

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора Гаврюшенка Дмитра Анатолійовича на дисертаційну роботу кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Недбайла Олександра Миколайовича «Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Дисертаційну роботу Недбайла О.М. виконано в Інституті технічної теплофізики НАН України. Робота складається зі вступу, восьми розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та двох додатків. Обсяг роботи становить 376 сторінок основного тексту, включаючи 143 ілюстрації та 22 таблиць. Перелік використаних літературних джерел містить 243 найменування.

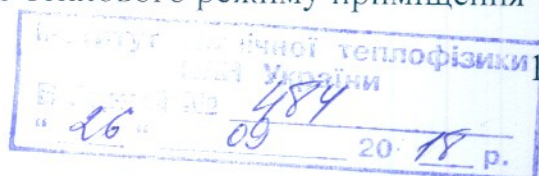
І. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню однієї з важливих науково-технічних проблем сучасної теплоенергетики – підвищенню енергетичної ефективності будівель шляхом впровадження теоретично та експериментально обґрунтованих новітніх технічних рішень в огорожувальних конструкціях будівлі та комбінованих низькотемпературних системах теплозабезпечення

Вказане підвищення ефективності безпосередньо пов'язано з використанням низькотемпературних систем опалення із залученням відновлювальних джерел енергії, що призводить до значної економії енергоресурсів в житлово-комунальному господарстві країни. Актуальні наукові проблеми, що виникають під час розробки та впровадження технічних рішень з ефективного теплозабезпечення будівлі, докладно опрацьовані автором в дисертаційній роботі.

Таким чином, тема дисертаційної роботи, що стосується досліджень питань, які пов'язані з організацією ефективного теплозабезпечення приміщень на основі низькотемпературних систем опалення із залученням відновлювальних джерел енергії та аналізу ефективності їх застосування для теплоенергетичного устаткування, є актуальною.

Робота носить багатоплановий характер, дослідження організовано системно: від розробки математичних моделей складного теплообміну через багат шарову огорожувальну конструкцію в нестационарному режимі з урахуванням впливу цілорічної інсоляції на оболонку будівлі до оцінки енергетичної та економічної ефективності впровадження і експлуатації низькотемпературних систем із використанням теплового насосу в порівнянні з іншими системами для підтримання належного теплового режиму приміщення



Вказане свідчить про домінування в дисертаційній роботі ознак і принципів теплофізичних та теплоенергетичних досліджень, що дозволяє кваліфікувати її за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

II. Коротка характеристика змісту роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень, викладено наукову новизну і практичну цінність, а також наведено інші необхідні відомості щодо загальної характеристики роботи.

У першому розділі проведено аналітичний огляд літературних даних про сучасні підходи з розвитку наукових досліджень щодо підвищення ефективності будівлі при створенні належного теплового режиму в приміщеннях та при складному теплообміні через оболонку із довкіллям.

Дисертант відмічає, що вітчизняні нормативні документи не регламентують особливості технологій будівництва та експлуатації із врахуванням прямої теплової дії цілорічної інсоляції на оболонку будівлі.

Автор вважає, що методики розрахунку параметрів опалювальних систем повинні ґрунтуватись на оптимізаційному аналізі результатів, що отримані від розв'язання спряженої задачі складного теплообміну в приміщенні за допомогою спеціального комп'ютерного програмного забезпечення.

На основі виконаного аналізу стану розглянутої проблеми сформульовано основні завдання, що вирішуються в дисертаційній роботі.

У другому розділі висвітлюються особливості методики теоретичних досліджень теплотехнічних параметрів багатошарової (наприклад вертикальної тришарової) огорожувальної конструкції, що базується на використанні математичної моделі нестационарного складного теплообміну будівлі із довкіллям із урахуванням радіаційної складової теплообміну. Автором також проаналізовано вплив характерних внутрішніх та зовнішніх чинників, що визначають інтенсивність теплопередачі через огорожувальні конструкції. Розроблена математична модель дозволяє знайти розподіл нестационарного поля температур в складних багатошарових конструкціях. Стационарний розподіл температур, що виникає при досить великому значенні часу процесу теплопередачі, використовується для розрахунку значення ефективного термічного опору огорожувальної конструкції.

У третьому розділі проведено оцінку теплового впливу інсоляції на питомі теплові втрати будівлі через огорожувальні конструкції у різні періоди року. Розв'язання диференційних рівнянь математичної моделі нестационарного складного теплообміну для багатошарової комбінованої з повітряним прошарком огорожувальної конструкції методом прогонки надало можливість визначити термічні та енергетичні інтегральні характеристики для різної їхньої орієнтації за сторонами світу.

Автором відзначається, що з урахуванням сонячної радіації теплові

втрати крізь поверхні південної огорожувальної конструкції є меншими майже в 1,4 рази.

Четвертий розділ присвячений обґрунтуванню доцільності використання активного теплового бар'єру із водяним контуром у складі огорожувальної конструкції та реверсивного теплового насосу, а також визначенню енергетичної та економічної ефективності його впровадження.

Автором розглянуто технічне рішення у конструкції непрозорих огорожувальних конструкцій, що складається з шару теплоізоляції, теплового бар'єру із трубами в прошарку бетону, по яких циркулює теплоносій та основної стіни.

В холодний період року при циркуляції крізь контур теплоносія з температурою всього 5-10°C створюється додатковий термічний опір в огорожувальній конструкції. При цьому, як і слід було чекати, зменшуються загальні тепловтрати крізь неї. У теплий період року тепловий бар'єр можна використовувати для запобігання зайвим теплонадходженням, подаючи при цьому теплоносій в контур з тим же значенням температури. Гідравлічна схема передбачає, що додатково теплота може відбиратися від/віддаватися до ґрунтового масиву за допомогою трубчатих теплообмінників. Для підвищення температурного потенціалу теплоносія доцільним вважається застосування теплового насосу. Загальне енергоспоживання будівлі буде залежати при цьому залежатиме від різниці значень температури зовнішнього повітря і теплоносія в теплому бар'єрі.

Така система призначена для відбирання надлишкової теплоти сонячної радіації в теплий період року, подальшого акумулювання її в ґрунтовому масиві та використання в холодний період для часткової компенсації теплових втрат будівлі. Також можливим є її спрямування до низькотемпературної системи водяного підлогового опалення.

У п'ятому розділі наводяться результати досліджень щодо особливостей теплопереносу через світлопрозорі огорожувальні конструкції із одно- та двокамерними склопакетами. Автором за допомогою класичних чисельних методів розв'язана задача складного теплообміну в стаціонарному теплому режимі через склопакети із заданими геометричними розмірами в двовимірній системі, що дозволило отримати поля розподілу швидкості і температури у вертикальному перерізі двокамерного склопакета. Крім того, в даному розділі отримано значення ефективного термічного опору для двокамерного та однокамерного склопакетів зазначеної геометрії.

Шостий розділ присвячено комп'ютерному моделюванню як процесів складного теплообміну, так і аеродинамічних процесів у квазістаціонарному режимі в повітрі окремого приміщення із низькотемпературними системами водяного і повітряного опалення за допомогою прикладного програмного пакету Ansys. Крім цього, було проведено чисельне моделювання теплового режиму того ж приміщення при його опаленні за допомогою рідинно-повітряного теплообмінника.

Дисертантом запропонована інженерна номограма методика, яка

дозволяє значно спростити визначення теплотехнічних параметрів системи водяного підлогового опалення із змінними параметрами конструкції (міжосьовий крок між трубами контуру, діаметр труби) для різних значень теплового навантаження та витрат теплоносія. В такому вигляді методика може бути покладена в основу проекту ДБН України, що регламентує використання таких низькотемпературних систем опалення.

Сьомий розділ присвячено обґрунтуванню науково-технічних положень створення енергоефективної будівлі. Дисертантом розроблено схему комбінованої системи теплозабезпечення енергоефективного будинку, що включає в себе контури системи опалення, контури ґрунтових теплообмінників, теплові сонячні колектори, тепловий насос і твердопаливний котел (на прикладі розробленого повномасштабного стенду Інституту технічної теплофізики НАН України). В цьому розділі наведено результати проведених експериментальних досліджень параметрів теплового режиму окремого приміщення стенду з підлоговим та простінковим опаленням. Отримані дані вказують на те, що найбільш рівномірний розподіл температури повітря по висоті приміщення притаманний окремому використанню системи підлогового опалення.

У восьмому розділі наведено ексергетичний аналіз ефективності роботи систем опалення різних типів, а також проведено оцінку основних техніко-економічних показників енергоефективності будівель із використанням імітаційної моделі будинку.

Отримані в цьому розділі результати вказують на те, що використання низькотемпературних систем опалення (особливо водяного підлогового, що має найбільше значення ексергетичного коефіцієнту корисної дії) значно зменшує ексергетичні втрати при транспортуванні та передаванні теплоти від теплоносія до опалювального приміщення.

Також було проведено розрахунки необхідної первинної енергії в залежності від типу палива і способу вентиляції для будинків, що характеризуються різними параметрами зовнішніх огорожувальних конструкцій.

III. Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній

- визначено теплові характеристики різноваріантних огорожувальних конструкцій та проведено оцінку радіаційної енергетичної складової їхньої взаємодії з довкіллям за допомогою побудованої математичної моделі процесів нестационарного складного теплообміну з урахуванням впливу цілорічної інсоляції на оболонку будівлі на основі виконаних чисельних розрахунків;
- за розробленою інженерною методикою визначено енергетичні показники експлуатації теплового бар'єру огорожувальної конструкції в холодний та теплий періоди року;
- за допомогою чисельних розрахунків при побудові розв'язків рівнянь теплопереносу із відповідними граничними умовами визначено

значення конвективної і радіаційної складових теплообміну через типові світлопрозорі конструкції з одно- та двохкамерним склопакетами в стаціонарному режимі, а також значення їхнього термічного опору;

- розраховано параметри теплообмінних та аеродинамічних процесів у квазістаціонарному тепловому режимі в повітрі типового приміщенні з системою як низькотемпературного водяного підлогового, так і повітряного опалення на основі тривимірної математичної моделі за допомогою програмного пакету Ansys 14.0;
- проведено порівняльний аналіз ексергетичної ефективності експлуатації низькотемпературних і традиційних систем енергоефективного будинку із різними опалювальними приладами.

IV. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що

- розроблено інженерну номограмну методику визначення теплотехнічних параметрів водяної підлогової системи опалення;
- обґрунтовано науково-технічні положення створення енергоефективної будівлі із використанням низки теплотехнічних рішень, таких як використання ґрунтових теплообмінників із повітряною тепловою завісою фасадів будинку і комбінованої системи теплозабезпечення на основі залучення відновлювальних джерел енергії (теплоти ґрунту і сонячної радіації);
- розраховано відповідні експлуатаційні витрати типових будинків в залежності від джерела теплопостачання, теплотехнічних параметрів огороджувальних конструкцій та витрати первинної енергії.

V. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджено виконанням досліджень з використанням сучасних ефективних методик і адекватних моделей, коректністю фізичних припущень та позитивним досвідом впровадження результатів дисертаційної роботи. Достовірність теоретичних результатів та результатів численних розрахунків підтверджено порівнянням їх з даними інших авторів, а також порівнянням з результатами експериментальних досліджень.

Основні наукові положення і результати роботи, що відповідають тематиці дисертації, пройшли апробацію на 23 міжнародних та вітчизняних науково-технічних та науково-практичних конференціях та 8 наукових семінарах.

VI. Повнота викладення наукових положень та висновків.

Основні положення роботи викладені в 46 друкованих наукових працях. З них 27 статей опубліковано у фахових наукових виданнях України, одна стаття у іноземному виданні, чотири статті у міжнародних виданнях, що входять до наукометричної бази SCOPUS та 5 патентах України.

В дисертаційній роботі Недбайла О.М. не виявлені ознаки плагіату або запозичень ідей, результатів і текстів інших авторів без посилання на відповідне джерело. В роботі повністю відсутні матеріали та висновки кандидатської дисертації здобувача.

Автореферат дисертації Недбайла О.М. достатньо повно відображає зміст і суть результатів досліджень, викладених в дисертації. Текст автореферату адекватний змісту, структурі та основним положенням дисертації.

VII. Оформлення дисертації

Дисертація є закінченою науковою працею, що виконана у вигляді підготовленого рукопису. Дисертація і автореферат викладені літературною мовою, послідовно, грамотно та доступно, фрази чіткі і завершені, усі рисунки інформативні та правильно оформлені, читання навіть складних формул не викликає труднощів. Дисертація відповідає вимогам «Постанови КМ від 24.07.2013 №567 пп. 9, 10, 12, 13», що їх пред'являють до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Стиль викладення наукового матеріалу забезпечує його чітке та однозначне розуміння.

VIII. Зауваження до дисертації

1. При побудові розв'язку рівняння теплопровідності (2.15) не вказано, за якими змінними виконується перетворення Лапласа (часовими чи просторовими), що є неочевидним для читача, не знайомого з посиланням [100]. Наведений на сторінці 90 вираз (2.18) не є лапласівським образом розв'язку рівняння (2.15). Залежність отриманої функції від безрозмірної просторової змінної, згідно з представленими позначеннями, взагалі відсутня, хоча в правій частині виразу цей параметр визначає межі інтегрування. Не зрозуміло, чому в гіперболічних функціях значення цього параметру покладено рівним одиниці, що відповідає знаходженню температури на одній з стінок. Відповідно, отримання виразу (2.19) шляхом диференціювання виразу (2.18) викликає певні труднощі. Можливо, вираз (2.18) насправді повинен мати вигляд
$$T(\bar{x}, s) = A \operatorname{ch} \sqrt{s\bar{x}} + A \operatorname{sh} \sqrt{s\bar{x}} - \dots$$
2. Представлені методи обчислення похибок (наприклад, стор. 265 – 269, таблиця 6.6 тощо) є загальновідомими, тому наведений в докторській дисертації їх детальний аналіз є зайвим. Твердження «Найбільша відносна похибка вимірювань буде при мінімальному вимірювальному значенні» є коректним лише за умови накладання очевидних умов на

- абсолютні похибки. Формула (6.48) визначає середньоквадратичну (RMS) відносну похибку, а не середньогеометричну. В таблицях 6.6. та 6.9. введено невдале пояснення змісту похибок
3. При записі граничних умов типу (2.3) та (2.4) перший вираз є наслідком другого (в наближенні лінійної нерівноважної термодинаміки), тому порядок їх запису є оберненим.
 4. У виразі (2.69) температура, як у відповідності до суті закону Стефана-Больцмана, так і згідно з введеними позначеннями, вимірюється у К, система переводу є надлишковою.
 5. Система рівнянь (5.1) – (5.5) містить C_V , тому для її замикання необхідно задати не лише термічне (типу (5.6)), але й калоричне рівняння стану вигляду $U = U(T, V, N)$.
 6. У дисертації та авторефераті наявні деякі похибки редакційного та стилістичного характеру, вади в оформленні рисунків, таблиць тощо. Наприклад:
 - у формулі (5.7) температура у Кельвінах прирівнюється до температури у градусах Цельсія;
 - введення параметру Γ (див. (6.7)) не спрощує рівняння (6.5), а просто дозволяє записати його у більш компактному вигляді;
 - на рис. (3.3) та (3.4) дисертантом обрано крок 0.06 замість цілком природного 0.05;
 - стилістичні неточності на стор. 86, 110, 152 тощо. Наприклад, «численних методів» замість «чисельних методів», «вирішується» замість «розв'язується», формула (5.6) хибно пронумерована як (4.6) тощо.

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист дисертантом. Крім того, вказані недоліки в основному мають характер побажань для подальшої роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Недбайла О.М.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Недбайла Олександра Миколайовича «Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій» є завершеною науковою працею, в якій містяться нові наукові результати, спрямовані на вирішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення енергетичної ефективності будівель шляхом впровадження теоретично та експериментально обґрунтованих новітніх технічних рішень в огорожувальних конструкціях будівлі та комбінованих низькотемпературних системах теплозабезпечення. Роботу

виконано на сучасному науковому рівні, а одержані результати мають високу наукову новизну та практичну цінність. Сформульовані в роботі наукові висновки характеризуються високим ступенем обґрунтованості. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика».

На підставі вищевикладеного, вважаю, що дисертаційна робота «Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій» повністю відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. №656), а її автор, Недбайло Олександр Миколайович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06. – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

Доктор фізико-математичних наук, професор
кафедри молекулярної фізики фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



Гаврюшенко Д.А.

