

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора

Редька Андрія Олександровича

щодо дисертаційної роботи

кандидата технічних наук **Шаповала Степана Петровича**

«Системи теплозабезпечення енергоефективних будівель на основі зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії у теплову»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

Актуальність теми дисертації

Дисертація Шаповала С.П. присвячена обґрунтуванню використання нетрадиційних джерел енергії, зокрема сонячної. В даний час обсяг споживання природного газу в Україні складає понад 40 % від споживання загальної кількості енергоносіїв, а ВВП характеризується високим рівнем енергоємності в порівнянні з економічно розвинутими країнами. Різке подорожчання і дефіцит органічних видів палива в Україні зумовив необхідність розробки нових методів та засобів, що спрямовані на виробництво та споживання енергоносіїв.

Одним із перспективних шляхів вирішення цих проблем є впровадження енергоефективних будівель. Тому для України важливо інтенсифікувати процеси з розвитку енергоефективного будівництва та збільшення частки альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної, яка на території України має значний потенціал. Використання сонячної енергії для теплопостачання енергоефективних будівель є перспективним напрямком в галузі архітектури та будівництва, тому тема роботи є актуальною.

Дисертаційна робота виконана відповідно до закону України "Про енергетичну ефективність будівель" № 2118-VIII та енергетичної стратегії України на період до 2035 року (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України 18 серпня 2017 р. № 605-р) та відповідає науковому напрямку кафедри теплогазопостачання і вентиляції Національного університету "Львівська політехніка" – "Енергоощадність систем теплогазопостачання і вентиляції".

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

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану науково-технічної проблеми; аналізі переваг та недоліків застосування геліоустановок та доцільності використання сонячного енергетичного потенціалу на території України; розробці конструкцій зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії в теплову (ЗОПСЕТ) та принципових схем дослідних установок; теоретичному аналізу та комп'ютерному моделюванні системи теплозабезпечення енергоефективних будівель на основі розроблених ЗОПСЕТ; проведенні експериментальних досліджень та математичній об-

робці їхніх результатів; встановленні залежності між тепловою ефективністю ЗОП-СЕТ та їх конструктивними характеристиками; техніко-економічному обґрунтуванні ефективності систем теплопостачання на основі розроблених зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії в теплову. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації отримані і розроблені автором у результаті вивчення сучасного стану питання впровадження нетрадиційних джерел енергії для потреб систем теплопостачання.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, отримані й розроблені автором у результаті ретельного вивчення сучасного стану питання енергозабезпечення будівель та споруд нетрадиційними джерелами енергії, базуються на значному обсязі експериментів та теоретичних досліджень на математичній моделі, є логічними і науково обґрунтованими. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, метод розрахунку та концепція проектування системи теплозабезпечення енергоефективних будівель на основі ЗОПСЕТ впроваджено на ряді підприємств: "Гіз-контакт" (м. Харків); ТОВ "БМ КОМФОРТ" (м. Львів); ТОВ "ОЛФОМЕД" (м. Київ); ПП "АРХ.МЕД.ПРОЕКТ" (м. Дніпро).

Ступінь новизни результатів дисертаційного дослідження

У дисертаційній роботі:

1. Запропоновано основи новітніх технологій теплозабезпечення енергоефективних будівель на основі вдосконалення комбінованих систем теплопостачання із застосуванням зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії у теплову, що дозволило підвищити ефективність роботи комбінованих систем теплопостачання;

2. Удосконалено математичну та фізичну модель теплових процесів в складових елементах системи теплопостачання, досліджено і науково обґрунтовано значення раціональної кількості умовних шарів стратифікації теплоносія в тепловому акумуляторі із врахуванням теплотехнічних та геометричних характеристик зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії в теплову;

3. Уточнено графоаналітичні залежності визначення потенціалу сонячної радіації з врахуванням складової відбитого опромінення на огороження будівель різної орієнтації впродовж року для території України;

4. Розроблено метод комп'ютерного моделювання, який дав змогу в широкому діапазоні описати температурні режими роботи зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії в теплову;

5. Визначено параметри ефективного використання теплової енергії отриманої зовнішніми огороженнями-перетворювачами сонячної енергії у теплову в елементах систем сонячного теплопостачання із врахуванням їх конструктивних особливостей та режимів роботи під час комплексу експериментальних досліджень;

6. Експериментально досліджено теплові характеристики зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії у теплову та систем сонячного теплопостачання на їх основі в цілому, за впливу визначальних метеопараметрів, таких, як інтенсивність сонячної радіації та швидкість вітрового потоку, що дає можливість розраховувати такі системи;

7. Набула подальшого розвитку методологія розрахунку теплових процесів у комбінованих системах теплозабезпечення енергоефективних будівель із врахуванням зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії у теплову.

Практичне значення отриманих результатів

1. Запропоновано конструкції зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії (геліостіни, геліопокриття, геліовікна) і створено методики розрахунку їхніх теплових характеристик.

2. Розроблено інженерний метод розрахунку систем теплозабезпечення енергоефективних будівель, який враховує теплотехнічні характеристики запропонованих огорожень, умови експлуатації та вплив зовнішніх факторів і характерних кліматичних особливостей районів України.

3. Підтверджено ефективність застосування запропонованих технічних рішень, зокрема встановлено, що ККД геліовікна становить - 0,39 – 0,47, відповідно геліостіни - 0,51 – 0,67 та геліопокриття - 0,57 – 0,71. Розроблена комбінована система теплопостачання та конструкції огорожень-перетворювачів сонячної енергії у теплову захищені двома патентами України на корисну модель та двома – на винахід.

4. Практичне значення дисертаційної роботи підтверджується також результатами їх впровадження на ряді підприємств: "Гіз-контакт" (м. Харків); ТОВ "БМ КОМФОРТ" (м. Львів); ТОВ "ОЛФОМЕД" (м. Київ); ПП "АРХ.МЕД.ПРОЕКТ" (м. Дніпро).

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації

Результати досліджень автора пройшли апробацію і дістали позитивну оцінку на Міжнародних науково-практичних конференціях, матеріали дисертації достатньо повно опубліковані у 43 друкованих роботах у тому числі: 1 монографія, 25 наукових публікацій у фахових виданнях України, 4 статті, що індексуються у Scopus, 3 – у Index Copernicus та 5 у наукових періодичних міжнародних виданнях, отримано 2 патенти України на корисну модель та 2 патенти на винахід.

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

Аналіз основного змісту роботи

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність роботи, особистий внесок автора, відомості про апробацію досліджень та публікації.

У першому розділі описано конструкції сучасних комбінованих систем сонячного теплопостачання, здійснено аналіз світових тенденцій енергоресурсозбереження. Виконано аналіз літературних даних який вказує на перспективність впровадження систем енергопостачання з геліоколекторами, що інтегровані в зовнішні огороження, показано, що широко розвиваються повітряні енергоефективні системи (фасади, що вентилюються). Водяні системи не отримали широкого розповсюдження.

На основі аналітичного вивчення літературних джерел автором сформульовано основні завдання і напрямки досліджень: удосконалення та дослідження зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії у теплову та створенні за результатами досліджень відповідних методів розрахунку їхніх теплотехнічних характеристик.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження, виконано аналіз потенціалу сонячної енергії, що надходить на територію України, складено загальний тепловий баланс надходження сонячної енергії та проведено моделювання теплових процесів в елементах системи теплопостачання із ЗОПСЕТ.

Встановлено, що в опалювальний період сумарна сонячна енергія є на 60% вищою від зимового період і достатньою для часткового зменшення використання традиційних джерел енергії. Крім того, середньомісячна розсіяна сонячна радіація в опалювальний період, яка надходить на горизонтально-орієнтовану поверхню, є більшою ніж пряма в 1,2 – 1,6 рази.

Здійснено аналіз потенціалу сонячної енергії, що надходить на територію України. Оцінено надходження сонячної енергії на горизонтальну поверхню посезонно, та в опалювальний період. На сьогодні отримано карти сонячної радіації. В роботі побудовано карту сонячної енергії на вертикальну поверхню. При південній орієнтації потенціал сонячної радіації складає 550-950 кВт·год/м². Запропоновано концепції геліопокриття, геліостінки, геліовікна зовнішніх огорожень – перетворювачів сонячної енергії. На основі проведених теоретичних досліджень запропоновано конструкції зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії у теплову, зокрема геліопокриття, геліостіни та геліовікна.

Проаналізовано вплив швидкості та напрямку вітрового потоку на коефіцієнт тепловіддачі геліопокриття та встановлено, що значення коефіцієнта тепловіддачі геліопокриття у випадку наявності прозорого покриття змінюється від 4 до 12,5 Вт/(м² · °С) за зміни швидкості потоку повітря від 1 до 6 м/с.

Виконано моделювання роботи геліостіни, геліовікна та геліопокриття для встановлення ефективності їх застосування. Визначено, що середній ККД геліопокриття становить 0,60, геліостіни – 0,55, а геліовікна – 0,41, це вказує на ефективність та перспективність застосування даних систем.

У роботі представлено математичну модель розподілу температур теплоносія в тепловому акумуляторі для умовних шарів стратифікації з врахуванням теплових характеристик ЗОПСЕТ.

У третьому розділі наведено планування експерименту, опис установок для проведення експериментальних досліджень геліопокриття, геліостіни та геліовікна.

Отримано залежність коефіцієнту ефективності геліопокриття від кутів надходження та інтенсивності потоку випромінювання. Досліджено, що максимальний вплив на коефіцієнт теплової ефективності геліопокриття з прозорим покриттям з трубками циркуляції теплоносія, що містяться над теплопоглиначем має інтенсивність потоку випромінювання, а кут нахилу геліопокриття та азимутальний кут повороту геліопокриття впливають менше. Також отримано взаємозв'язок коефіцієнта теплової ефективності геліопокриття від швидкості потоку повітря і його напрямку та інтенсивності потоку випромінювання.

Експериментально встановлено теплова ефективність геліопокриття залежно від його конструктивних особливостей. Визначено, що ефективність геліопокриття без прозорого покриття за зміни кутів падіння від 90° до 30° зменшується на 67%. За результатами досліджень побудовано номограму.

Виконано дослідження геліопокриття з прозорим покриттям. Показано, що ефективність геліопокриття з додатковим заскленням за зміни кутів падіння зменшується на 32%.

Експериментально визначено вплив швидкості на напрямку повітряного потоку та інтенсивності випромінювання на енергетичну ефективність геліопокриття. Показано, що ефективність геліопокриття з прозорим покриттям знижується на 35% – 45% при збільшенні швидкості повітря (для прозорого і не прозорого покриття).

Експериментально визначено ККД геліопокриття в системі теплопостачання.

Показано, що ефективність геліопокриття у механічній системі сонячного теплопостачання за зміни кутів надання зменшується на 40%. При зміні швидкості повітряного потоку на 2 м/с до 6 м/с та напрямку потоку ефективність геліопокриття знижується на 21%.

Експериментальне дослідження ефективності виконані також для геліостінки. Визначено вплив параметрів: діаметру трубок контуру циркуляції, відстань між трубками, товщина над трубками, втрати теплоносія. Дослідження проведені при різних режимах руху теплоносія і в режимі протоку та режимі гравітації. Досліджувались геліостіна із змієвиковим теплопоглиначем та теплопоглиначем з гребінкою. Показано, що ККД геліостінки змінюється від 67% до 88%, а середнє значення становить 74%.

Визначена теплова ефективність геліовікна із змієвиком, змієвиком та жалюзями, геліовікна з теплообмінником без жалюзів.

Четвертий розділ присвячений дослідженню теплотехнічних характеристик ЗОПСЕТ в натурних умовах та проведенню ексергетичного аналізу геліовікна, геліостіни та геліовікна. Досліджено зміну інтенсивності сонячного випромінювання впродовж дня за різними орієнтаціями горизонту та встановлено, що на південно – східну орієнтацію надходить в два рази більше сонячної енергії ніж на північно – західну. Виконано співставлення теплових характеристик в лабораторних та реальних умовах.

Крім того, отримано аналітичні залежності ККД ЗОПСЕТ, що необхідні для визначення теплових характеристик системи сонячного теплопостачання та викорис-

тані у методиці їх інженерного розрахунку, а також числовому методі розрахунку системи сонячного теплопостачання із ЗОПСЕТ.

П'ятий розділ присвячений напрямкам практичного застосування енергоактивних систем теплопостачання будівель, запропоновано комбіновану систему теплопостачання, представлено комплексний метод розрахунку та методику інтенсивного розрахунку теплових характеристик.

Автором запропоновано енергоощадну комбіновану систему теплопостачання енергоефективних будівель на основі ЗОПСЕТ.

Розроблено комп'ютерну програму для розрахунку параметрів комбінованої системи теплопостачання із ЗОПСЕТ, а також створено спрощену методику їх інженерного розрахунку у вигляді номограми, що дає змогу розрахувати річну кількість тепла залежно від площі геліовікна, геліостіни та геліопокриття.

В шостому розділі наведено техніко-економічний аналіз ефективності систем теплопостачання на основі розроблених зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії в теплову.

Розглянуто різні конструкції геліопокриття, геліостінки та геліовікна, визначено термін їх окупності на основі дисконтованого грошового потоку.

Виконано розрахунок терміну окупності системи теплопостачання із ЗОПСЕТ та встановлено, що він на 30% нижчий у порівнянні з традиційними геліоколекторами.

Отримано залежності чистої вартості геліовікна, геліостіни та геліопокриття від зміни їх площі та затрат на амортизацію.

Визначено екологічний ефект від використання систем теплопостачання із ЗОПСЕТ та встановлено зменшення викидів CO₂ на рівні 250 тис. т/рік.

Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладання

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 434 найменувань та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 378 сторінках, а також вона містить 334 рисунки та 15 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.

Загальні зауваження по роботі

1. Як впливає додаткове розміщення «геліостіни» або «геліовікна» на термічний опір огорожувальних конструкцій, будівель.

2. Яка частка сонячного джерела використовується в системах ГВС або опалення? В літній або зимовий періоди площа геліопокриття обмежена?

3. Яка площа геліостіни є економічно ефективною з урахуванням архітектурних вимог та обмежень.

4. Розмірності витрати теплоносія [кг/(хв·м²)] та товщини теплопоглинача (см) не є системними (рис 20 – 21 автореферату).

5. Надання відомих даних по сонячній активності не є науковим результатом. (п.3. «Наукова новизна»).

6. В якому разі більш ефективна область застосування геліопокриття висотних або малоповерхових будівель?

7. Які перспективи впровадження геліопокриття для нових висотних будівель та для реконструкції будівель, які експлуатуються?

8. Недостатньо аналізу і порівняння з відомими роботами по розробці активних сонячних систем з використанням зовнішніх огорожень-перетворювачів сонячної енергії в теплову.

9. Використання методики визначення ексергетичної ефективності можливо для стаціонарних режимів, тому не ясно чому при зменшенні ексергії теплоносія на вході в геліоколектор після 15.00 годин ексергетична ефективність зростає (рис. 28 та 29 автореферату)?

Загальні висновки

На основі розгляду дисертації, автореферату і наукових публікацій здобувача вважаю, що представлена до захисту дисертаційна робота виконана на актуальну тему, по постановці задач, методам їх рішення, отриманим результатам є закінченим науковим дослідженням, яке виконано у відповідності з науковими програмами і планами. Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.23.03. Представлені вище зауваження в цілому не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота містить нові, науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують важливу науково-технічну проблему підвищення ефективності функціонування комбінованої системи теплопостачання з геліопокрівлею, їх практичне впровадження дозволить підвищити ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів України. Створена методика щодо дослідження режимних параметрів і конфігурації систем теплопостачання та узагальнена математична модель системи теплопостачання дає можливість досліджувати ефективність систем енергозабезпечення різної конфігурації при варіюванні їх параметрів, структури і споживачів теплової енергії. Це дозволяє використати отримані результати при проектуванні і оптимізації ефективних систем теплопостачання різного цільового призначення. Результати досліджень можуть бути також використані в технічних університетах при підготовці інженерних кадрів з теплоенергетичних спеціальностей.

Дисертаційна робота і автореферат написані відповідно вимогам до науково-технічних текстів, висновки та рекомендації відповідають змісту роботи. Текст автореферату відповідає основним результатам досліджень, що представлені в дисертаційній роботі. Результати досліджень повністю опубліковані в наукових виданнях, пройшли достатню апробацію на науково-технічних конференціях та семінарах.

На підставі розгляду дисертації і автореферату вважаю, що дисертаційна робота Шаповала Степана Петровича на тему «Системи теплозабезпечення енерго-ефективних будівель на основі зовнішніх огорожень-перетворювачів

сонячної енергії у теплому» за своїм змістом повністю задовольняє вимогам пп. 11, 12 і 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013, щодо докторських дисертацій, а її автор – Шаповал С.П. заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор

кафедри теплогазопостачання,

вентиляції та використання теплових

вторинних енергоресурсів

Харківського національного університету

будівництва та архітектури

А. РЕДЬКО

Підпис д.т.н., проф. Редько А. засвідчую



Учений секретар ХНУБА

/ І. БАБІВСЬКА /