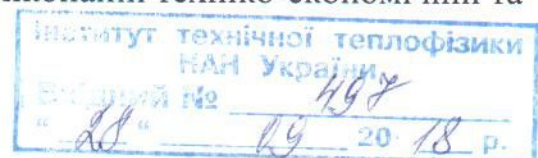


## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію “Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій”, представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук Недбайлом Олександром Миколайовичем за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Дисертаційне дослідження, яке сприяє розв'язанню гострої світової проблеми, пов'язаної із суттєвою економією енергоносіїв, для тепло енергопостачання існуючих, нових і перспективних будівель і споруд різного призначення та суттєве зниження викидів діоксиду вуглецю є дуже важливим. Актуальність роботи підтверджується її виконанням в рамках наукових досліджень, що проводилися відділом теплофізичних основ енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики НАН України за вісьмома науково-дослідними роботами та проектами у яких автор брав безпосередню участь. Основною метою роботи є подальший розвиток науково обґрунтованих підходів, що описують теплову взаємодію будівлі через її оболонку з довкіллям, а також вивчення особливостей практичного підвищення енергоефективності цивільних будівель при застосуванні комбінованих систем теплозабезпечення із використанням відновлювальних джерел енергії. Для досягнення поставленої мети було поставлено і виконано відповідні завдання. *Об'єктом дослідження* визначено тепловий режим приміщень будівель (в т.ч. енергоефективного будинку) із різними типами огорожень і урахуванням впливу на них сонячного випромінювання, а *предметом дослідження* – нестационарні та квазістационарні процеси складного теплообміну в огорожувальних конструкціях та мікроклімату, який утворюють низькотемпературні системи теплозабезпечення. В роботі застосовано сучасні *методи* теоретичних та експериментальних *досліджень* на основі фізичного та математичного моделювання поставлених наукових завдань з використанням інструментального та машинного ресурсів (спеціальна прикладна програма в пакеті Ansys 14.0). *Наукова новизна* одержаних результатів полягає у отриманих закономірностях тепломасообмінної взаємодії середовищ з різними температурами від різних систем теплозабезпечення через огороження різних конструкцій з різними теплофізичними характеристиками в умовах нестационарного та квазістационарного режимів складного тепломасообміну з урахуванням впливу цілорічної інсоляції на оболонку будівлі на основі теоретичних і експериментальних досліджень та верифікації їх результатів. *Практичне значення* одержаних результатів полягає у розробці методик інженерних розрахунків теплотехнічних параметрів систем теплозабезпечення енергоефективних будівель та споруд з використанням підлогової водяної системи опалення, ґрунтових теплообмінників, повітряних теплових завіс фасадів, інших конструктивних елементів систем із використанням відновлювальних джерел енергії. А також у виконаній техніко-економічній та





експлуатаційній оцінках прийнятих та впроваджених інженерних рішень на основі отриманих науково-обґрунтованих результатів. Вагомість практичного значення підтверджується п'ятьма охоронними документами України. А впровадження у інженерні технології підтверджене відповідними п'ятьма актами. *Особистий внесок* здобувача носить чільний характер в усіх сумісних публікаціях від ідеї, постановки завдань до їх реалізації а основні результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Матеріали дисертаційного дослідження багаторазово схвально *апробовано* на більше ніж 25-ти міжнародних науково-технічних конференціях з різною географією міст в Україні, Білорусі та Росії. *Структура* та обсяг дисертації – вступ, вісім розділів основної частини, висновки, список використаних джерел з 243 найменувань, 2 додатки на 16 сторінках. Основний текст- 376 сторінок із 143 рисункам та 22 таблицями.

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

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану і тенденціям розвитку підвищення теплової ефективності будівель на основі світових досягнень. Критично проаналізовано теплові режими і теплову ефективність будівель, комфортні умови перебування людини у приміщеннях, експериментальні та розрахункові методи досліджень процесів теплообміну в приміщеннях та існуючих підходів щодо розрахунку параметрів нестационарної теплопередачі через зовнішні огороження. Визначено мету та завдання дослідження.

За формою та за змістом (по суті), вступу та першого розділу є кілька зауважень.

1. Не досить коректно сформульовано основні деякі характерні текстові частини вступу. Наприклад, цитата “Предмет дослідження - нестационарні та квазістационарні процеси складного теплообміну в ОК і низькотемпературних системах теплозабезпечення.” Кінець цитати. Якщо перша частина речення зрозуміла, то що означає нестационарні та квазістационарні процеси складного теплообміну в низькотемпературних системах теплозабезпечення? Не ясно.

2. Слід було б привести узагальнені схеми класифікацій енергоефективних будівель, в цілому, систем створення мікроклімату, санітарно-гігієнічних показників комфортного перебування людини в приміщеннях різного призначення, різних типів і видів конструкцій зовнішніх огорожень, кліматичних даних, методів експериментальних та теоретичних досліджень з виділенням об'єкта дослідження, його складових, в даній роботі.

Другий розділ присвячено особливостям теплопередачі через багат шарову огорожувальну конструкцію для нестационарного режиму. Представлено методику розрахунку теплотехнічних параметрів огорожувальних конструкцій, розроблену математичну модель нестационарного процесу тепло переносу в багат шаровій огорожувальній конструкції, основні фактори, що визначають інтенсивність теплопередачі через огороження, внутрішні та зовнішні чинники дисипації теплоти. Встановлено, що розроблена математична модель дозволяє оцінити теплофізичний стан конструкцій огорожень, що проектуються для різних



режимів експлуатації будівлі та прийняти відповідне раціональне конструкторське рішення. Розрахувати поле температур в елементах багатошарових конструкцій, на межах шарів та в їх товщині. При вимірюванні температури в характерних точках конструкції (на межах шарів і на поверхнях), можливе визначення теплофізичних характеристик матеріалів та істотне скорочення часу з підвищенням точності лабораторних випробувань без досягнення стаціонарного режиму. При розв'язку оберненої задачі можливе визначення коефіцієнта термічного опору теплопередачі багатошарової конструкції та окремих її шарів за неусталених умов. А також враховувати вплив зміни кліматичних даних ззовні на огороження та теплопередачу у ньому.

До *другого* розділу є зауваження по суті. У висновках до розділу слід було б проаналізувати можливості використання запропонованої математичної моделі і способу розв'язання рівнянь в оцінці огорожень будівлі із зміною теплофізичних характеристик елементів конструкції, в процесі прогнозу їх експлуатації та зміни кліматичних даних (інтенсивність сонячного випромінювання і т.д.).

У третьому розділі досліджено вплив сонячного випромінювання на теплові втрати будівлі. Розглянуто основні типи і різновиди конструктивних елементів будівлі, що перебувають у тепловій взаємодії з довкіллям. Розв'язано задачі теплопередачі через однорідну та складну конструкції зовнішніх огорожень під впливом сонячного випромінювання протягом року, а також задачу теплопередачі через багатошарову комбіновану з повітряним прошарком конструкцію. На основі розв'язку рівнянь математичної моделі нестационарного складного теплообміну для комбінованої конструкції з повітряним прошарком розраховано вплив інтенсивності сонячного випромінювання на питомі теплові втрати будівлі в холодний період року із їх зменшенням для стіни з південною орієнтацією в 1,37 рази, а з північною в 1,16. Отриманий результат вказує на можливий напрям розвитку енергозберігаючих конструкцій огорожень на основі пасивних методів.

До *третього* розділу є зауваження по суті. 1. Необхідно було б чіткіше формулювати мету дослідження і відповідно аналізувати отримані результати у даному розділі у контексті дисертації. Цитата (стор.110, другий абзац зверху) "Основне завдання - розробка алгоритму обліку кліматичних чинників, виявлення впливу цілорічної сонячної радіації на теплопередачу через огорожуючу конструкцію будівель та вироблення підходів щодо раціонального використання річної надлишкової теплоти." Кінець цитати. До кліматичних даних крім сумарної, прямої, дифузної складових інтенсивності сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню входять напрям і швидкість вітру, температура навколишнього середовища, тривалість дня (час сходу і заходу сонця), відносна вологість повітря і т.д.. Не зрозуміло як враховувались перелічені кліматичні дані у математичній моделі і в якій степені, а отримані числові значення в 1,37 та 1,16 разів для конкретних вхідних даних м.Києва і дещо абстрактних конструкцій вертикальних стінових огорожень, наприклад, "з товщиною  $\delta = 0,38\text{м}$  з внутрішнім теплоізоляційним



шаром при південній орієнтації”, кінець цитати. Як їх можна узагальнити, застосувати, для різних географічних місць, різних конструкцій огорожень і різних їх типів і різновидів (вікна, двері, дахи, і т.д.).

Четвертий розділ присвячено підвищенню енергетичної ефективності оболонки будівлі з використанням тепло насосних технологій. Проаналізовано використання надлишкової теплоти огорожувальних конструкцій в системі теплохолодопостачання будівель та використання теплового бар'єру для підвищення ефективного опору теплопередачі огорожень. Представлено методику розрахунку параметрів теплового режиму системи теплохолодопостачання і теплотехнічні параметри огорожувальної конструкції із тепловим бар'єром. Проаналізовано техніко-економічні показники експлуатації теплового бар'єру. Встановлено, що температура подачі теплоносія в тепловий бар'єр має бути не менше 22°C. Її значення залежить, в основному, від товщини теплоізоляції і досягнути його на основі теплового насосу з використанням низькопотенційної теплоти ґрунту не вдасться. Застосування теплового бар'єру зменшує теплові втрати, а товщина стіни не суттєво впливає на розподіл температур в її товщі у порівнянні із товщиною теплової ізоляції.

До *четвертого* розділу є зауваження по суті. Основою дослідження є тепло насосні технології із використанням огороження з тепловим бар'єром у вигляді трубок із теплоносієм у товщі конструкції огороження. Запропонована конструкція є окремим конкретним випадком. Незрозуміло як отримані результати можна використати для інших аналогічних конструктивних рішень, наприклад тепловий бар'єр на основі електричних тенів.

П'ятий розділ присвячено підвищенню енергоефективності будівлі шляхом термомодернізації її світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Розглянуто особливості теплопереносу через багатокамерні склопакети, математичну модель теплопереносу через двокамерний склопакет віконної конструкції. Проаналізовано результати розрахунків. Встановлено, що розв'язок, запропонованої в роботі, математичної моделі нестационарного теплопереносу із відповідними початковими та граничними умовами дозволив визначити розподіл швидкості руху і температури повітря в камерах склопакету, який характеризується опускною течією вздовж внутрішньої поверхні зовнішнього шару скла та підіймальною вздовж зовнішньої поверхні внутрішнього шару скла. Розрахунки за згаданою моделлю дозволили визначити розподіл густини теплового потоку на зовнішній та внутрішній поверхнях двокамерного склопакету, а також визначити його термічний опір, який є в 1,7 рази є вищим ніж у однокамерного.

До п'ятого розділу є зауваження по суті. 1. Яким чином враховувалась теплопередача через конструкцію рам, віконних коробок та їх спряжень у конструкцію стінових огорожень. 2. Як враховувалась перша основна функція вікна – освітленість приміщення. 3. Яким чином отримані результати дослідження можуть бути використані при розробці перспективних конструкцій вікон.



У шостому розділі приведено використання низькотемпературних систем опалення приміщень. Описано конструкцію лабораторно-дослідної системи підлогового водяного опалення та представлено методику проведення експериментальних досліджень. Теоретично та експериментально розглянуто теплові квазістаціонарні режими взаємодії стану повітря в приміщенні з системами підлогового водяного опалення від теплових насосів та огорожувальних конструкцій. Представлено методику інженерного розрахунку теплотехнічних параметрів системи підлогового водяного опалення для теплового режиму приміщення при експлуатації повітряних опалювальних приладів. Встановлено, що математична модель квазістаціонарного теплообміну в приміщенні при його опаленні фанкойлом дозволила визначити розподіл температур повітря, а також полів його швидкостей. Зіставлення розрахунків із використанням трьох моделей турбулентності та експериментальних даних є задовільним та дозволяє стверджувати, що  $k - \epsilon$  модель найбільш точно описує розподіл температури по висоті приміщення. В результаті розв'язання спряженої задачі складного теплообміну знайдено розподіл температури в шарах системи підлогового опалення та повітря в приміщенні. Верифікація теоретичних та експериментальних даних показала задовільне узгодження розрахункових значень полів швидкостей руху повітря та його температур, а також теплових параметрів в різних шарах підлоги. Використання автоматизованого вимірювального комплексу із високоточними первинними та вторинними приладами призвело до мінімальної відносної похибки вимірювання величин до 3,9%. До шостого розділу зауважень немає.

Сьомий розділ присвячено науково-технічним положенням створення енергоефективної будівлі. Проаналізовано світовий досвід енергоефективного будівництва, та представлено концепцію створення енергоефективного будинку Інституту технічної теплофізики НАН України з системою теплохолодо захисту зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку на основі повітряної завіси. Режими роботи комбінованої системи теплозабезпечення енергоефективного будинку та аналіз енергетичних параметрів роботи систем його теплозабезпечення. Представлено результати експериментального дослідження теплового режиму типового приміщення при використанні низькотемпературних опалювальних систем. Встановлено, що результати комплексних досліджень складного теплообміну через оболонку будівлі та в інженерних системах опалення і кондиціонування повітря надали можливість розробити науково-технічні положення створення енергоефективної будівлі із розрахунковим питомим енергоспоживанням менше  $15 \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{рік})$ . Для підвищення теплоізоляційних можливостей огорожувальних конструкцій запропонована до використання теплова повітряна завіса фасадів будинку. Дослідження енергетичних параметрів та ефективності роботи комбінованої системи теплозабезпечення енергоефективного будинку показали значення середнього сезонного коефіцієнта перетворення теплоти теплового насосу (COP) близько 3,5, що є прийнятним для відповідних умов його експлуатації.



Проведені експериментальні дослідження теплового режиму типового приміщення енергоефективного будинку із Г-подібним контуром підлогового водяного опалення та чотирма петлями опалювальних контурів в простінку показали, що найбільш рівномірний розподіл температури повітря по висоті приміщення є при експлуатації системи підлогового опалення або одночасному використанні усіх контурів.

До сьомого розділу є зауваження по суті. 1. Сучасне і перспективне будівництво передбачає оцінку енергетичної, екологічної, експлуатаційної та економічної ефективностей, а також корисну біосферну утилізацію конструктивних елементів систем, підсистем після завершення терміну експлуатації будівлі. Як із цих позицій можна представити запропонований енергоефективний науково-дослідний будинок. 2. Системи автоматизації технологічних процесів створення мікроклімату – невід’ємна складова функціонування енергоефективного будинку, особливо для застосування розумних технологій. Чи і в якій степені приділялась увага застосуванню вказаних підсистем.

У восьмому розділі приведено результати ексергетичного та економічного аналізів способів реалізації різних теплових режимів енергоефективної будівлі. Аналіз енергетичних, екологічних та економічних показників індивідуальних будинків дає можливість вибору раціональних варіантів, що стосуються зовнішніх огорожень та вибору систем опалення та вентиляції. Розроблення проектних рішень енергоефективного житла та системи керування параметрами енергоощадності на всіх етапах життєвого циклу будинку визначає концепцію інтегрованого проектування низькоенергетичних будинків. Ексергетичний аналіз роботи різних систем створення теплових режимів дав змогу визначити шляхи підвищення їх термодинамічної і, відповідно, теплотехнічної досконалості, а виконаний техніко-економічний аналіз застосування теплових насосів для систем опалення показав економічно доцільне застосування системи підлогового водяного опалення з тепловим насосом типу “грунт-рідина”.

До восьмого розділу зауважень немає.

В цілому по роботі є зауваження за її змістом.

1. Робота носить системний характер, проте слід було б конкретніше у кожному розділі формулювати проміжну мету дослідження та, відповідно, висновки до розділу з критичним як конкретним так і узагальнюючим аналізом в контексті комплексного підходу до розвитку наукових основ енергоефективного перспективного будинку.

2. Зустрічаються види мовних помилок. Наприклад стилістичні помилки у підписах під графічними залежностями у третьому, четвертому розділах і т.д.

До переважаючої, сильної, сторони роботи необхідно віднести наукові дослідження, отримані результати, які проведені автором для нестационарних та квазістационарних режимів тепломасообмінних процесів в елементах конструкцій підсистем енергоефективного будинку, що дозволить досягнути як конкретно їх максимальної енергетичної ефективності під час змінного динамічного функціонування, так і системи (будинку) у цілому.



Достовірність отриманих результатів у теоретичних і експериментальних дослідженнях не викликає сумніву. За текстом дисертації є посилання на усі літературні джерела. Текст дисертації читається легко і зрозуміло, хоча дещо переобтяжений кількістю результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Структура, зміст і обсяг дисертації відповідає встановленим вимогам і являє собою завершену структуровану науково - дослідну роботу з поєднанням прикладних теоретичних і експериментальних досліджень за результатами яких отримано нові науково обґрунтовані напрями розвитку енергоресурсозбереження у будівельній та суміжних галузях.

Тексти дисертації і автореферату є ідентичними за змістом, і у авторефераті представлено основні положення дисертації. Висновки дисертації є достатньо обґрунтованими і мають високу цінність для розвитку наукових основ енергозбереження будівель.

Вказані зауваження не знижують, в цілому, якість наукових досліджень та отриманих результатів. Дисертація повністю відповідає встановленим вимогам до докторських дисертацій, а автор Недбайло Олександр Миколайович заслуговує присвоєння йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент, декан факультету інженерних систем та екології  
Київського національного університету будівництва  
і архітектури, доктор технічних наук, професор

 О.В.Приймак

Підпис О.В.Приймака засвідчую  
секретар Вченої ради КНУБА



О.С. Петренко