

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію “Енергоефективне опалення приміщень комбінованим застосуванням електричних інфрачервоних випромінювачів та водяних опалювальних приладів”, представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії (кандидата технічних наук)
Очеретянко Микитою Дмитровичем за спеціальністю
192 – Будівництво та цивільна інженерія
(05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання)

Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню актуальної науково-технічної проблеми – розробці та впровадженню комбінованих радіаційно-конвективних опалювальних систем з застосуванням електричних інфрачервоних випромінювачів та водяних опалювальних приладів, що відповідають сучасним вимогам з енергоефективності, екологічності, а також забезпечують необхідні умови тепловологісного комфорту в опалюваних приміщеннях. *Мета* роботи полягає в обґрунтуванні енергоощадних технологій при формуванні комфортного тепловологісного режиму приміщень житлового та громадського призначення з застосуванням комбінованої системи опалення з електричними інфрачервоними випромінювачами та водяними опалювальними приладами. Для досягнення поставленої мети були поставлені та виконані відповідні завдання. *Об'єкт* дослідження – радіаційно-конвективні системи опалення приміщень житлового та громадського призначення. *Предмет* – вплив електричних інфрачервоних випромінювачів та водяних опалювальних приладів на комфортні умови тепловологісного режиму в приміщенні. В роботі застосовано сучасні *методи*, що включають: аналіз існуючих теоретичних, патентних та експериментальних досліджень систем опалення в будівлях різного призначення; енергетичний та ексергетичний порівняльний аналіз ефективності систем опалення з різними джерелами тепло та енергопостачання; аналітичний розв'язок диференціальних рівнянь, що описують тепломасообмінні процеси в системі “опалювальні прилади - вологе повітря - поверхні огорожень”; фізичне моделювання повітряних потоків в опалюваному приміщенні з використанням експериментальних даних про опромінення поверхонь стін; оцінку рівня тепловологісного комфорту з застосуванням статистичних індексів PMV (Predicted mean vote) та PPD (Predicted Percentage Dissatisfied); статистична обробка отриманих експериментальних даних з використанням прикладних комп'ютерних програм. До *наукової новизни* одержаних вперше результатів слід віднести наступне: за допомогою методу циклів термодинамічного аналізу комплексно оцінено вплив незворотностей енергетичних перетворень в реальному циклі теплонасосної установки на енергоефективне формування тепловологісних

параметрів опалювального приміщення; отримані експериментальні значення ізотерм на огорожувальних поверхнях, нагрітих тепловою конвекцією та випромінюванням, що використовувалися в якості граничних умов першого роду для більш достовірного чисельного моделювання формування тепловологісного режиму опалювального приміщення; було експериментально оцінено вплив зміни вологовмісту повітря на поглинальну здатність водяною парою теплоти випромінення при складному тепломасообміні в системі “опалювальні прилади - вологе повітря - поверхні огорожень” для енергоефективного формування тепловологісних параметрів опалювального приміщення.

Було удосконалено: методику фізико-математичного моделювання нестационарних тепловологісних процесів у системі “опалювальні прилади - вологе повітря - поверхні огорожень” для отримання максимально точних миттєвих значень теплофізичних параметрів в залежності від зміни температури навколишнього середовища і температур та теплової потужності традиційного опалювального приладу та електричного інфрачервоного випромінювача; методику експериментального дослідження тепломасообмінних процесів формування тепловологісного режиму опалювального приміщення для отримання максимально достовірної бази змінних значень на основі достатніх умов збіжності дискретних даних. Крім того, набули подальшого розвитку методологічні засади автоматизованого керування динамічним нестационарним тепловологісним режимом опалювальних приміщень різного призначення для досягнення максимально комфортних зональних умов з мінімальними затратами енергії. *Практична цінність* одержаних результатів полягає у наступному: теоретично доведено та експериментально підтверджено енергоефективність досягнення заданих тепловологісних параметрів опалювального приміщення з використанням теплонасосної установки в якості джерела теплоти чергового режиму опалення, а електричного інфрачервоного випромінювача в якості пікового догрівача; теоретично отримані алгебраїчні рівняння складного теплообміну, що враховують поглинальну здатність три атомних газів за допомогою яких можливо проводити аналітичне дослідження даних процесів та верифікувати результати експерименту; результати дослідження можуть бути використані для створення програмного забезпечення контролерів і виконавчих механізмів підсистем автоматизації керування динамічними процесами формування тепловологісного режиму опалювального приміщення; розроблено методику інженерного розрахунку підбору опалювальних приладів комбінованої радіаційно-конвективної системи опалення на основі принципу “чергове опалення – піковий догрівач”; розроблено рекомендації щодо удосконалення конструкції і експлуатаційних режимів електричного інфрачервоного випромінювача для підвищення його енергетичної ефективності при роботі в

якості пікового догрівача; виконано техніко-економічний аналіз оцінки ефективності від впровадження розробленої радіаційно-конвективної системи опалення на основі використання теплонасосної установки для забезпечення чергового опалення традиційними опалювальними приладами (конвектори) і електричного інфрачервоного випромінювача у якості пікового догрівача для досягнення заданих (комфортних) тепловологісних параметрів опалювального приміщення.

Особистий внесок здобувача включає постановку мети і задачі дослідження, проведення теоретичних і експериментальних досліджень, обґрунтування та розробку принципів методик їх проведення, а також розробку математичних моделей, отримання аналітичних, емпіричних та узагальнених залежностей; якісний і кількісний аналіз результатів та їх інтерпретацію. Теоретичні дослідження, що увійшли в дисертацію були виконані автором самостійно. Матеріали дисертаційного дослідження було апробовано на чотирьох міжнародних науково-технічних конференціях, що проводилися в Україні та Польщі. *Структура* та обсяг дисертації – вступ, п'ять розділів основної частини, висновки, список використаних джерел із 101 найменуванням та 6 додатків на 145 сторінках. Основний текст – 110 сторінок із 51 рисунком та 11 таблицями.

Вступ роботи за формою відповідає встановленим вимогам, а за змістом темі дисертаційного дослідження.

Перший розділ присвячено аналізу літературних джерел та патентних досліджень систем опалення, а також методам їх термодинамічного аналізу. Було досліджено сучасні опалювальні прилади з зазначенням їх впливу на тепловологісні параметри повітря, огорожень та шкіру людини (що особливо важливо для інфрачервоних нагрівачів). Були розглянуті основні методи оцінки тепловологісного комфорту при опаленні житлових, громадських і промислових приміщень. В кінці розділу сформульовано мету і завдання дослідження.

Другий розділ присвячено дослідженням систем опалення з позиції енергетичного та ексергетичного аналізу, а також побудові математичної моделі, що описує тепловологісні процеси в опалюваному приміщенні. Виконано енергетичний та ексергетичний аналіз водяних систем опалення з теплопостачанням від котла та теплонасосної установки, а також проаналізовані електричні та комбіновані системи опалення. Розроблено фізико-математичну модель тепловологісного режиму приміщення при радіаційно-конвективному опаленні, що враховує вміст триатомних газів в повітрі. Встановлено, що зниження комфортної температури в середині опалювального приміщення призведе до падіння ексергетичного ККД системи опалення в разі застосування електричних систем опалення або водяних систем опалення з теплопостачанням від котельні. У випадку системи

опалення з теплопостачанням від теплонасосної установки ефективність зростає. Максимальний енергетичний коефіцієнт перетворення теплоти та ексергетичний ККД комбінованої системи опалення досягається у відсутності електроопалення. Тому електричні інфрачервоні випромінювачі доцільно використовувати в режимі переривчастого опалення у зонах де необхідно забезпечити підвищені умови теплового комфорту. Отримано аналітичні залежності, що описують зміну температури поверхні електричного інфрачервоного випромінювача та поверхні опромінюваної стіни в часі.

У *третьому* розділі наведено експериментальні дослідження тепломасообмінних процесів комбінованої радіаційно-конвективної систем опалення. Описано експериментальну установку та розроблено методику експериментального дослідження. Отримано залежності в графічній та аналітичній формі для врахування впливу радіаційної температури на тепловологісні параметри приміщення за умов роботи електричного інфрачервоного випромінювача в нестационарному режимі та кількісно-якісну картину впливу опалювальних приладів на локальні тепловологісні параметри повітря, що була показана за допомогою застосуванням статистичних індексів PMV та PPD. За результатами проведеного експериментального дослідження було підтверджено робочу гіпотезу про ефективність запропонованої методики вдосконалення комбінованих систем опалення, що складаються з електричного інфрачервоного випромінювача та водяного опалювального приладу. На основі проведених досліджень запропоновані конструктивні зміни для електричного інфрачервоного випромінювача, для підвищення ефективності його роботи в складі комбінованої радіаційно-конвективної системи.

Четвертий розділ присвячено розробці методики інженерного розрахунку запропонованих комбінованих систем опалення, яка дозволяє підібрати оптимальну температуру в середині приміщення, та визначити теплову потужність, що необхідно забезпечити електричними інфрачервоними випромінювачами та водяними опалювальними приладами. Комбінована система, підібрана за даною інженерною методикою сприяє енергозбереженню за рахунок зниження температури повітря в середині приміщення, а отже і теплових втрат через зовнішні огорожувальні конструкції опалюваного приміщення.

У *п'ятому* розділі виконано техніко-економічний аналіз впровадження запропонованої системи опалення з підвищенням надійності її роботи за рахунок застосування опалювальних приладів, що отримують теплоту від різних джерел. За умов використання електроенергії, що була отримана з відновлюваних джерел та за нічним тарифом можливо досягти ще більшої економії та покращити екологічні показники роботи системи опалення. Техніко-економічний аналіз підтвердив ефективність впровадження

комбінованих систем опалення, до складу яких входять електричні інфрачервоні випромінювачі в порівнянні зі звичайними водяними системами опалення. Крім цього з техніко-економічного аналізу випливає наступне: найбільш дешеве теплопостачання будинку за умов використання лише централізованих мереж; найбільш ефективно комбінування водяної та електричної системи опалення при використанні централізованих мереж в якості джерела тепла для чергової системи опалення; комбінування системи опалення с джерелом теплопостачання від теплового насосу з електричними системами опалення дає вигоду в 5,6 % при розрахунку приведених затрат; комбінування системи опалення с джерелом теплопостачання від твердопаливного котла, що спалює дрова з електричними системами опалення економічно не доцільно.

До тексту дисертації за змістом та по суті є такі зауваження:

1. Оскільки тема дисертації є актуальною та здійснено ряд досліджень, бажано було б зробити більш ширшу апробацію результатів проведеної наукової роботи.
2. Доцільно було б у першому розділі «Аналіз літературних джерел і патентів» більше уваги приділити комбінованим системам, а також аналізу патентних джерел, зокрема міжнародних.
3. Не обґрунтований вибір початкових умов та не вказано яким методом отримані графічні залежності, зображені на рисунках 2.1, 2.2 та 2.5. А також, чи рис. 2.9 на с.77 є коректним для усіх електричних систем опалення і якщо він є графічним представленням рівняння 2.20, то яка його наукова цінність відповідно до даної роботи?
4. Яким чином враховано, під час побудови математичних моделей в другому розділі та проведення експериментальних досліджень зазначених в третьому розділі, вплив сонячної радіації, що надходить через зовнішні огороження в приміщення?
5. Варто було б провести дослідження запропонованої автором нової конструкції електричного інфрачервоного випромінювача, що представлена на рис. 3.19, с. 116, та здійснити її аналіз для підтвердження покращення ефективності роботи опалювального приладу.
6. Із запропонованої автором методики інженерного розрахунку комбінованої системи опалення не зрозуміло, яким чином у ній враховується тип опалювальних приладів, що також стосується і розробленої автором конструкції електричного інфрачервоного випромінювача.

7. Під час проведення техніко-економічних розрахунків не чітко зазначено, як саме тут враховуються положення отримані в ході виконання даної дисертаційної роботи.

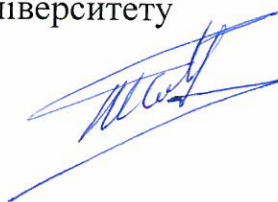
Сильною стороною даної роботи є комплекс теоретичних та експериментальних досліджень комбінованих систем опалення, що поглиблює теплофізичні уявлення про тепломасообмінні процеси у системі “опалювальні прилади - вологе повітря - поверхні огорожень”.

Достовірність отриманих результатів у теоретичних та експериментальних дослідженнях не викликає сумніву. За текстом дисертації є посилання на усі літературні джерела. Структура, зміст і обсяг дисертації відповідає встановленим вимогам і являє собою завершену структуровану науково - дослідну роботу, яка поєднує прикладні, теоретичні та експериментальні дослідження за результатами яких отримано нові науково обґрунтовані висновки по роботі комбінованої системи опалення.

Висновки наведені в дисертації є достатньо обґрунтованими і мають високу цінність для розвитку автоматизованих систем керування мікрокліматом.

Вказані зауваження не знижують, в цілому, якість наукових досліджень та отриманих результатів. Дисертація повністю відповідає встановленим вимогам щодо отримання наукового ступеня доктора філософії, а автор Очеретянко Микита Дмитрович заслуговує присвоєння йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 19 – Архітектура та будівництво (кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.)

Офіційний опонент,
доцент кафедри «Теплогазопостачання
та вентиляція» Національного університету
«Львівська політехніка»
доктор технічних наук, доцент



С. П. Шаповал

Підпис д.т.н. доц. Шаповала С.П. заовдчую
Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»,
кандидат технічних наук, доцент



Р.Б. Брилинський