

## **ВІДГУК**

### **офіційного опонента на дисертаційну роботу**

#### **Пасічника Павла Олександровича**

«Система теплопостачання з комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

#### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи.**

В умовах енергоощадності створення енергоефективних систем теплопостачання із застосуванням технологій використання геліотехнічного обладнання із сучасними текстильними абсорберами – є вельми актуальним науково-практичним завданням.

В умовах енергоощадності при використанні геліотехніки слід звертати увагу на коефіцієнт використання сонячної енергії; можливості розмірнання систем і затоплення обладнання; на складність управління системою та антикорозійну стійкість. Повітряні геліосистеми володіють суттєвими перевагами за цими аспектами по відношенню до рідинних. Позитивних результатів можна досягти використовуючи повітря, підігрите за рахунок сонячної енергії, для технологічних процесів в сільському господарстві.

Застосування нових матеріалів для виготовлення абсорберів сонячної теплової енергії, що значно розширене можливістю застосування насадкових та пористо-капілярних матеріалів на відміну від рідинних геліоколекторів дає можливість розробляти та вдосконалювати існуюче геліотехнічне обладнання.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до Державної програми «Екологічно чиста енергетика та енергозберігаючі технології», а також безпосередньо пов'язуючи її з планом держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури України, яка виконувалася на замовлення Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації 0115U003825).

## **2. Наукова новизна.**

Наукова новизна дисертації полягає у науковому обґрунтуванні можливості застосування комбінованих сонячно-електричних повітропідігрівачів для систем теплопостачання.

Основні наукові результати полягають у наступному:

1. Обґрунтовано і удосконалено фізичну модель теплообмінних процесів у комбінованому сонячно-електричному повітропідігрівачі та на її основі побудовано математичну модель перетворення сонячної та електричної енергії у теплову в абсорбері.

2. Отримано критеріальне рівняння коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від абсорбера з вуглеграфітового трикотажного полотна до повітря, що його омиває.

3. Встановлено коефіцієнт гідравлічного тертя при омиванні повітрям вуглеграфітового трикотажного полотна, яке використовується у якості абсорбера в комбінованому сонячно-електричному повітропідігрівачі.

## **3. Обґрунтованість і достовірність наукових висновків.**

Отримані наукові результати, що сформульовані в дисертації, забезпечені використанням сучасних методів фізичного і математичного моделювання теплообмінних процесів у комбінованому сонячно-електричному повітропідігрівачі із використанням чисельних і аналітичних методів розв'язку окремих задач та використання розроблених спеціальних методик, які підтверджуються узгодженням експериментальних досліджень. Графічні залежності є результатом математичної обробки отриманих даних експериментальних досліджень теплообмінних процесів в комбінованому сонячно-електричному повітропідігрівачі.

Одержані результати наукових досліджень не суперечать сучасним уявленням в галузі теплопостачання.

Вірогідність практичної частини підтверджена позитивним досвідом впровадження під час розроблення робочих проектів житлового комплексу із використанням сонячно-електричного повітропідігрівача для системи загальнообмінної вентиляції.

Всі розділи дисертаційної роботи змістовно підпорядковані меті дослідження, логічно взаємопов'язані.

Дисертація та автореферат цілком відповідають паспорту спеціальності 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

#### **4. Практична цінність роботи.**

Розробки, які запропоновані в дисертаційній роботі, використовувались при створенні гнучких для трансформації енергоефективних систем теплопостачання із використанням енергії сонця та вітру для різних умов експлуатації.

Запропоновано комбінований сонячно-електричний повітропідігрівач, що поєднує в собі сонячний тепловий колектор та додаткове джерело теплоти з абсорбером, який виконаний з вуглеграфітового трикотажного полотна. Розроблено типоряд пристроїв.

Результати роботи впровадженні у ТОВ «Ірпінь-теплосервіс» та ТОВ «Парк таун» Київської області. Встановлено, що отримані результати можуть бути використані при постійній експлуатації вказаних систем теплопостачання підприємств з економією електроенергії на нагрівання припливного повітря, яка становить 8 % на рік.

#### **5. Повнота викладення здобувачем основних результатів.**

Матеріали дисертаційної роботи повністю викладено у **семи** наукових працях, в тому числі, у **п'яти** фахових виданнях та **одному** міжнародному виданні, одержано **один** патент України на корисну модель.

Персональний внесок дисертанта в роботі, опубліковано в співавторстві, відображено в авторефераті.

## **6. Оцінка мови, стиль та оформлення дисертації й автореферату.**

Дисертаційна робота має вступ, **п'ять** розділів, загальні висновки, список використаних джерел із **155** найменувань та **трьох** додатків. Основна частина дисертації викладена на **137** сторінках, має **16** таблиць та **57** ілюстрацій. Загальний обсяг роботи становить **157** сторінок.

Застосована в роботі наукова термінологія є загально визнаною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

## **7. Відповідність тексту автореферату і дисертації.**

Текст автореферату відповідає структурі, змісту та основним положенням, наведеним в дисертації.

## **8. Аналіз основного змісту роботи.**

**У вступі** наділялась увага аналізу стану проблеми розвитку технологій для використання нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії, зокрема, вирішенню наукових завдань, які стосуються розробок та вдосконалення методів застосування повітря в якості теплоносія для сонячних систем теплопостачання. Обґрунтовано актуальність і важливість роботи, а також сформульовано завдання та мету досліджень, виражено об'єкт, предмет та методи досліджень. Наведено загальну характеристику роботи, відмічено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

**У першому розділі** значна увага наділялась аналізу літературних джерел, які мали відношення до завдань використання нетрадиційних джерел енергії. Особлива зацікавленість стосувалась застосування геліосистем теплопостачання.

Перспективним напрямом використання теплової сонячної енергії є впровадження сонячно-електричних повітропідігрівачів.

В даний час застосування таких технічних комплексів не набуло достатнього поширення, насамперед через відсутність спеціальних досліджень процесів теплопереносу та методик інженерного розрахунку систем сонячного теплопостачання.

Це все спонукало до створення методологічної бази для створення систем теплопостачання з комбінованими сонячними підігрівачами, які ґрунтуються на сонячних теплових колекторах та додаткових джерелах теплоти, абсорберах які виконуються із вуглеграфітового трикотажного полотна.

Виходячи із сучасного стану проблеми, що розглядалася, сформульовано основні завдання та напрями досліджень.

**У другому розділі** наведені математичні та удосконалені фізичні моделі процесів теплообміну в повітропідігрівачі.

З метою ефективного використання системи теплопостачання згідно розробленої схеми запропоновано до застосування комбінований сонячно-електричний повітропідігрівач із абсорбером, який відповідає вимогам сонячних теплових колекторів та електронагрівачів.

Удосконалено фізичну модель теплообмінних процесів в повітронагрівачі. Запропоновано принципову конструкцію повітропідігрівача, яка захищена патентом на корисну модель.

Особливість пристрою полягає у наявності капілярно-пористої структури та нерівності укладки вуглеграфітового трикотажного полотна, що сприяє підвищенню поглинаючої здатності абсорбера, забезпечуючи природну

селективність. Електричний струм, який проходить через вмонтований провідник на абсорбер за рахунок електричного опору полотна, перетворюється в теплову енергію, тим самим здійснюється додаткове нагрівання абсорбера. Показано, як відбуваються втрати теплоти комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача через світлопрозорий матеріал та теплову ізоляцію і корпус в навколишнє середовище.

Для визначення теплотехнічних характеристик комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача розроблено математичну модель, яка базувалась на рівняннях балансу енергії складових елементів колектора сонячної енергії – поглинаючого елемента, застелення, теплової ізоляції та теплоносія повітря. Встановлено залежності між основними тепловими характеристиками пристрою, що дало можливість вибору його раціональної конструкції та режиму роботи. Розраховувались теплові характеристики повітропідігрівача, при цьому визначались оптимальні геометричні розміри абсорбера, зокрема, спосіб укладки трикотажного полотна та оптимальна витрата повітря. Критеріями оптимальності приймалися максимальна температура повітря після повітропідігрівача та його ККД. Отримано твердження, що оптимальна витрата повітря через повітропідігрівач складає близько 60 кг/год або 0,038 кг/(с·м<sup>2</sup>). Зі збільшенням витрати спостерігається зростання ККД. Розглядалися аеродинамічні характеристики повітропідігрівача з абсорбером із трикотажного полотна. Запропоновані критеріальні рівняння для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя при проходженні повітря в каналі сонячного колектора показали погану збіжність, що спонукало до експериментального визначення коефіцієнту гідравлічного тертя при проходженні повітря через канал, утворений гладкими поверхнями світлопрозорого та світловідбиваючого покриттів і вуглеграфітового трикотажного полотна, що вмонтовані в каналі.

Виходячи із аналізу ефективності застосування електронагрівачів, які виготовлені із вуглеграфітових волокон, сформульовано завдання для

встановлення визначальної величини конкретного типу текстильного матеріалу – P/S Ом/м.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень теплових та аеродинамічних характеристик комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача, а також методики їх проведення.

Отримані залежності поглинаючої здатності абсорбера від способу укладки вуглеграфітового трикотажного полотна. Встановлено, що при відстаннях між піками гофри менше ніж 20 мм, поглинаюча здатність абсорбера майже не змінюється, натомість очевидно, що збільшується витрата матеріалу та аеродинамічний опір. Визначено оптимальний кут розкриття гофри –  $\gamma = 90^\circ$ .

Здійснено експериментальні дослідження теплообміну між вуглеграфітовим трикотажним полотном та повітрям, що його омиває.

Визначено похибки вимірювань шляхом розрахунку похибок паралельних дослідів, а також розроблено процедуру вибору кількості і умов проведення дослідів. Факторами впливу на параметр оптимізації – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією – були: швидкість повітря  $V$ , м/с; підведена потужність  $P$ , Вт; площа абсорбера  $F_{\text{адс}}$ , м<sup>2</sup>. На підставі аналізу коефіцієнтів отриманого рівняння регресії зроблено висновок, що на поведінку функції відгуки однаково впливають усі три фактори. Отримані графічні залежності коефіцієнту тепловіддачі від абсорбера із вуглеграфітового трикотажного полотна до повітря, що його омиває, та від кута розкриття гофри. Також отримано залежність степені прогрівання повітря та  $Nu = f(Re)$ , при різному напрямі укладки.

Представлені результати експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик повітропідігрівача з абсорбером із вуглеграфітового трикотажного полотна для різних способів його укладання. Отримані критеріальні рівняння для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя повітря у випадку обдуву полотна в плоскому каналі при  $1000 > Re > 1200$ ,

$Nu = 32,67 \cdot Re^{-0,677}$ . Було здійснено співставлення отриманих результатів експерименту для гладкого каналу, утвореного світлопрозорим та світловідбиваючим покриттям без укладеного в середині вуглеграфітового трикотажного полотна та за відомими залежностями Блаузіса і Кармана-Нікурадзе. Результати показали добру сходиність.

Отримані результати експериментальних досліджень питомого електричного опору вуглеграфітового трикотажного полотна.

Встановлено величину опору для полотна типу УТП, яка становить 15,07 Ом/м.

**У четвертому розділі** представлена конструкція комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача для промислового виробництва.

Особливістю конструкції є наявність світлопрозорого покриття, виконаного із стільникового полікарбонату товщиною 6 мм, який виконує роль верхнього шару теплоізоляції приладу; корпус – з протиударного АБС-пластику; теплова ізоляція – з мінеральної вати (густина 70-100 кг/м<sup>3</sup>), що значно зменшує вартість, крихкість і масу повітропідігрівача.

Розроблено методику визначення частки теплового навантаження споживача, яке замінюється енергією сонця і вітру. Отримано графічну залежність коефіцієнту заміщення системи тепlopостачання повітропідігрівачем. При цьому враховувалися кліматичні умови і технічні характеристики системи тепlopостачання з комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем.

Одержано узагальнену поліноміальну залежність частки теплового навантаження споживача, що замінюється.

Визначені енергетичні характеристики насадкових акумуляторів тепла і на основі цього отримані вирази для коефіцієнту акумуляції елементів насадки; для енергетичної ефективності насадкових акумуляторів тепла; для оптимальних розмірів елементів насадки при фіксованих швидкостях



теплоносія, при яких забезпечуються максимальні значення енергетичного коефіцієнту; для оптимальних значень висоти шару насадки в залежності від режиму течії теплоносія, таких що забезпечують максимальні значення енергетичного коефіцієнту.

Встановлено вплив вітру на ефективність роботи колектора сонячної енергії.

Запропонований сонячний повітропідігрівач з абсорбером із електропровідної вуглеграфітової тканини дає можливість отримувати електроенергію відразу з вітрогенератора на нагрівач, перетворюючи її в корисну теплову енергію. Для даної ситуації наведено метод інженерного розрахунку вітрогенератора.

Представлено метод інженерного розрахунку основних теплових характеристик кожного елемента системи і системи в цілому, який покладений в основу динамічної моделі із врахуванням принципів та особливостей її структури. Розроблений алгоритм розрахунку системи теплопостачання із комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем запропонований для обчислення за допомогою ЕОМ.

**У п'ятому розділі** здійснено оцінку досконалості запропонованих технологій та технічних рішень щодо використання сонячної та вітрової енергії для отримання тепла. Представлено уточнену модель, яка дозволила визначити ефективність застосування системи теплопостачання з комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем для різних умов експлуатації. Рекомендовано типоряд приладів повітропідігрівачів, а також наведено їх техніко-економічні показники. Виявлено переваги представленої моделі на основі зіставлення техніко-економічних показників розробленого пристрою та відомої моделі сонячного повітряного колектора.

Було підтверджено економічну доцільність впровадження комбінованих сонячно-електричних повітропідігрівачів у якості калориферів припливних

систем вентиляції. Визначено економічний ефект, який складає 4190 грн/рік, а також розраховано простий термін окупності – 2,8 роки.

## **9. Зауваження до дисертації.**

Як зауваження по роботі можна відмітити такі:

1. В дисертаційній роботі слід було б вказати для яких саме споживачів запропоновано систему тепlopостачання з використанням енергії сонця, вітру та навколишнього середовища, а також з комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем.

2. Слід було детальніше обґрунтувати та підтвердити розрахунками вислів, що при гофруванні під кутом розкриття  $90^\circ$  коефіцієнт конвективної тепловіддачі поверхні абсорбера, віднесений до одиниці фронтального укладення, збільшиться в 1.414 рази та вказати на яку величину підвищиться ККД комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача (*стор. 39*).

3. За результатами експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача отримані критеріальні рівняння для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя повітря у випадку обдуву абсорбера у плоскому каналі, а також графічні залежності втрат тиску від витрати повітря через прилад виключно на ділянці 1-2 довжиною  $l = 1030$  мм. Нажаль, при експериментальних дослідженнях не враховані загальні геометричні розміри пристрою.

4. При дослідженні теплових та аеродинамічних характеристик повітропідігрівача слід було більш детально висвітлити повітропроникні та світлопрозорі властивості вуглеграфітового трикотажного полотна, яке використовується в якості абсорбера.

5. В дисертації запропонована конструкція комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача з абсорбером із вуглеграфітового трикотажного полотна, яке нагрівається в результаті прямого пропускання через нього електричного струму, але нажалі відсутня інформація про заходи електробезпеки людей та електрозахисту будівельних конструкцій.

6. В роботі запропоновано підвищення ефективності роботи комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача шляхом застосування вітрогенератора, подаючи «брудну» електроенергію від нього відразу на нагрівач, перетворюючи її в корисну теплову. Нажаль, не вказано ні тип ротора вітрогенератора, ні його аеродинамічні характеристики, що є вельми суттєвим, враховуючи нерівномірність розподілу та нестабільність вітрового потоку на території України.

7. В дисертації викладено загальні положення алгоритму розрахунку системи теплопостачання з комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем, але зміст його основних етапів висвітлено недостатньо.

8. Наведено співставлення графічних залежностей ККД комбінованого сонячно-електричного повітропідігрівача та Jumbosolar від витрати повітря (рис.5.2), але нажалі не вказано яким чином визначався коефіцієнт корисної дії пристроїв.

9. В роботі наявні окремі описки та неточності, наприклад: замість скороченої форми запису розмірності часу «сек» має бути «с» (стор.36); замість терміну «ступіні» слід використовувати – «ступеня» (стор.53); наявне посилання на **рис.4.5**, хоча в роботі він відсутній (стор.119); наявні по тексту русизми та ін.

## **10. Висновок.**

Наведені зауваження та побажання не знижують загального цілком позитивного враження від дисертаційної роботи і можуть бути використані або враховані у подальшій науковій діяльності автора.

Дисертаційна робота Пасічника Павла Олександровича «Система теплопостачання з комбінованим сонячно-електричним повітропідігрівачем» є завершеною науковою роботою, в якій на підставі виконаних автором досліджень отримано нові результати, що вирішують актуальне науково-технічне завдання в галузі теплопостачання.

Підсумовуючи вищенаведене, слід зазначити, що за актуальністю, науковою новизною, глибиною розробки наукових рішень, практичною значимістю, обґрунтованістю і достовірністю висновків та рекомендацій дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор Пасічник Павло Олександрович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент –

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри «Теплогазопостачання  
і вентиляція» Національного університету  
«Львівська політехніка»

Желих В.М.

Підпис доктора технічних наук,  
професора Желиха Василя Михайловича засвідчую:

Вчений секретар ради Національного університету.

«Львівська політехніка»



Брилинський Р.Б.