

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук **Суржик Таміли Володимирівни**

на дисертаційну роботу **Сорокового Родіона Ярославовича**

«Теплофізичне обґрунтування впливу сонячного випромінювання на формування тепловологісного стану будівель»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова

теплоенергетика

Дисертацію присвячено розробці теплофізичних підходів для аналізу впливу інтенсивності сонячного випромінювання на динаміку зміни тепловологісного стану будівельних конструкцій і мікроклімату в опалювальних приміщеннях з метою вирішення актуальної проблеми зниження навантаження опалювальних приладів, і як наслідок зменшення витрат природного палива, та покращенню умов експлуатації будівель.

Актуальність теми дисертації.

Енергоспоживання комунального сектору енергетики України є значно вищим, ніж в країнах ЄС. Це пов'язано з низьким класом енергоефективності будівель внаслідок недостатньо дієвих заходів по теплозбереженню і нерационального використання енергоресурсів. Норми ДБН для проектування систем опалення та оцінки потреб в тепловій енергії в процесі експлуатації будівель не враховують зміну вологовмісту огорожувальних конструкцій та теплонадходжень від сонячного випромінювання. Однак відомо, що в сонячні дні опалювального періоду до 30% теплоти в будівлі може генеруватись за рахунок сонячної радіації, а підвищення вологовмісту стінових конструкцій погіршує їх теплозахисні якості в зимовий період.

Незважаючи на значний обсяг експериментальних і розрахункових досліджень інтенсивності сонячного випромінювання та його вплив на тепловий стан будівель, подальший розвиток теплофізичного впливу добової зміни інтенсивності сонячного випромінювання на динаміку тепловологісного стану огорожувальних конструкцій та радіаційно-конвективних теплових потоків у внутрішніх приміщеннях будівель потребують подальшого розвитку.

Використання експериментальних методів для дослідження тепломасообмінних процесів в гетерогенних пористих системах, якими є

огороджувальні конструкції, та у приміщеннях будівель, що знаходяться в умовах постійної зміни стану оточуючого середовища, спряжено з істотними технічними труднощами і матеріальними витратами. Отже, розробка теплофізичних підходів та методів математичного моделювання для аналізу впливу інтенсивності сонячного випромінювання на динаміку зміни тепловологісного стану будівельних конструкцій і мікроклімату в опалювальних приміщеннях становить актуальну проблему, вирішення якої дозволить забезпечити зниження навантаження опалювальних приладів та покращення умов експлуатації будівель.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується ще й тим, що вона виконана в Інституті технічної теплофізики згідно з планами держбюджетних науково-дослідних наукових робіт цього закладу.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації базується на критичному аналізі вітчизняних та іноземних джерел літератури за даною проблемою, чіткій постановці мети і задач дослідження, залученням сучасних методів досліджень, фізично обґрунтованому аналізі отриманих результатів та висновків. Точність і надійність результатів експерименту зумовлена використанням сучасного приладу вимірювання з комп'ютерною обробкою даних. Теоретичні дослідження виконані на основі сучасного математичного апарату, комплексу сучасних теоретичних та фізичних методів, що ґрунтуються на фундаментальних законах теорії тепло- і масообміну. Достовірність результатів забезпечується коректністю математичних постановок задач і фізичних припущень, а також порівняльним аналізом теоретичних і експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. На основі результатів комплексу виконаних експериментальних досліджень встановлено залежність інтенсивності сонячного випромінювання від орієнтації сприймаючої поверхні у різні пори року на широті м. Києва.

2. Вперше встановлено закономірності формування тепловологісного стану багатошарової стінової конструкції за умов зміни потоків сонячної радіації та теплового режиму зовнішнього середовища в добовому циклі.

3. Вперше теоретично виявлено і обґрунтовано ефект обернення теплового потоку в огороджувальній конструкції будівлі під впливом

сонячного випромінювання в результаті зміни положення температурного мінімуму від зовнішньої поверхні стіни до її внутрішніх шарів.

4. Запропоновано новий розрахунково-експериментальний метод визначення рівноважного вологовмісту капілярно-пористих матеріалів і побудови ізотерм сорбції-десорбції.

5. Побудовано математичну модель температурного режиму приміщення в опалювальний період з урахуванням додаткового теплового надходження на внутрішні поверхні стін та підлогу від сонячного випромінювання через віконні прорізи;

6. На основі запропонованої математичної моделі одержано нові дані щодо впливу сонячної радіації на аеродинаміку повітряних потоків і тепловий стан приміщення. Встановлено, що в зимовий період за рахунок вказаного додаткового теплонадходження, температура протилежної вікну стінки може підвищуватись на 15–17 °С, при цьому температура в приміщенні збільшується 2–3 °С.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані автором результати знайшли впровадження в декількох напрямках робочого проєкту «Капітальний ремонт будівлі спортивного залу Державного закладу професійної (професійно-технічної) освіти зі специфічними умовами навчання «Академія патрульної поліції» за адресою м. Київ, вул. Святослава Хороброго, 9» який виконувало підприємство ПП «Ірпінтеплосервіс», а саме: при проєктуванні на даху спортивного залу сонячної фотовольтаїчної станції для визначення кута нахилу панелей, що уточнювався на основі даних експериментальних досліджень по інтенсивності сонячного випромінювання на поверхні різної орієнтації; при розробці заходів з енергозбереження для визначення товщини шару захисних покриттів огорожувальних конструкцій на базі математичної моделі переносу теплоти і маси в огорожувальних конструкціях з урахуванням сонячної радіації, що підтверджується Актом впровадження. Крім того, такі результати як чисельне моделювання тепломасообміну через огорожувальні будівельні конструкції з урахуванням інтенсивності сонячного випромінювання та розрахунковий метод визначення ізотерм сорбції будівельних матеріалів використовуються у навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури.

Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації в опублікованих працях. Дисертаційна робота складається з анотації, списку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів

змістовної частини, висновків, списку літературних джерел та додатків. Загальний об'єм дисертаційної роботи становить 190 сторінок з яких: 174 сторінки основної текстової частини, 61 рисунок, 126 бібліографічних найменувань на 14 сторінках та 2 додатки на 3 сторінках. Додатки містять перелік публікацій здобувача за темою дисертації, та 2 акти впровадження отриманих результатів у виробництво та учбовий процес.

Оцінка змісту дисертаційної роботи. Оформлення дисертаційної роботи в цілому відповідає вимогам, які пред'являються до текстової документації. Дисертація оформлена акуратно, малюнки та формули створені за допомогою відповідних пакетних програмних продуктів. Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим задачам в роботі. Стиль викладення наукового матеріалу забезпечує його чітке розуміння.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні наукові результати, що отримані здобувачем. Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, зазначається зв'язок роботи з науковими програмами, визначається мета та задачі дослідження, об'єкт, предмет та методи досліджень, наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення. Обсяг і форма вступу відповідають вимогам до кандидатських дисертацій та достатні для попереднього ознайомлення зі змістом положень, що виносяться здобувачем на захист.

У першому розділі автором проведено критичний аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми, що стосується перспектив пасивного і активного використання сонячної енергії, існуючих експериментальних методів дослідження інтенсивності сонячного випромінювання, переваг і недоліків застосовуваних приладів вимірювання сонячної радіації, алгоритмів математичних підходів щодо визначення інтенсивності сонячного випромінювання, підходів врахування дії сонячної енергії на тепловий стан приміщень будівель та на тепловий стан огорожувальних конструкцій.

На основі проведеного аналізу літературних джерел автором сформульовано мету дисертаційної роботи та задачі, які необхідні для вирішення поставленої мети. З точки зору наукової і практичної цінності вони цілком відповідають вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено експериментальній частині: викладено методику та результати довготривалих експериментальних досліджень інтенсивності сонячної радіації на горизонтальній та орієнтованих по сторонах Світу поверхнях, для широти м. Києва. Проведено аналіз по максимальним значенням густин променевих потоків у різні місяці року. Визначено особливості сприйняття енергії Сонця поверхнями різної орієнтації упродовж доби у різні пори року. Встановлено, що в зимовий період максимальна інтенсивність сонячного випромінювання спостерігається на поверхні, орієнтованій на південь, а в літній період – на горизонтальній поверхні. Виконано зіставлення отриманих результатів з даними для широти м. Києва, що визначались по методу Американського товариства інженерів з опалення, охолодження і кондиціонування повітря ASHRAE, та встановлено їх задовільний збіг.

У третьому розділі побудовано нестационарну нелінійну математичну модель динаміки тепловологоперенесення в огорожувальній стінці офісного приміщення, в якій на відміну від представлених в літературі математичних моделей, враховано вплив добової зміни інтенсивності сонячного випромінювання та дія опалювальних приладів. Представлено результати чисельних експериментів, що доводять наявність суттєвого впливу сонячної радіації на розподіл температури і вологовмісту по товщині стінки – температура зовнішньої поверхні стінки за від'ємної температури навколишнього середовища може підвищуватись на 10-12 °С, а вологовміст приграничних до зовнішньої поверхні шарів зменшуватись вдвічі. Виявлено явище інверсії теплового потоку в товщі стінки, зумовлене нагріванням її зовнішньої поверхні внаслідок дії сонячної радіації до температур, що перевищують температуру всередині стінки.

Виконано математичне моделювання тепло- і вологоперенесення в стіновій конструкції, облаштованій шаром утеплювача за умов дії сонячної радіації. Показано, що її вплив сонячної енергії є найбільш суттєвим саме у шарі утеплювача, який сприяє тому, що температура несучої стінки не знижується до від'ємних значень.

Розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення рівноважного вологовмісту капілярно-пористих матеріалів, на базі якого було отримано ізотерми сорбції будівельних матеріалів, що використані для замикання математичної моделі. Проведено порівняння результатів розрахунку з експериментальними ізотермами, яке показало ефективність даного методу.

Четвертий розділ присвячено дослідженням впливу сонячної радіації на мікроклімат приміщення будівлі. Виконано порівняльний аналіз закономірностей течії повітря і теплообміну для робочої кімнати з двома вікнами і двома радіаторами під ними за наявності та відсутності впливу сонячного випромінювання. Виявлено, що при потраплянні сонячних променевих потоків у приміщення, поблизу протилежної вікну стінки спостерігається зміна напрямку руху повітря, підвищується температура внутрішніх поверхонь стінок на 16-18 °С, а температура повітря в приміщенні на 2...3 °С. Отримані результати свідчать, що в сонячні дні зимового періоду доцільно зменшувати потужність опалювальних приладів, що дозволить отримувати відчутний економічний ефект.

У висновках викладено основні результати дисертаційної роботи.

У додатках наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи та список публікацій здобувача за темою дисертації.

Повнота викладення наукових положень та висновків

Основні положення і результати дисертаційної роботи викладені у 23 друкованих працях, в тому числі у 3 статтях, що входять до наукометричних баз Scopus і Web of Science, 5 статтях у наукових фахових виданнях України, 2 колективних монографіях. Результати доповідалися й обговорювалися на 10 міжнародних науково-практичних конференціях.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення і результати, які виносяться на захист, отримано автором самостійно.

Щодо автореферату та дисертаційної роботи є наступні зауваження:

1. Огороджувальні стінові конструкції при певних умовах оточуючого середовища можуть зволожуватись, або зневоднюватись. В роботі не наводиться детального пояснення, яким чином розроблена математична модель «реагує» на зміну напрямку потоків маси паро-рідинної суміші.
2. Для оцінки зміни погодних умов, які спостерігаються упродовж останнього десятиріччя, було б доцільним провести порівняння результатів вимірювання інтенсивності сонячного випромінювання для міста Києва з результатами, отриманими іншими дослідниками в більш ранні і більш пізні періоди.
3. Одним з найбільш впливових факторів, що впливає на величину сумарного надходження сонячної радіації упродовж доби є наявність хмарності. В

роботі не зазначено, як можливо врахувати її вплив, тоді як в авторефераті цьому питанню приділена увага.

4. В якості теплоізоляції огорожувальної конструкції в роботі розглядався шар з базальтової вати. Оскільки цей матеріал є достатньо високовартісним, було б доцільно пояснити якими перевагами він володіє у порівнянні з більш популярними матеріалами, як наприклад мінеральна вата, пінопласт, поліуретанова піна.
5. Граничні умови для математичної моделі, що описує процеси тепловологопереносу в стінових конструкціях, і для математичної моделі конвективного теплообміну у приміщенні будівлі містять коефіцієнти тепловіддачі. В роботі не наводяться рівняння подібності для їх визначення, а також не пояснюється з яких міркувань було обрано їх значення.
6. В роботі не зазначається, яке значення приймає коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання поверхнею стіни γ , який входить в граничні умови для диференціальних рівнянь переносу енергії представлених математичних моделей.
7. Для визначення потоку пароповітряної суміші, а також коефіцієнта дифузії пари в повітрі необхідно мати в наявності значення коефіцієнту паропроникності. Відомо, що його величина залежить від ефективної теплопровідності пористого матеріалу стінової конструкції, яка при зміні вологовмісту матеріалу може істотно змінюватись. В роботі не сказано, чи ця залежність.

В цілому, зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, яка є актуальною та має практичну цінність. Обґрунтованість основних наукових результатів, висновків та рекомендацій не викликають сумнівів.

Загальний висновок та відповідність дисертації вимогам.

Дисертаційна робота Сорокового Родіона Ярославовича «Теплофізичне обґрунтування впливу сонячного випромінювання на формування тепловологісного стану будівель» є самостійним і завершеним науковим дослідженням, в якому на підставі виконаних на сучасному рівні експериментальних та теоретичних досліджень отримано нові науково обґрунтовані результати впливу інтенсивності сонячного випромінювання на тепловологісний стан огорожувальних конструкцій будівель і мікроклімат

приміщень. Ці результати мають наукову новизну і практичну цінність для вирішення проблеми підвищення енергоефективності будівель.

Представлені в дисертаційній роботі наукові результати відповідають меті та завданням, що в ній поставлені. Висновки за результатами наукових досліджень достатньо обґрунтовані.

Оформлення, стиль викладеного матеріалу дисертаційної роботи та реферату доступний для сприйняття і відповідає сучасним вимогам до наукових публікацій.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації роботи адекватно відображені у публікаціях автора. Обсяг, кількість і джерела публікацій відповідають діючим вимогам до кандидатських дисертацій. Матеріали дисертації були у достатній мірі представлені на конференціях державного і міжнародного рівня.

За напрямком обраних та вирішених питань дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.14.06 – “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика” та профілю спеціалізованої вченої ради Д26.224.01.

Аналізуючи позитивний доробок автора і вище відзначені зауваження вважаю за необхідне зробити наступний висновок: дисертаційна робота «Теплофізичне обґрунтування впливу сонячного випромінювання на формування тепловологісного стану будівель» повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 року № 656), а її автор, Сороковий Родіон Ярославович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06. – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент

Вчений секретар

Інституту відновлюваної енергетики НАН України,

ст.н.с., д.т.н.

Таміла СУРЖИК
 Таміла СУРЖИК
 Завідувач відділу кадрів Інституту В.В. Бритенко

