

## ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Баласаняна Геннадія Альбертовича  
щодо дисертаційної роботи

**Пони Остапа Мироновича** на тему „Підвищення ефективності комбінованої системи тепlopостачання з геліопокрівлею”, що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

### *Актуальність теми дисертаційної роботи*

Виробництво різних видів енергії в сучасних умовах здійснюється на основі широкого використання органічних палив і пов'язано з інтенсивним енергообміном з довкіллям. 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.

Найбільш потужним джерелом енергії для людства є сонячна енергія, а найпростішим та ефективним способом використання енергії Сонця є перетворення її в теплову енергію, для чого використовують сонячні колектори.

На даний час розроблено та використовується значна кількість сонячних колекторів, переважна більшість яких виготовляється у формі плоских конструкцій. Істотним недоліком всіх плоских колекторів є висока вартість і трудомісткість виготовлення, а великорозмірна плоска поверхня прямокутної форми сонячних колекторів призводить до труднощів архітектурної та технологічної прив'язки необхідної кількості такого класу теплоприймачів безпосередньо на спорудах.

Широкі перспективи мають розроблення інженерно-технологічних рішень, що забезпечують можливість поєднання конструктивних і архітектурних функцій окремих елементів будівель та споруд з одночасним поглинанням і перетворення сонячної енергії в теплову при зниженні матеріальних і трудових витрат.

Отже, дисертаційна робота Пони О.М. спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми - розроблення геліопокрівлі, що поєднує функції сонячного колектора та металевої гофрованої частини скатного даху та може бути застосована як в новобудовах, так і на існуючих покрівлях, та інтегруватися в традиційні комбіновані системи сонячного тепlopостачання.

## *Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами*

Дисертаційна робота Пони Остапа Мироновича пов'язана з науково-дослідними роботами, які виконуються на кафедрі «Теплоенергетика, теплові та атомні електричні станції» Національного університету «Львівська політехніка», відповідає Закону України від 1 липня 1994 року №74/94-ВР «Про енергозбереження» і є складовою частиною господарських договорів № 0110U007105, № 0115U004698.

## *Структура за зміст дисертаційної роботи*

Дисертаційна робота Пони О.М. відповідає наступним пунктам паспорта спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика, а саме:

- створення нових, удосконалення наявних методів аналізу, розрахунку й інтенсифікації тепломасообміну в одно- та багатозфазних середовищах, у теплових і гідродинамічних процесах в установках для виробництва й використання теплової енергії, технологічних пристроях і апаратах;
- дослідження конвективного теплообміну й течії в однофазних середовищах. Розроблення теоретичних і експериментальних методів розрахунку процесів перенесення теплоти з потоками рідини й газу в елементах енергетичних машин і технологічних пристроїв;
- створення нових ефективних, удосконалення наявних теплотехнічних апаратів та установок, систем охолодження й теплового захисту елементів промислових енергетичних установок, тепломасообмінного обладнання.

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, в яких ґрунтовно і послідовно викладено суть вирішення поставлених в роботі завдань та висновків.

У **вступі** дано загальну характеристику дисертаційної роботи, наведено актуальність теми роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок автора роботи, відомості про публікації та апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** виконано аналіз потенціалу сонячної енергетики та існуючих систем сонячного теплопостачання. Проаналізовано переваги та недоліки різних конструкцій сонячних колекторів, методи їх досліджень. Подано аналіз основних напрямків підвищення ефективності сонячних колекторів та систем сонячного теплопостачання в цілому.

Автор пропонує перспективний шлях підвищення ефективності геліо-систем - використання геліопокрівлі, як варіанту сонячного колектора, в якому роль теплопоглинача виконує профільно гофроване металеве покриття даху будівлі.

На основі аналітичного вивчення літературних джерел автором сформульовано основні завдання і напрямки досліджень: удосконалення та дослідження сонячних колекторів, суміщених із покрівлею будівлі.

У **другому розділі** автором розроблено математичну модель роботи геліопокрівлі з гофрованим теплопоглиначем у системі сонячного теплопостачання. Виконано теоретичні дослідження процесу тепловіддачі від геліопокрівлі з прозорим покриттям та без нього при різній швидкості та напрямку повітряного потоку.

Отримані результати теоретичних досліджень стали підставою щодо необхідності проведення системних експериментальних досліджень щодо впливу вітру на енергетичну ефективність геліопокрівлі.

У **третьому розділі** подано опис експериментальних установок для проведення лабораторних та натурних експериментальних досліджень геліопокрівлі з прозорим покриттям та без нього, з верхнім та нижнім розташуванням трубок для теплоносія у системах сонячного теплопостачання. Автором проведено планування повного факторного дворівневого експерименту, описано процес проведення замірів та вимірювальну апаратуру. Застосована коректна математична обробка отриманих результатів та представлено їх у вигляді графіків, номограм та аналітичних залежностей. Дослідження спрямовані на виявлення впливу визначальних факторів на ефективність геліопокрівлі різних конструкцій.

Достовірність результатів експериментальних досліджень обґрунтовано перевіркою адекватності математичної моделі за відповідними критеріями Стюдента, Фішера та Кохрена при границі довірчого інтервалу 0,95.

У **четвертому розділі** автором подано матеріали про практичне застосування результатів роботи, основні напрямки можливого застосування та техніко-економічне обґрунтування використання різних ССТ із геліопокрівлею.

Запропоновано схемні конструктивні рішення будови і використання геліопокрівлі для комбінованих ССТ. Подано опис конструкцій та принципів роботи геліопокрівлі при різних способах розташування трубок контуру циркуляції теплоносія для гравітаційної та механічної ССТ. Розроблені технічні рішення захищені патентом України на винахід та трьома патентами України на корисну модель.

Розроблено методику розрахунку параметрів ССТ з геліопокрівлею, що враховує значення коефіцієнтів ефективності різних конструкцій геліопокрівлі, які визначаються за відповідними емпіричними залежностями, що отримано експериментально.

Автором встановлено, що питомі приведені затрати системи сонячного теплопостачання з геліопокрівлею в середньому на 18 % менші, ніж затрати на систему теплопостачання з використанням сонячних колекторів. Термін окупності системи сонячного теплопостачання з геліопокрівлею дорівнює близько 6 років.

## ***Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, що є сформульованими у дисертації***

Здобувачем проаналізовано потенціал сонячної енергії для систем теплопостачання, активні та пасивні системи сонячного теплопостачання, виконано аналіз поєднання покрівлі та сонячного колектора. Обґрунтовано необхідність проведення досліджень в напрямку підвищення енергоефективності ССТ, сформульовано мету роботи. На основі розгляду і аналізу сучасних досягнень науки і стану використання сонячної енергії для систем теплопостачання здобувач обрав перспективний шлях розробки енергозберігаючих геліо-технологій для забезпечення потреб промислового і комунального секторів економіки.

Обґрунтованість положень та висновків дисертації пов'язано з тим, що методологічну основу проведених автором досліджень складає системний підхід до моделювання теплових процесів в елементах ССТ і режимів їх функціонування, використання відпрацьованого математичного апарату і алгоритмів багатofакторної оптимізації систем. В основі математичних моделей лежать рівняння енергетичного, матеріального балансу і теплообміну різних робочих елементів систем енергопостачання малої потужності.

При виконанні експериментальних досліджень здобувачем успішно використані статистичні методи обробки дослідних даних, що дозволило провести узагальнення отриманих результатів.

Узагальнення результатів, висновки по роботі зроблено на підставі детального аналізу отриманих дисертантом теоретичних та експериментальних даних, що послідовно викладено в розділах 2-4 дисертаційної роботи. Результати досліджень, які приведені в дисертації, об'єктивно відображають основні закономірності теплофізичних процесів в геліюпокрівлі з урахуванням їх теплової взаємодії та технологічних обмежень.

Як свідчать результати досліджень, вони можуть бути впроваджені для ефективного енергозабезпечення різних груп споживачів теплової енергії. Цей факт відзначає запропоновані здобувачем рішення від традиційних схем ССТ.

Вважаю, що по напрямку досліджень та змісту отриманих результатів дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. Зміст автореферату і основні положення дисертації є ідентичними.

### ***Наукова новизна та обґрунтованість дисертаційного дослідження***

Наукова новизна та обґрунтованість дисертаційного дослідження Пони О.М. полягає в наступному.

**За результатами моделювання роботи та експериментальними дослідженнями ССТ з геліюпокрівлею отримала подальший розвиток теорія**

**щодо розроблення ефективних способів перетворення сонячної енергії в теплову за рахунок теплопоглиначів, які є конструктивними елементами будівель.** Цей пункт наукової новизни ґрунтовно викладено в п.п. 2.1-2.2 у другому розділі, де автором розроблено коректну математичну модель теплових процесів геліопокрівлі та визначено вплив вітру на енергетичну ефективність запропонованої конструкції.

**Встановлено взаємозв'язок температури нагрівання теплоносія в процесі опромінення теплосприймальної металеві поверхні геліопокрівлі за зміни інтенсивності теплового потоку та різної швидкості повітряного потоку, що дає змогу визначити середню теплову потужність ССТ з геліопокрівлею впродовж періоду сонячного опромінення.** Цей пункт наукової новизни ґрунтовно переплітається з попереднім та є його подальшим розвитком на підставі експериментальних досліджень, що виконано у розділі 3 дисертаційної роботи. Автор на підставі ємних експериментальних досліджень з застосуванням теорії планування експерименту довів ефективність запропонованих їм конструктивних рішень щодо ССТ з геліопокрівлею та підтвердив адекватність математичної моделі, розробленої у розділі 2.

**Вперше отримано графічні та аналітичні залежності оцінки ефективності комбінованої з геліопокрівлею ССТ від кутів падіння та інтенсивності теплового потоку, швидкості та напрямку вітру для інженерного розрахунку термоаккумуляційних властивостей геліосистеми.** Цей пункт наукової новизни ґрунтовно викладено у третьому розділі, де на підставі експериментально отриманих даних та їх коректної статистичної обробки автором отримано графічні та аналітичні залежності оцінки ефективності комбінованої з геліопокрівлею системи теплопостачання, які будуть корисні при розрахунках і проектуванні запропонованих систем.

**Теоретично та експериментально обґрунтовано можливість застосування геліопокрівлі з профільно-гофрованим теплопоглиначем в ССТ, що зменшує капітальні затрати на такі системи.** Цей пункт наукової новизни ґрунтовно викладено у розділі 4 дисертаційної роботи (п.п. 4.4 - 4.5), де автором наведено техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування геліопокрівлі та основні техніко-економічних показників геліопокрівлі та сонячних колекторів.

### ***Практична цінність отриманих в дисертації результатів***

Практична цінність отриманих дисертантом результатів полягає у наступному:

1) На підставі узагальнення експериментальних даних та теоретичних залежностей підтверджено можливість та ефективність застосування геліопокрівлі, суміщеної із гофрованим покриттям будівель, що забезпечує зниження вартості отримуваної теплової енергії в ССТ. Такі системи можуть бути використані для вирішення задач впровадження альтернативних джерел енергії як додаткові ефективні джерела тепла при проектуванні дахів як новобудов, так і реконструкції існуючих.

2) Результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничому цеху НВ ТзОВ «Кокер» у системі комбінованого теплопостачання в технології виробництва керамічних виробів.

3) Результати дисертаційної роботи застосовано у навчальному процесі під час викладання дисциплін: «Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії», «Системи теплопостачання та оптимізація їх режимів», «Джерела та системи генерації енергії» (для підготовки бакалаврів спеціальності 144 "Теплоенергетика", для магістрів за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», а також бакалаврів спеціальності 143 «Атомна енергетика»), та при виконанні кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів.

Впровадження результатів дисертації у виробництво підтверджено відповідними актами які наведено в додатках до дисертаційної роботи та захищено патентом України на винахід (№ 111910) та 3 патентами України на корисну модель (№ 84945, № 92010, № 92009).

### ***Апробація роботи***

Дисертаційна робота Пони О.М. апробована на 14 наукових конференціях, серед яких 11 міжнародних та 3 всеукраїнських наукових конференцій. Основні наукові положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідались дисертантом на конференціях, про що можна зробити висновок із публікацій автора.

### ***Повнота викладу результатів в опублікованих працях***

За темою дисертаційної роботи Пони О.М. опубліковано 26 наукових праць (з яких 3 публікації у виданнях, що включені до наукометричної бази даних): 11 статей в науково-фахових виданнях України (три праці одноосібні), 7 публікацій у матеріалах і тезах доповідей наукових конференцій. Отримано патент України на винахід та 3 патенти України на корисну модель. Основні результати досліджень знайшли своє відображення у наукових працях.

### ***Недоліки дисертації та автореферату***

Під час рецензування дисертаційної роботи та автореферату виявлено наступні зауваження та недоліки:

1. Зауваження щодо структури дисертації. Виходячи із сформульованих задач дослідження вважаю, що було б доцільно перший розділ дисертації, який присвячено викладанню матеріалів, що стосуються обґрунтуванню вибору напрямку досліджень та аналізу сучасних систем сонячного теплопостачання, зменшити за обсягом. Він складає майже 35 сторінок, автор дуже докладно і всебічно аналізує ССТ, але така повнота аналізу більш доцільна при обґрунтуванні вибору напрямку досліджень для докторської дисертації.

Другий розділ дисертації, в якому автор викладає теоретичні дослідження комбінованої ССТ з геліопокрівлею, навпаки, занадто лаконічний (всього 14 сторінок). Фактично, автор у розділі теоретично досліджує тільки вплив вітру на ефективність геліопокрівлі. Але ж експериментальні дослідження у третьому розділі охоплюють значно більший обсяг питань. Було б доцільно і у другому розділі провести теоретичні дослідження з них. Це значно поліпшило б методичні аспекти викладання матеріалів стосовно розробки моделей, розрахунку параметрів і їх впливу на ефективність ССТ.

2. У третьому розділі автор у кожному пункті однаково викладає методику планування експерименту, потім проводить розрахунки з опрацювання результатів дослідження та наводить номограми з отриманих залежностей. Це стосуються майже 5-ти пунктів (3.1.1 – 3.1.5) розділу при різних конструктивних конфігураціях ССТ. Вважаю, що доцільно було б однократно викласти методику експериментальних досліджень для однієї конфігурації та викласти результати для інших, а усі докладні розрахунки винести у додатки до дисертації.

3. Зауваження щодо коректності розробленої математичної моделі ССТ.

3.1. У виразу (2.1, стор. 68) автор складає енергетичний баланс системи, але при цьому складає різні за природою показники – тепловий потік  $Q_U$ ,  $Q_L$  що вимірюються у Вт з кількістю тепла, закумульованого баком-акумулятором,  $Q_{ак}$ , що (як відомо) вимірюється у Дж, но не у Вт, як зазначив автор.

3.2. У виразах (2.3, 2.4, стор. 71) автор наводить інтенсивність сонячного випромінювання, інтегрує вираз у часі 0 по 24 години, але в одному випадку вимірює величину у Вт/(м<sup>2</sup>·добу) (що є коректним), а у другому - Вт/(м<sup>2</sup>) (помилково).

3.3. У виразі (2.25, стор. 75), автор наводить кількість закумульованої енергії баком-акумулятором у Дж, але у знаменнику у виразі присутній час  $\tau$ , тобто це вже буде потужність у Вт.

4. Зауваження щодо результатів експериментальних досліджень.

На рис. 3.34. представлено залежність температури теплоносія на вході у геліопокрівлю  $t_{вх}$ , на виході з геліопокрівлі  $t_{вих}$  та в баку-акумуляторі  $t_{бак}$  залежно від часу  $\tau$ , але ж після 15-ї години температура в баку-акумуляторі  $t_{бак}$  вже перевищує температуру на виході з геліопокрівлі  $t_{вих}$  (при цьому  $t_{бак}$  продовжує зростати, а  $t_{вих}$  не змінюється). Це потребує пояснення, бо суперечить 2-му закону термодинаміки (відбувається передача тепла від холодного тіла до гарячого).

5. Зауваження щодо технологічних схем.

На рис. 4.3. наведено схему гравітаційної геліосистеми із використанням геліопокрівлі. Але ж зі схеми не ясно, яким чином поповнюється баланс води у баку при наявності постійного відбору (поз. 10).

6. Зауваження щодо використання посилань на літературні джерела.

6.1. Згідно правил щодо оформлення наукових рукописів, нумерація посилань на літературні джерела здійснюється за першим та наступними вживаннями.

Але автор починає літературний огляд з посилання [128], [117,118] (стор. 34) і т.д., що значно ускладнює аналіз використання літературних джерел.

6.2. При розрахунках техніко-економічних показників геліопокрівлі автор використовує методику, на яку немає посилань у тексті дисертації (вираз (4.22), стор. 156 и далі по тексту). Здається враження, що це його авторська методика.

7. Зауваження щодо використання термінології.

Автор багаторазово (в тому числі і у висновках по роботі, стор. 167) використовує вираз «термоаккумуляційні властивості геліосистеми». Але йдеться про поглинаючі властивості, т.я. термоаккумуляційні властивості геліопокрівлі незначні, ними нехтують і не враховують, на відміну, наприклад, від баку-акумулятору.

8. Зауваження по оформленню дисертації та автореферату:

8.1. В дисертаційній роботі представлено список скорочень та умовних позначень, але він не повний, що затрудняє її читання;

8.2. В тексті дисертації інколи зустрічаються незначні описки, технічні недоліки друку, помилки. Незрозуміло, чому автор не виправив їх при використанні текстового редактору Word.

### **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 05.14.06. 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 ССТ та узагальнена математична модель системи теплопостачання з геліопокрівлею дає можливість досліджувати ефективність систем енергозабезпечення різної конфігурації при варіюванні їх параметрів, структури і споживачів теплової енергії. Це дозволяє використати отримані результати при проектування і оптимізації ефективних систем теплопостачання з геліопокрівлею 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 на-



уково-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 Пони Остапа Мироновича на тему „Підвищення ефективності комбінованої системи теплопостачання з геліопокрівлею” за своїм змістом повністю задовольняє вимогам пп. 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013, щодо кандидатських дисертацій, здобувач Пона Остап Миронович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

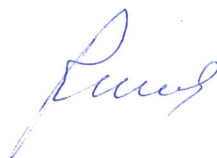
***Офіційний опонент***

професор кафедри Теплових електростанцій  
та енергозберігаючих технологій Одеського  
національного політехнічного університету  
доктор технічних наук, професор



Баласанян Г.А.

Вчений секретар Ради ОНПУ



Шевчук В.І.