

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук професора Дешка Валерія Івановича на дисертаційну роботу Довгалюка Володимира Борисовича «Розвиток наукових основ створення температурно-вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.23.03 «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання»

Дисертаційна робота Довгалюка В.Б. вміщує результати досліджень одночасно в трьох напрямках: тепломасообміну, аеродинаміки, теорії моделювання об'єктів, процесів та явищ.

На основі виконаних теоретичних, експериментальних і натурних досліджень систем формування внутрішнього мікроклімату музейних приміщень та процесів теплообміну і масопереносу в капілярно-пористих матеріалах із навколишнього середовища вирішена важлива науково-прикладна проблема опису складних нелінійних фізико-хімічних перетворень, що виникають при реологічних процесах в дисперсних тілах та обґрунтовані принципи розвитку енергоефективних технологій повітророзподілення, при яких забезпечуються нормовані параметри в музейних приміщеннях.

Актуальність дисертаційної роботи. Збереження музейних експонатів є глобальною науково-практичною проблемою, рішення якої базується на створенні та підтримуванні основних мікрокліматичних параметрів: температури, вологості, рухомості повітря в приміщенні. Ці параметри в значній мірі визначають фізико-механічний і біологічний стан експонатів, структура яких при багатолітньому зберіганні суттєво змінюється. Виходячи з цього, оптимізація і регулювання температурно-вологісного режиму є одним з основних факторів музейної кліматології.

При відхиленні від нормованих параметрів повітряного середовища музейних приміщень створюється надлишкове напруження, змінюються лінійні і об'ємні розміри з подальшим руйнуванням експоната. Такому руйнуванню, насамперед, підлягають предмети зі шкіри, тканини, паперу, дерева, масляний та темперний живопис, що складається із гігроскопічних багаточастинкових речовин з різними структурами. Підвищення швидкості повітряних потоків біля поверхні експонатів порушує структуру прилеглих шарів, інтенсифікує тепломасообмін з навколишнім середовищем. При незначній рухомості повітря, що спостерігається в складних архітектурно-будівельних об'єктах, наявності анфілади виставкових залів, великої кількості перегородок, в приміщенні створюються неventильовані зони із застійним повітрям, що при підвищеній температурі й відносній вологості прискорює біологічні процеси та призводить до утворення плісняви і грибів.

Отже, розробка енергоефективних систем формування температурно-вологісних режимів повітряного середовища як в окремих зонах, так і в усьому музейному приміщенні, реалізація яких базується на комплексному врахуванні тепломасообмінних і деформаційних процесів в гігроскопічних експозиційних матеріалах, аеродинаміки повітряних потоків у приміщеннях і конструктивних елементах системи повітророзподілення, є актуальною науковою проблемою.

Основною метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування створення температурно-вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях, що побудовані на принципах теплообміну, масопереносу, закономірностях деформаційних процесів експонатів полімерної групи та вдосконаленні повітророзподілення у змінному

режимі тепловологонадходжень, забезпечуючи в зонах розміщення експозиції нормовані мікрокліматичні параметри.

В роботі для досягнення цієї мети вирішені наступні задачі:

- розроблено фізичні моделі механізму і кінетики поглинання вологи та виконати геометричний аналіз ізотерм сорбції-десорбції в полімерних дисперсних матеріалах експозицій;
- визначено залишкові деформації в експозиційних матеріалах при перемінних температурно-вологісних режимах для управління мікрокліматичними параметрами приміщень;
- розроблено критерії оцінки ефективності організації повітрообміну для обґрунтованого прийняття рішень створення систем забезпечення нормованих параметрів повітряного середовища в окремих зонах та у всьому музейному приміщенні;
- розроблено наукові основи створення енергоефективних апаратів тепловологісної обробки повітря та повітророзподільних пристроїв для музейних приміщень спеціального призначення;

Розглядаються основні напрямки подальшого розвитку досліджень, які спрямовані на застосування фрактального аналізу, з допомогою якого отримується більш достовірніша інформація основних параметрів процесів тепломасообміну та деформації ККПТ, що знаходяться в постійному контакті з оточуючим повітряним середовищем. Запропонована методика фрактального аналізу часових рядів для оцінки параметрів $(t, \varphi, v, \varepsilon)$, сформульовані критерії визначення середньої довжини періодичного і неперіодичного циклів. Наведені практичні приклади конкретних задач збереження музейних експонатів, що дають підстави створення необхідних мікрокліматичних режимів при експлуатації СКП на новому рівні.

Коротка характеристика змісту роботи

Дисертація має структуру завершеної науково-дослідної роботи. Текст дисертації складається з анотації, вступу, шести розділів, загальні висновки, списку використаних літературних джерел з 295 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи (разом з додатками) складає 384 сторінки машинописного тексту. Робота містить 127 рисунків та 20 таблиць.

У вступі розкрито зміст і стан наукової проблеми, обґрунтовано її теоретичну та прикладну значимість, сформульовано мету та задачі дослідження, його наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів. Наведено відомості про особистий внесок автора, апробацію, опубліковані результати, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі сформульована значимість проблеми, що розкриває принципи і сучасні підходи з науковим поглибленням подальшого розвитку створення енергоефективних систем вентиляції та кондиціонування повітря для забезпечення необхідних режимів температури, відносної вологості та швидкості повітря у музейних приміщеннях. Комплексний аналіз формування мікроклімату показав, що до традиційних поглядів забезпечення температурно-вологісних режимів в різних зонах приміщення музеїв необхідно додатково врахувати: склад і значимість колекції; архітектурно-планувальні рішення внутрішнього простору, будівельно-конструктивні форми та їх теплофізичні властивості, кліматичні умови розташування будівлі, характерну динаміку відвідування.

Виконано термодинамічний аналіз структурних змін та умов зв'язку в капілярно-пористих тілах при тепломасопереносних процесах, що базуються, за теорією П. Ребіндера, на «енергії зв'язку» вологовмісту в капілярних структурах. Цей показник свідчить про дифузійний перенос, куди входить макромолекулярна і капілярна дифузія. За наявності

неізотермічних умов при тепломасопереносі виникає усадочне напруження спрямоване на деформацію полімерних матеріалів. Систематизовано і обґрунтовано вплив взаємозв'язку термодинамічних, фізико-механічних, тепломасообмінних і деформаційних процесів в експонатах полімерної групи з навколишнім середовищем.

За результатами аналізу стану проблеми що розглядається, сформульовано основні завдання і напрямки досліджень, а також визначено шляхи вирішення поставлених завдань.

У другому розділі наведені теоретичні дослідження тепломасообмінних і деформаційних процесів у полімерних дисперсних музейних експонатах при взаємодії їх з оточуючим повітряним середовищем. Зазначені питання важливі для оптимізації вологісно-теплових процесів у колоїдних капілярно-пористих тілах (ККПТ) в умовах їх навантаження при часовій зміні температурно-вологісних режимів у приміщенні.

Представлено результати геометричного аналізу ізотерм сорбції-десорбції та деформації колоїдних капілярно-пористих матеріалів експонатів. Отримані залежності для визначення вологовмісту та деформації матеріалів, що в процесах сорбції-десорбції залишились у матеріалі після закінчення одного циклу.

Отримана узагальнена система диференціальних рівнянь тепломасообмінних і деформаційних процесів в матеріалах полімерної групи при умовах, які найбільш наближені нестационарному тепловологісному режимові музейного приміщення.

Отримані теоретичні залежності реологічних характеристик колоїдних капілярно-пористих матеріалів при годинній зміні параметрів повітряного середовища музейного приміщення рекомендується використовувати при розробці інтелектуальних систем управління штучним мікрокліматом.

Порівняння експериментальних даних по кінетиці сорбції та залежності деформації від вологовмісту з отриманими теоретичними залежностями для тканин різного волокнистого складу показує задовільне співпадіння.

У третьому розділі розроблено критерії ефективності забезпечення мікрокліматичних параметрів у музейних приміщеннях, опрацьовані питання систем керування температурно-вологісним режимом в них та контролю вологопереносу в матеріалах експонатів методом поглинання енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності.

Запропоновані критерії ефективності забезпечення параметрів повітряного середовища в залах музеїв та в зонах розміщення дозволяють оцінити стан повітряного середовища та ефективність роботи систем формування мікроклімату.

Отримані критерії ефективності організації повітрообміну, з урахуванням інших факторів, можуть бути застосовані, насамперед, в інтелектуальних системах управління мікрокліматом, що особливо актуально для музеїв.

Оцінити ефективність функціонування таких систем керування СКП запропоновано за сукупністю параметрів, що визначають комфорт повітряного середовища для музейних експонатів, відвідувачів та будівлі музею. Для розрахунку комфортних умов в музеях запропоновано застосувати узагальнений індекс дискомфорту $D_{узг}$, який враховує три локальні складові: параметри повітря в зоні музейного експонату – D_1^* ; комфорту відвідувачів – D_n ; приміщення музею – D_n^* .

Визначено метод неруйнівного контролю оперативного вимірювання вологопереносу в пористих матеріалах, який засновано на принципі поглинання енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності. Розроблено критерії оцінки енергоефективності зональної та загальнообмінної системи формування мікроклімату в експозиційних залах.

У четвертому розділі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень енергоефективних технологій організації повітророзподілу з інтенсивно

затухаючими струминами. Узагальнено питання регулювання систем повітророзподілу з урахуванням енергії припливних струмин та зміни режимів теплонадходжень при формуванні параметрів повітряного середовища в музейних приміщеннях. Вивчено поточкорозподілення при вентиляції анфілади залів музеїв різного призначення. Проведено комплекс теоретичних та експериментальних досліджень, що дозволило науково обґрунтувати енергоефективні схеми організації повітрообміну. Забезпечення необхідних мікрокліматичних параметрів в розрахункових зонах виставкових залів визначається умовами формування та розвитку припливних і теплових струмин.

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження повітророзподільних пристроїв, які забезпечують високу інтенсивність затухання струмини, нормовані значення температури, відносної вологості та швидкості в зонах розміщення музейних експонатів при мінімальній витраті припливного повітря. Таким вимогам відповідають повітророзподільники з принципово новими кінематичними і тепловими характеристиками, що створюють спрямовану на криволінійну поверхню струмину, що регулюється в широкому діапазоні в залежності від кривизни поверхні, кількості випусків та геометричних розмірів. Для отримання високих аеродинамічних характеристик розроблена та досліджена конструкція малошвидкісного панельно-секційного повітророзподільника.

Узагальнено і поглиблено теоретичні дослідження аеродинамічних процесів взаємодії малошвидкісного потоку і плоскої неізотермічної струмини, спрямованої під кутом 45° до основного потоку, що дає можливість регулювати параметри сумарної струмини з визначеними динамічними і тепловими характеристиками.

Отримані аналітичні залежності аеродинамічних, теплових і геометричних параметрів повітророзподільних пристроїв, які визначають розвиток неізотермічних струмин при змішувальній вентиляції та змінних витратах повітря. Розроблено конструкцію повітророзподільника зі змінним типом струминних течій, які дозволяють варіювати параметри припливної струмини в залежності від тепловологісного режиму музейного приміщення та нормованих параметрів повітряного середовища у визначених зонах.

У п'ятому розділі наведено результати досліджень контактних тепломасообмінних апаратів з підвищеними енергоефективними показниками для музейних приміщень спеціального призначення (реставраційні, науково-дослідні лабораторії, консервації, дезінфекції, акліматизації та ін.), що характерні незначними об'ємами.

На базі виконаних досліджень обґрунтована конструкція контактного апарату з тепловологісною обробкою повітря, що забезпечить необхідні параметри кліматичного середовища в спеціальних музейних приміщеннях та при транспортуванні експонатів.

Розроблена фізична і математична модель контактного апарату, завдяки якій отримані аналітичні залежності тепломасообміну і гідродинаміки в водоповітряному шарі з блоком термоелектричних модулів. На основі моделювання виявлені зони найбільшого аеродинамічного опору, найменші коефіцієнти тепловіддачі та інші конструктивні недоліки, що дозволило вдосконалити конструкцію апарату.

Доведено, що при зменшенні висоти ребра теплообмінника від 60 мм до 35 мм, коефіцієнт тепловіддачі збільшується з 1,9 до 3,5 кВт/м²·°С, при збільшенні висоти пазів від 15 мм до 30 мм, коефіцієнт тепловіддачі змінюється від 1,5 до 3 кВт/м²·°С, при збільшенні ширини пазів від 5 мм до 13 мм, коефіцієнт тепловіддачі збільшується від 1,6 до 3,2 кВт/м²·°С.

Отримані узагальнені співвідношення в області стійкого барботажного режиму течії, які дозволяють розрахувати величини середнього коефіцієнта конвективної тепловіддачі і найменшого аеродинамічного опору. Проведені комплексні дослідження дозволили

отримати термодинамічні характеристики удосконаленої конструкції, що перевищують показники серійних апаратів на 20%.

У шостому розділі запропоновані шляхи подальшого розвитку системи керування і контролю параметрів музейного мікроклімату із застосуванням математичних моделей фрактального типу.

Визначена фрактальна розмірність поверхні ККПТ, що дозволяє в процесах сорбції-десорбції описувати наявні гістерезисні явища в тілах з пористою структурою при змінному температурно-вологісному режимі музейних приміщень. Запропоновані рішення можуть використовуватись для уточнення і вдосконалення існуючих моделей опису процесів сорбції-десорбції при тепломасообміні ККПТ з оточуючим повітряним середовищем.

Виконано фрактальне оцінювання відповідної статистичної інформації щодо вологовмісту, температури та деформації колоїдних капілярно-пористих музейних експонатів. На основі методики передпрогнозного фрактального аналізу часових рядів (яка базується на R/S аналізі) визначено параметри неперіодичних часових рядів. Отримано критерій визначення середньої довжини періодичного і неперіодичного циклів. Запропонований підхід дозволяє визначити оптимальний температурно-вологісний режим для музейних колекцій з урахуванням умов, в яких знаходились експонати протягом періоду зберігання.

Для оперативного керування системами кондиціонування повітря запропоновано використовувати визначальний параметр K , складовими якого є температура, відносна вологість та швидкість руху повітря. При наближенні параметра K до однієї з меж області самоподібності фіксується імовірність порушення нормованого температурно-вологісного режиму і система управління мікрокліматом змінює параметри припливного повітря та/або кількість припливного повітря, а при необхідності і тип струмини системи повітророзподілення.

У загальних висновках наводиться перелік основних наукових і практичних результатів одержаних у дисертаційній роботі.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній

- узагальнена фізико-математична модель, яка описується системою диференціальних рівнянь для аналізу взаємного впливу тепломасообмінних і деформаційних процесів в матеріалах полімерної групи, які відбуваються при змінних параметрах оточуючого повітря, що дозволяє максимально точно описати анізотропні, пружні і пружно-в'язкі процеси в дисперсних матеріалах;
- отримані аналітичні залежності, що визначають вологовміст та деформацію матеріалу методом геометричного аналізу ізотерм сорбції $W(\varphi)$ та деформації $\varepsilon(\varphi)$ колоїдних капілярно-пористих матеріалів за один повний цикл сорбції-десорбції;
- досліджено залежності зміни залишкових деформацій в колоїдних капілярно-пористих тілах (ККПТ) у часі, які враховують необхідний температурно-вологісний режим музейних приміщень;
- запропоновано алгоритм регулювання температурно-вологісного режиму, що базується на узагальненому індексі дискомфорту, серед якого пріоритетним є локальний показник дискомфорту музейних експонатів;
- визначено аеродинамічні і теплові параметри неізотермічної струмини, які впливають на її розвиток при змішувальній вентиляції та змінних витратах повітря, що забезпечують необхідну циркуляцію повітряних потоків незалежно від глибини регулювання та нормативних кліматичних параметрів у визначених зонах приміщення;

- запропоновано критерії оцінки ефективності організації повітрообміну, що дозволяють обґрунтовано прийняти рішення при застосуванні інженерних систем забезпечення нормованих параметрів повітряного середовища в окремих зонах та у всьому музейному приміщенні;
- кінетичні та теплові характеристики повітряного потоку для розрахунку повітророзподільників з настилянням повітря на криволінійну поверхню, що забезпечують ефективне затухання плоскої настільної струмини з покращеними показниками енергоефективності повітророзподілення;
- системи формування мікроклімату, що дозволило забезпечити оптимальні умови зберігання музейних експонатів;
- фізичну і математичну модель контактного апарату для застосування в спеціальних музейних приміщеннях з тепловологісною обробкою повітря, завдяки якій узагальнені аналітичні залежності тепломасообміну і гідродинаміки у водоповітряному шарі з блоком термоелектричних модулів.
- застосування фрактального аналізу часових рядів, за допомогою якого сформульовані критерії вибору оптимальних режимів зберігання музейних колекцій.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що

- створено новий підхід при розробці систем формування мікроклімату музеїв різного призначення, який базується на закономірностях тепломасообмінних і деформаційних процесів в матеріалі експонатів та розроблених критеріях ефективності забезпечення параметрів повітряного середовища;
- розроблено принципово нові конструкції припливних пристроїв системи повітророзподілу зі змінною витратою (охоронні документи України № 73805, № 91617, № 92261, № 96625, № 112405, № 120507);
- розроблено конструкцію енергоефективного контактного апарату для тепловологісної обробки повітря музейних приміщень спеціального призначення (охоронні документи України № 101290, № 106579);
- запропонована методика вибору режимів роботи повітророзподільника зі змінним типом струминних течій при кількісному регулюванні СКП;
- наукова робота має і соціальні наслідки, оскільки сприяє покращенню умов зберігання музейних колекцій, комфорту відвідувачів та збереженню будівлі.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, базуються на значеному обсязі експериментальних та теоретичних досліджень як у лабораторних, так і в натурних умовах. Вони є логічними і науково-обґрунтованими. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та висновків підтверджується коректністю постановок задач чисельного моделювання та розрахункових досліджень, використанням надійної сучасної вимірювальної техніки та експериментальних досліджень і коректних методів планування та математичної обробки експериментальних даних. Достовірність результатів чисельного моделювання підтверджується також їх задовільним узгодженням з даними експериментів, отриманих автором.

Повнота викладення наукових положень та висновків

Основні положення дисертаційної роботи та висновки викладені в 40 друкованих працях. Серед них – 1 монографія, 28 – у фахових виданнях України; 6 – у наукометричних базах даних. Отримано 1 патент України на корисну модель та 5 патентів на винахід.

Автореферат дисертації Довгалюка В.Б. достатньо повно відображає зміст і суть результатів досліджень, викладених в дисертації.

Оформлення дисертації

Дисертація є закінченою науковою роботою, що виконана у вигляді підготовленого рукопису. Дисертаційна робота написана українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу дисертації є логічним і відповідає вимогам до наукових праць, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень. Стиль викладення наукового матеріалу забезпечує його чітке та однозначне розуміння.

Зауваження та пропозиції щодо дисертації:

1. Застосування отриманих критеріїв ефективності організації повітрообміну в інтелектуальних системах управління мікрокліматом, з урахуванням відмінності параметрів і критерія самоподібності для різних зон музеїв, потребує додаткового аналізу. Наприклад, чутливість критерія до зміни окремих параметрів повітряного середовища.

2. У розділі 2.6 Висновки - показано, що петля гістерезису для всіх волокнистих матеріалів спостерігається у всьому діапазоні відносних вологостей навколишнього середовища. Це твердження потребує обґрунтування в тексті розділу 2.

3. Отримані теоретичні залежності реологічних характеристик колоїдних капілярно-пористих матеріалів при зміні параметрів повітряного середовища музейного приміщення потребують розробки інженерних методик для використання в інтелектуальних системах управління штучним мікрокліматом.

4. На стор.195 для відтворення фізичної картини теплообмінних процесів при заміні теплових джерел моделями висуваються умови рівності кількості теплоти і співвідношення променистої та конвективної складових теплообміну. На наш погляд ці умови слід доповнити рівністю площі поверхні джерела та моделі.

5. Отримані в розділі 4.2 співвідношення для оцінки впливу теплових струмин від окремих джерел на характеристики сумарного конвективного теплового потоку доцільно порівняти з результатами, наприклад числового моделювання.

6. Наскільки достатньою була кількість комірок розрахункової сітки моделі пінного апарату, рис. 5.5, стор. 303?

7. Потребує пояснень, чому питома ексергія повітря при зменшенні температури в контактному апараті зменшується, табл. 5.7, стор. 326.

8. Бажано зробити фрактальне оцінювання в межах аналізу ефективності використання запропонованих пристроїв приготування та розподілу повітря при дотриманні оптимальних температурно-вологісних режимів зберігання музейних колекцій.

9. Деякі зауваження стосовно редагування тексту: на стор.113 вказано на експеримент на повзучість з дисперсним матеріалом, але характеристик матеріалу не наведено; на стор.125 ентальпія позначена як I, більш вживане сучасне позначення H, використане в розділі 5; на стор. 279 число одиниць переносу повного тепла помилково позначено як NTU_{sh} ; на рис.5.17 потребує пояснень температура повітря на вході 10°C .

Загальний висновок

Дисертаційна робота Довгалюка Володимира Борисовича на тему «Розвиток наукових основ створення температурно-вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях» є повністю завершеною науковою роботою, в якій на підставі виконаних автором досліджень отримано нові наукові результати, що вирішують актуальну

задачу забезпечення нормативного температурно-вологісного режиму у музейних приміщеннях. Робота виконана на сучасному науковому рівні, а отримані результати мають наукову новизну та практичну цінність. Сформульовані в роботі наукові висновки характеризуються високим ступенем обґрунтованості.

З урахуванням обґрунтованості наукових положень та висновків, наведених у дисертації, наукової та практичної цінності отриманих автором наукових результатів, вважаю, що дисертаційна робота «Розвиток наукових основ створення температурно-вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях» відповідає паспорту спеціальності та вимогам пунктів 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів» до докторських дисертацій, а її автор Довгалоук Володимир Борисович заслуговує на присудження йому ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
д.т.н., професор

Валерій Дешко

Підпис д. т. н., проф. Дешка В. І. засвідчую

Вчений секретар Національного
технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Валерія Холявко