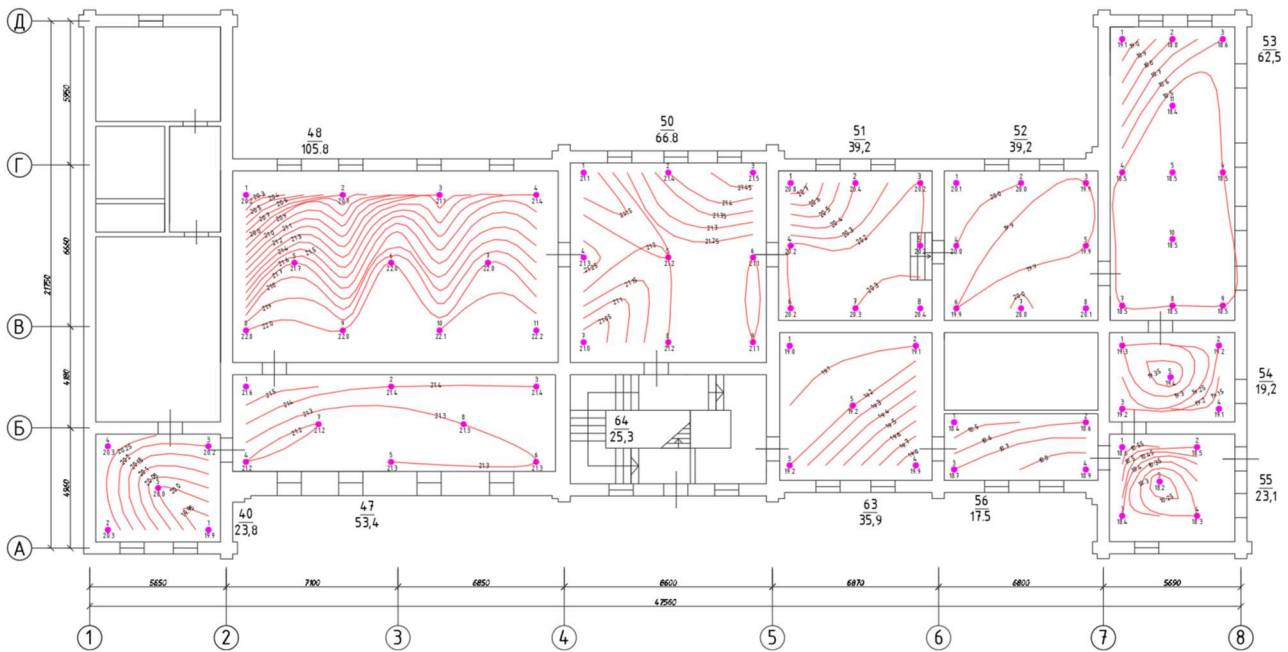


Рис. 3 Ізотерми в плані музею на відмітці 2 м від підлоги

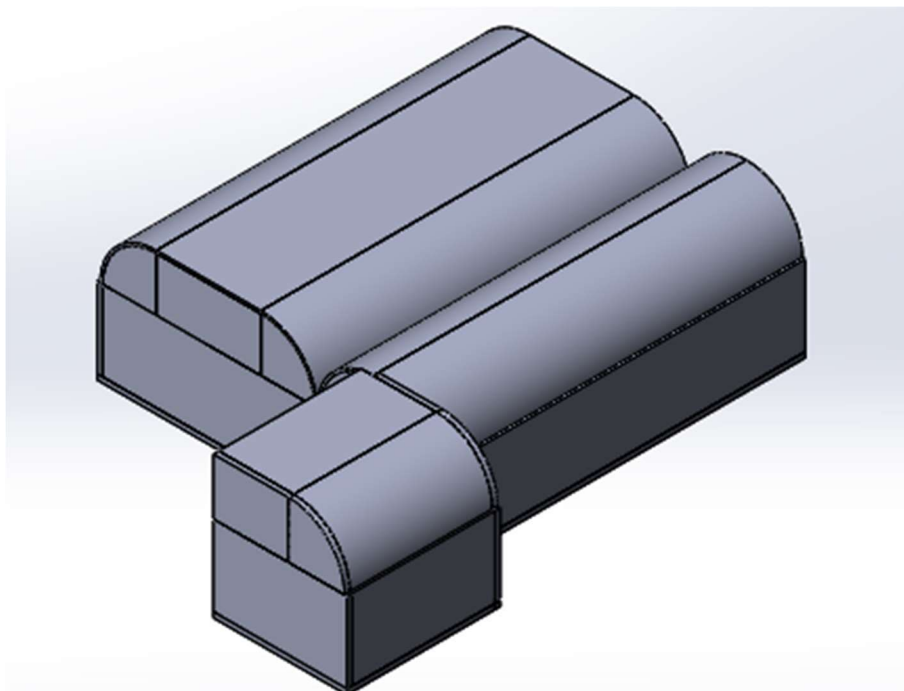


Рис. 4 Модель для дослідження повітрообміну та перетікання повітря між залами №40,47 та 48.

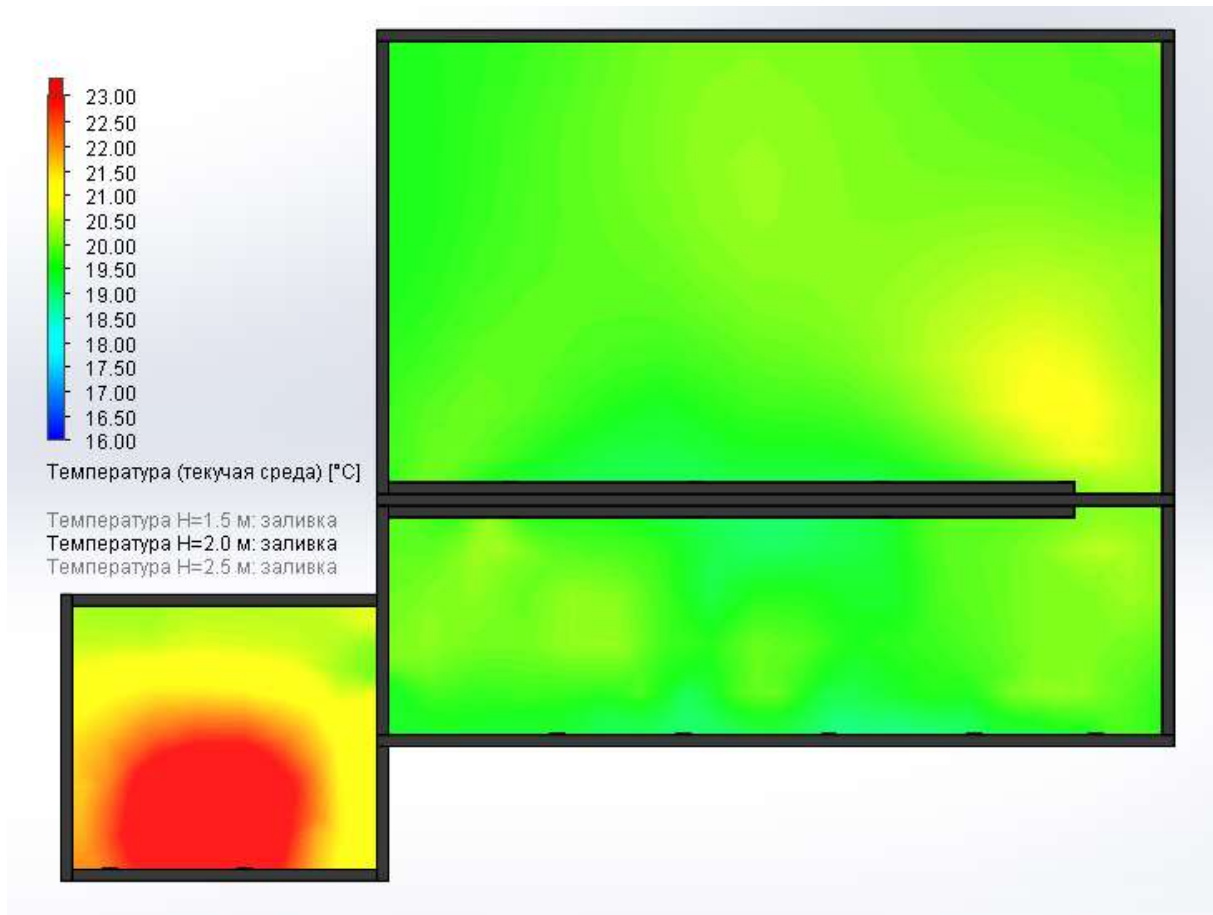


Рис. 5 Розподіл температури повітря в приміщеннях №40, 47 та 48 за варіантом 1 на висоті 2,0 м від підлоги.

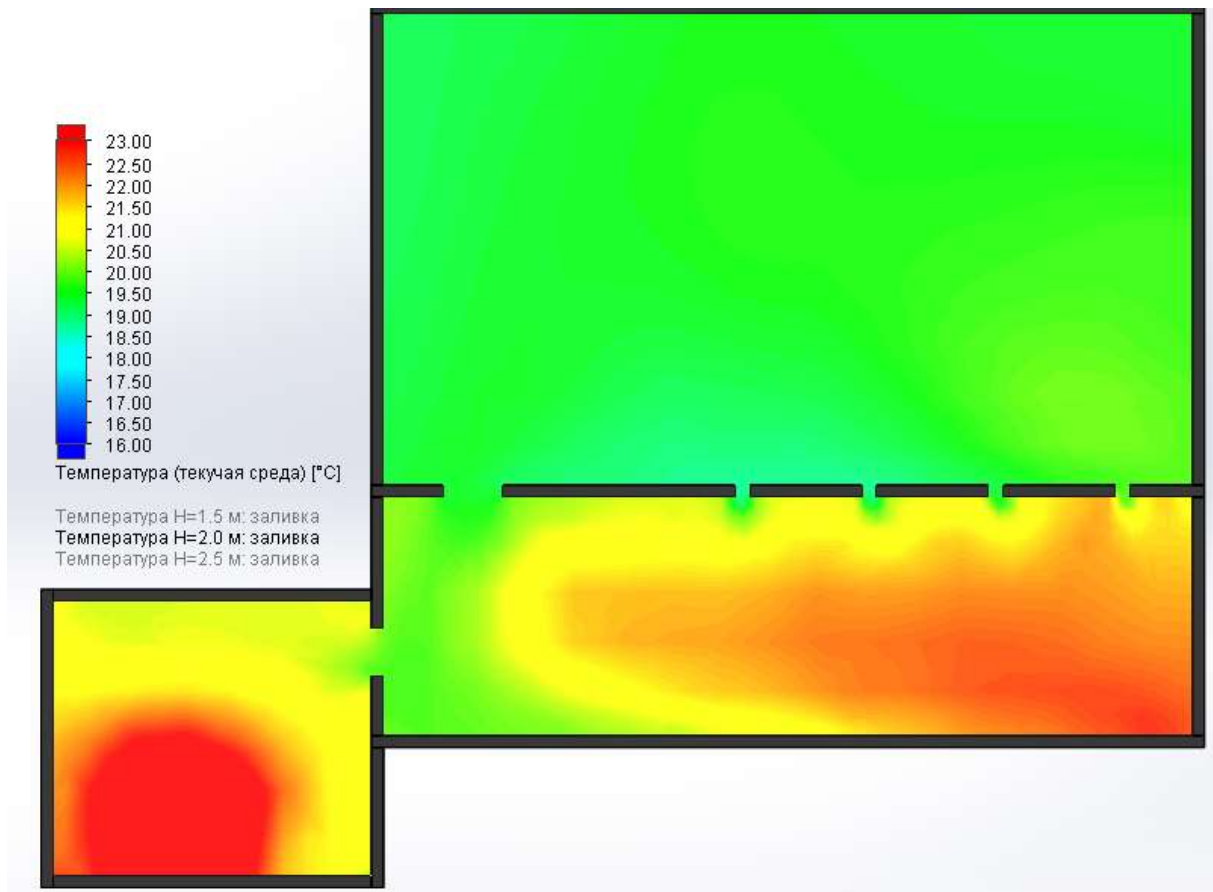


Рис. 6 Розподіл температури повітря в приміщеннях №40, 47 та 48 за варіантом 2 на висоті 2,0 м від підлоги.

Висновки. На основі отриманих даних математичного моделювання розподілу повітря в приміщенні за двома варіантами та на основі натурних досліджень можемо зробити наступні висновки:

1. Варіант 1 – кращий варіант розподілу повітряних потоків у приміщенні, ніж Варіант 2, адже за допомогою моделювання можна наочно побачити різницю в якості повітря: температури та відносної вологості. При виборі даного варіанту ми отримуємо рівномірний розподіл температури та відносної вологості в приміщенні, що відповідає нормам та стандартам для збереження музейних експонатів протягом більшого часу та тимчасовому знаходженню людей (відвідувачів музею) у великій кількості: проведення екскурсій у музеї та проведення презентацій нових колекцій та семінарів у приміщенні №48.

2. Моделювання за Варіантом 2 показує нам більш хаотичні рухи повітря при нестационарному знаходженні людей в приміщенні та

менш рівномірний розподіл температури та відносної вологості. Однак, даний варіант вимагає найменших утручань у архітектурно-планувальні рішення існуючих приміщень та будівлі в цілому. А збереження інтер'єру та екстер'єру приміщення – першочергова ціль при реконструкції, вдосконаленні та покращенні внутрішніх кліматичних умов для знаходження людей для даного типу приміщень. Для реалізації покращення умов мікроклімату в приміщеннях за Варіантом 2 буде достатньо створити декілька отворів для перетікання повітря з одного приміщення в інше та перенести висоту витяжних решіток для більш рівномірного розподілу повітря.

3. Варіант, обраний для реалізації даного проекту реконструкції є Варіант 2, що відповідає усім нормам та стандартам мікроклімату для збереження колекцій та при цьому вимагає найменшого втручання до інтер'єру приміщення та перепланувань розміщення музейних експонатів

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, osvittleniia 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 povitrozpodilu v muzeiakh riznoho pryznachennia pry zminnykh rezhymakh teplovolohonadkhodzhen” Ventyliatsiia, osvittleniia 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, osvittleniia 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, osvittleniia 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, osvittleniia 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 (rehulatoriv)” Ventyliatsiia, osvittleniia 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, osvittleniia 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, osvittleniia ta teplohozopostachannia, Iss. 23, 2017, pp. 6-24, <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2017.23.6-24>

UDC 697.95

Design of displacement ventilation system in museum premises

V. Vakhula¹

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

Abstract. In museum premises located in buildings of architectural monuments, an important issue is the provision of regulatory parameters of the air environment and the method of organizing air exchange in exhibition and exposition halls. In such buildings, it is impossible to conduct air ducts, therefore existing ducts from fireplaces and natural exhaust ducts are used. The National Center of Folk Culture "Ivan Honchar Museum" was considered in the article. After analyzing the architectural drawings of the museum, a displacement ventilation system was chosen to organize air exchange. In displacement ventilation, under the action of lifting force, the air is stratified along the height of the room, due to which the air quality in the service area is higher than in mixing ventilation systems. to ensure the necessary microclimate, two options for the organization of air exchange are proposed. As part of the task, a series of field studies of the parameters of the air environment in the museum premises were conducted with the following parameters: the average air temperature in the premises was within $t_{wz} = 20$ °C, the relative humidity was $\varphi_{wz} = 55-60\%$ in the exhibition halls. The development of the project of the microclimate formation system of museums, which are located in buildings of historical and cultural monuments, requires an individual approach and the implementation of a complex of natural, experimental and theoretical studies of the processes of forming temperature and humidity regimes in the main premises of the museum. A three-dimensional model was created for the study of air exchange and air flow between halls, and air movement was simulated in two variants for rooms No. 40, 47 and 48. Taking into account the field studies and mathematical modeling of air exchange organization options, a project for the modernization of ventilation and air conditioning systems was proposed.

Keywords: Natural research, Preservation of monuments, museum, microclimate, displacement ventilation.

Надійшла до редакції / Received 22.12.2022