

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора **Редька Олександра Федоровича** на дисертаційну роботу кандидата технічних наук **Довгалока Володимира Борисовича** «Розвиток науково-технічних основ створення температурно – вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях» поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з планами роботи Київського національного університету будівництва та архітектури.

Дисертація присвячена розробці енергоефективних систем формування температурно – вологісних режимів повітряного середовища музейних приміщень, реалізація яких базується на комплексному врахуванні тепломасообмінних і деформаційних процесів в гігроскопічних експозиційних матеріалах, аеродинаміки повітряних потоків у приміщеннях і конструктивних елементах систем повітророзподілення.

Створення належного стану повітря у чистому приміщенні (до яких відносяться музейні приміщення) залежить від ефективності інженерних систем – систем кондиціонування повітря (далі – СКП). Обладнання СКП відноситься до енергоємного обладнання.

Діючи в Україні нормативні документи ГОСТ ИСО 14644-1:2004(недійсний з 2018 року); ДСанПіН 6.6.3-150: 2007; ДБН В 2.2-10-2001; ДСанПіН 5179-1991(недійсний з 2017 року) не відповідають вимогам до чистих приміщень. Вологість повітря рекомендується підтримувати у межах від 30 до 65%. При цьому пред'являються жорсткі вимоги до допустимих меж зміни вологості ($\pm 1-2\%$), чистоти (задані граничні розміри частинок), температури. Тому зниження енергоємності систем формування мікроклімату є актуальним.

Дисертаційна робота виконана в рамках наукового напрямку кафедри опалення та вентиляції КНУБА, пов'язана з планом держбюджетних та госпдоговірних науково-дослідних робіт [ДР 0119U102866].

2. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, представлених у дисертаційній роботі.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану науково-технічної проблеми і обґрунтуванні та розробленні основної ідеї і теми дисертації; формуванні мети і завдань дослідження; проведенні теоретичних та експериментальних робіт: обґрунтуванні і розробленні принципів методик їх

проведення; якісному та кількісному аналізу результатів та їх інтерпретація, оформленні статей, патентів та доповідей на наукових конференціях. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки і рекомендації отримані та розроблені автором у результаті вивчення сучасного стану питання підвищення енергоефективності систем створення та забезпечення температурно-вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях.

Теоретичні та експериментальні дослідження щодо розробки узагальненої фізико-математичної моделі процесів тепломасообміну та деформації матеріалу при змінних параметрах повітря; визначенні аеродинамічних та температурних параметрів та критеріїв оцінки ефективності організації повітрообміну; удосконаленні математичної моделі контактного апарату тепловологісної обробки повітря та системи загального формування мікроклімату з оптимальними умовами збереження музейних експонатів виконано на достатньо високому рівні.

Достовірність отриманих результатів зумовлена детальним розглядом досліджувальних процесів з використанням сучасних методів математичного моделювання, застосуванням сучасних методів вимірювальної техніки.

4. Ступінь новизни результатів, їх теоретичне та практичне значення.

В дисертаційній роботі набули подальшого розвитку чинники системного методологічного підходу створення сучасних систем формування мікроклімату в музейних приміщеннях та формулюванні критеріїв вибору оптимальних режимів зберігання музейних колекцій.

Вперше:

- розроблена узагальнена фізико – математична модель, яка описується універсальною системою диференційних рівнянь для аналізу взаємного впливу тепломасообмінних і деформаційних процесів в матеріалах полімерної групи при змінних параметрах оточуючого повітря;

- отримані 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;

- отримані аналітичні залежності зміни залишкових деформацій в колоїдних капілярно – пористих тілах у часі, які враховують фактичний необхідний температурно – вологісний режим музейних приміщень;

- запропоновано алгоритм, що базується на узагальненому індексі дискомфорту, серед якого пріоритетним для експозиційних приміщень, є локальний показник дискомфорту музейних експонатів;

- визначено аеродинамічні і теплові параметри, що впливають на розвиток неізотермічної струмини при змішувальній вентиляції та змінних витратах повітря, що забезпечують необхідну циркуляцію повітряних потоків, не залежно від глибини регулювання, та нормативних кліматичних параметрів у визначених зонах приміщення при кількісному регулюванні систем вентиляції і кондиціонуванні повітря;

- запропоновано критерії оцінки ефективності організації повітрообміну, що дозволяють обґрунтовано прийняти рішення по застосуванню інженерними системами забезпечення нормованих параметрів повітряного середовища в окремих зонах та у всьому музейному приміщенні.

Удосконалено:

- основні кінетичні та теплові закономірності повітророзподільників з настиланням повітря на криволінійну поверхню, які експериментально підтверджені теоретичні розрахунки ефективного затухання плоскої настільної струмини при визначених геометричних співвідношеннях вихідного каналу, що забезпечують максимальні показники енергоефективності;

- системи загального формування мікроклімату з оптимальними умовами збереження 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.

Отримали подальший розвиток:

- застосування фрактального аналізу часових рядів, з допомогою якого, сформульовані критерії для вибору оптимальних режимів зберігання музейних колекцій.

Наукові та практичні значення одержаних результатів полягають в тому, що отримані результати можуть використовуватися при розробці систем формування мікроклімату музеїв та проектів енергозбереження.

Результати дисертаційної роботи впроваджено при розробці проектів систем створення енергоефективного формування температурно-вологісного режиму в Національному художньому музеї України, національному науково-дослідному реставраційному центрі України, ТОВ «Стандартпарк Захід» (м. Львів), а також в навчальний процес КНУБА.

5. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.

Результати досліджень автора пройшли апробацію і дістали позитивну оцінку на міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях. Матеріали дисертації достатньо повно опубліковані у 40 друкованих роботах, зокрема 6 робіт у науково-метричних базах даних та 28 у фахових виданнях України.

Зазначені публікації та автореферат дисертації з достатньою повнотою розкривають основний зміст роботи.

6. Аналіз основного змісту роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, а також сформульовано мету та завдання роботи, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначені об'єкт, предмет та методи дослідження; відображена наукова новизна та практична цінність результатів дослідження; особистий внесок здобувача; наведені дані щодо апробації та впровадження результатів роботи, а також про наукові публікації та структуру дисертаційної роботи.

У першому розділі роботи проведено аналіз проблеми збереження музейних колекцій, проблеми формування мікроклімату. Приведені структурні особливості експонатів які виконані з органічних матеріалів шкіри.

Проаналізовано вплив вологості та температури повітря на експонати (натягування та провисання полотна, пліснява зі сторони основи, пересушення волокон). Тому в музейних приміщеннях необхідно забезпечувати нормативні параметри: температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря та амплітудні значення температури та вологості повітря протягом сезону і доби.

Допустимі границі температурних значень приймаються в діапазоні 17-24°C, сполучення температури та вологості максимальне короточасне значення є 17°C та 65%.

Допустимі значення амплітуди коливань температури та відносної вологості повітря складають $\pm 1^\circ\text{C}$ та $\pm 5\%$. При цьому діючі нормативні

документи не забезпечують створення систем мікроклімату музейних приміщень. В роботі розглянуто проблеми організації повітрообміну та повітророзподілу в музейних приміщеннях на основі натурних досліджень, проведених автором. Визначено, що розвиток припливних вентиляційних струмин слід розглядати як один з визначальних факторів формування параметрів повітря в музейних приміщеннях. В роботі аналізуються методи оцінки енергоефективності організації повітрообміну, норми країн ЄС та США.

Детально розглянута проблема тепломасопереносу в капілярно-пористих тілах, в полімерних тілах (експонатах). Наведено характерні особливості структури полімерних матеріалів, залежності механічних властивостей від температури та інтенсивності процесів тепломасообміну при адсорбції вологи з повітря. Наведено аналіз різних форм зв'язку вологи з поверхнею дисперсного тіла. Визначено термодинамічний критерій адсорбційного вологообміну яким є величина енергії зв'язку – термодинамічний потенціал вільна енергія.

Розглянуто методи розрахунку процесів адсорбції, процесів тепломасопереносу в дисперсних тілах. Виконано аналіз фізичної моделі переносу вологи та процесів фізико-хімічних перетворень в пористих тілах. Проведено аналіз процесів тепломасопереносу при гіротермічних процесах. Отримано рівняння для прогнозування нестационарних процесів тепломасообміну.

Виконано аналіз зміни механічних властивостей полімерних матеріалів в умовах тепломасопереносу при сорбції вологи з повітря, розглянуто методи розрахунку з урахуванням зміни зовнішніх параметрів.

В результаті аналізу проблем забезпечення параметрів мікроклімату в музейних приміщеннях сформульовано мета та наукові задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі наведено результати дослідження кінетики поглинання вологи в процесі адсорбції та абсорбції, та ізотерми сорбції та деформації текстильних матеріалів. Виконано аналіз процесів сорбції-десорбції та моделей розрахунку, кількості вологи. Визначено підхід до експериментальних досліджень процесів сорбції-десорбції парів води.

В роботі досліджувались фізико-математичні закономірності тепломасообмінних процесів та їх вплив на деформацію в дисперсних тілах.

Розглядаються різні математичні моделі визначення механічних характеристик дисперсних матеріалів, процеси напружень.

В результаті отримано систему рівнянь, рішення яких дозволяє отримати розтяг матеріалу при зміні температури та вологовмісту.

Використовуючи модель Зінера встановлено залежність залишкових деформацій від температури повітря.

У третьому розділі розроблено систему контролю параметрів повітряного середовища в музейних приміщеннях. Впровадження системи автоматичного регулювання параметрів мікроклімату на базі програмного забезпечення дозволяє регулювати зміни температури, вологості, швидкості руху повітря. Процес регулювання параметрів забезпечується запропонованим алгоритмом, що базується на індексі дискомфорту процесів тепломасообміну та деформації у матеріалі, тепловому навантаженні. Використовувалась система обробки інформації «нечітка логіка» на базі нечіткого логічного регулятора. Контроль за процесом вологопереносу в матеріалі експонату забезпечується методом поглинання енергії електромагнітних хвиль нетеплової інтенсивності. Метод забезпечує неруйнівний контроль та високу чутливість для змін вологості.

У четвертому розділі наведено результати розробки систем повітророзподілу.

Системи підтримання температурно-вологісного режиму в зонах розміщення музейних експонатів, знаходження відвідувачів передбачають використання струминних течій з високою інтенсивністю затухання. Приведено методику розрахунку системи повітророзподільника, визначено швидкості та витрати повітря, розглянуто різні схеми витікання плоскої струмини. Сформульована математична модель розрахунку ізотермічних та неізотермічних струмин.

В результаті теоретичних досліджень розроблено удосконалені повітророзподільники з інтенсивним затуханням вентиляційних струмин, які захищені патентами України. Наведено результати експериментальних досліджень розроблених конструкцій.

У п'ятому розділі наведено результати розробки та дослідження удосконалених апаратів термовологісної обробки повітря. Основну увагу присвячено удосконаленню контактних апаратів для приміщень спец - призначення. Розглянуто методи та моделі розрахунку процесів тепломасообміну в контактних апаратах. Визначено критерій удосконаленості для оцінки ефективності процесів теплообміну. Виконано аналіз різних методів та критеріальних залежностей. Розглянуто числові методи моделювання та

розрахунку процесів тепломасообміну в контактних апаратах на базі пакету ANSYS Element. Сформульована фізична та математична моделі та граничні умови. Виконано чисельні дослідження аеродинамічного опору та температури по висоті пінного апарату. Визначено параметри процесу охолодження з осушенням повітря. В результаті виконаних досліджень автором розроблена нова модель контактного апарату з термоелектричним блоком. Проведено дослідження апарату з застосуванням математичного методу планування експерименту в залежності від впливових параметрів: висоти ребра, висоти та ширини пазів. Отримано узагальнені критеріальні залежності для коефіцієнту тепловіддачі та аеродинамічного опору апарату.

На основі одержаних даних автором розроблена інженерна методика розрахунку контактного апарату та оцінки термодинамічної ефективності.

В шостому розділі наведено результати досліджень систем керування температурно-вологісним режимом музейних приміщень на основі фрактального аналізу. Виконано фрактальне оцінювання статичної інформації щодо вологовмісту, температури та деформації музейних експонатів. Для оперативного керування системи кондиціонування повітря запропоновано визначальний параметр в склад якого входить температура, відносна вологість та швидкість повітря.

7. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення.

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 259 найменувань та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 309 сторінках, містять 127 рисунків, 20 таблиць. 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. В дисертаційній роботі не використовуються матеріали кандидатської дисертації.

8. Зауваження щодо змісту дисертації.

Не зважаючи на встановлену вище оцінку дисертаційної роботи, вважаю за необхідне висловити ряд зауважень, які в визначеній мірі можуть стати предметом для дискусії:

1. Зауваженням по дисертаційній роботі є дуже широке коло розглянутих проблем – процеси тепломасообміну та деформації музейних експонатів, організація повітрообміну та системи повітророзподілу, методи та системи

контролю параметрів мікроклімату, прогнозування процесів старіння експонатів та інші – кожна із проблем є дисертаційною.

2. В роботі приведена значна кількість відомих методик розрахунку різних процесів та моделей (наприклад, програмний пакет ANSYS FLUENT), що затрудняє аналіз отриманих результатів.

3. Результати досліджень процесів в контактному апараті показують значні зміни температури та вологовмісту, тому забезпечення нормативних параметрів з відхиленням по температурі ± 5 °C та ± 5 % по вологовмісту не є достатньо обґрунтованим.

4. В залежності (5.67) для визначення коефіцієнту тепловіддачі потребується уточнення розмірності.

5. Навіщо досліджувались ребра висотою 60 мм (розділ 5), якщо їх вплив спостерігається при висоті до 30-35 мм?

6. В розділі 6 наведено результати прогнозування старіння експонатів на базі фрактального аналізу часових рядів, однак достовірність результатів прогнозування не порівнюється з результатами прогнозування за другими методиками та методами і є недостатньо обґрунтованим.

7. Недостатньо використано результати закордонних авторів при аналізі досліджень виконаних в дисертаційній роботі.

9. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона представляється до захисту.

Дисертаційна робота Довгалюка В. Б. на тему «Розвиток науково-технічних основ створення температурно – вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях» відповідає спеціальності 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

10. Загальний висновок.

В цілому, дисертаційна робота **Довгалюка Володимира Борисовича** «Розвиток науково-технічних основ створення температурно – вологісних режимів повітряного середовища в музейних приміщеннях» є повністю завершеною науковою роботою, в якій вирішується актуальна задача підвищення ефективності систем кондиціонування музейних приміщень на базі отриманих закономірностей реологічних процесів в дисперсних тілах та нових принципах розвитку енергоефективних технологій повітроділення.

Наведені зауваження можна розглядати як побажання для майбутніх подальших досліджень автора.

З урахуванням обґрунтованості наукових положень та висновків наведених у дисертації, наукової та практичної цінності отриманих автором наукових результатів, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 11, 12, 14 «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМ України (24.07.2013 №567) з останніми змінами, внесеними постановою КМ України (27.07.2016 №567), а її автор – Довгалоук Володимир Борисович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри теплогазопостачання,
вентиляції та використання теплових

вторинних енергоресурсів
Харківського національного університету
будівництва та архітектури



О. Ф. Редько

Підпис д.т.н., проф. Редько О.Ф. засвідчую

Учений секретар ХНУБА

Л. А.Бабівська/