

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ТА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**ШТЕН ІГОР ІГОРОВИЧ**

УДК 662.977

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
СИСТЕМ СОНЯЧНОГО  
ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2018

**Дипломною роботою магістра є рукопис**

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник**

доктор технічних наук, професор  
**Тарасенко Микола Григорович**,  
в.о. завідувача кафедри електричної інженерії  
Тернопільського національного технічного  
університету імені Івана Пулюя

**Рецензент**

доктор технічних наук, професор  
**Барановський Віктор Миколайович**,  
професор кафедри технології і обладнання  
зварювального виробництва  
Тернопільського національного технічного  
університету імені Івана Пулюя

**Захист відбудеться** 28 грудня 2018 р. о 17:00 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 38 з атестації здобувачів ступеня вищої освіти магістр спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитись в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою: <http://elartu.tntu.edu.ua/>.

*Секретар*  
*екзаменаційної комісії № 38*

Коцорко Р.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Енергетична криза 1972 року дуже гостро порушила питання про необхідність розробки нових джерел енергії (наприклад, термоядерних реакторів) і широкомасштабного використання поновлюваних джерел енергії (у тому числі сонячної енергії).

У 2002 р. цій проблемі вперше був присвячений Світовий Саміт сталого розвитку в ПАР, проведений на рівні глав держав. На ньому було ухвалено рішення про підвищення обсягів енергії, одержуваних від поновлюваних джерел у всіх країнах до 5 % у їхньому енергобалансі до 2010 р.

Національна енергетична програма України на період до 2030 р. передбачає довести загальну потужність систем сонячного гарячого водо-постачання (ССГВП) до 400 МВт, що вимагає встановлення 2,0 млн. м<sup>2</sup> СК та забезпечить економію близько чверті мільйонів тонн умовного палива (т.у.п.).

Сонячні колектори є основними елементами ССГВП, вони в основному визначають їхню ціну, ефективність й термін служби і таким чином формують собівартість виробленої гарячої води, яка є основним критерієм економічної оцінки сонячного ГВП.

Хоча колектори мають не дуже складну конструкцію, а їх перші зразки (типу «гарячий ящик») з'явилися більше 200 років тому, дотепер створення високоефективної конструкції СК являє собою досить складну проблему, оскільки аналіз перетворення сонячного випромінювання в тепло і розрахунки тепловтрат від абсорбера СК у навколишнє середовище пов'язані з розв'язком задач складного теплообміну, що включає радіаційну, конвективну або кондуктивну складові. Крім того, можливості традиційних методів аналізу СК, які побудовані на першому законі термодинаміки (законі збереження енергії), уже практично вичерпані, а їх ексергетичний аналіз, заснований на другому законі термодинаміки, дотепер не завершений.

Таким чином можна констатувати, що дотепер завдання створення високоефективних конструкцій ССГВП, у першу чергу СК та інших елементів геліосистем, остаточно поки не вирішено. Тому розробка, моделювання й оптимізація елементів геліосистем (сонячних колекторів проточного та акумулюючого типів, проміжних теплообмінників та теплоакумуляторів) є досить актуальними.

В останні роки наукові дослідження з геліотехнічної тематики в Україні ведуться широким фронтом. У Національній академії наук створений новий підрозділ – Інститут поновлюваної енергетики. Фахівці ІВЕ НАНУ вже випустили два видання Атласу ресурсів поновлюваних джерел енергії по регіонах України. У системі вищої освіти України на енергетичних факультетах ВНЗ України читають курс «Відновлювані джерела енергії».

**Метою роботи** є підвищення теплофізичної ефективності елементів систем сонячного гарячого водопостачання (сонячних колекторів проточного та акумулюючого типів, акумуляторів тепла й теплообмінників), розробка методів розрахунків та способів випробувань, ексергетичний аналіз та оптимізація, а також створення нових високоефективних технічних рішень елементів геліосистем.

Для досягнення поставленої мети в магістерській роботі необхідно розв'язати наступні завдання:

– уточнити математичні моделі сонячних колекторів проточного та акумулюючого типів, розробити методи їх теплових розрахунків;

– запропонувати нові способи випробувань проточних та акумулюючих сонячних колекторів, а також теплообмінників-рекуператорів;

– розробити нові технічні рішення конструкцій СК, СКА та їх елементів, ефективних теплообмінників та теплоакумуляторів, а також нової теплогідравлічної схеми двоконтурної ССГВП.

**Об'єкт дослідження** – перетворення різних форм теплоти й ексергії в сонячних колекторах та інших елементах геліосистем.

**Предмет дослідження** – ефективність перетворення теплоти й ексергії в сонячних колекторах та інших елементах геліосистем.

**Методи дослідження.** Дослідження сонячних колекторів проточного та акумулюючого типу і моделювання їх робочих режимів виконані аналітичним методом – шляхом інтегрування звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, а також з використанням стандартних процедур визначення екстремуму цільової функції при пошуку оптимальних умов. Оцінка ефективності конструкції й режиму роботи сонячного колектора проводилася з використанням ексергетичного методу термодинамічного аналізу, побудованого на другому законі термодинаміки.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Розроблені математичні моделі, методи теплових розрахунків СК, СКА, теплообмінників та теплоакумуляторів дозволяють забезпечити проектування оптимальних конструкцій сучасних високоефективних геліосистем.

2. Запропоновані способи випробувань СК, СКА та теплообмінників дозволяють математично строго, методично, коректно й точно одержувати експериментальні оцінки їх параметрів.

3. Запропоновані нові технічні рішення СК, СКА та вузлів двоконтурних геліосистем дозволять значно покращити їх ефективність та теплопродуктивність ССГВП без істотних витрат, а також підвищити їх конкурентоспроможність у порівнянні з іншими системами ГВП.

**Публікації.** Основні положення та результати дипломної роботи магістра доповідалися на XI Міжнародній студентській науково-технічній конференції ТНТУ імені Івана Пулюя «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (26-27 квітня 2018 року, м. Тернопіль).

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається зі вступу, 8 розділів, висновків та списку використаних джерел. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 100 аркушів формату А4, графічна частина – 6 аркушів формату А1.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення

отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів роботи.

**В першому розділі** проведено літературний огляд за напрямком магістерської роботи, зокрема, подано: системи сонячного гарячого водопостачання в Україні; аналіз конструкцій геліосистем гарячого водопостачання; методи теплових випробувань проточних сонячних колекторів; сонячні колектори акумулюючого типу.

**В основній частині** приведено математичне моделювання й розробку акумулюючих сонячних колекторів та побутових сонячних водонагрівачів, розробку двоконтурних геліосистем та їх вузлів.

**В спеціальній частині** описано переваги використання САПР при проектуванні систем сонячного гарячого водопостачання.

**В частині «Обґрунтування економічної ефективності»** виконано оцінку економічної ефективності впровадження системи сонячного гарячого водопостачання корпусу побутових приміщень підприємства.

**В частині «Охорона праці»** висвітлено охорону праці та соціальний захист працівників, безпечну експлуатацію теплових установок і мереж.

**В частині «Безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто моніторинг надзвичайних ситуацій та організацію й проведення евакуаційних заходів.

**В частині «Екологія»** обґрунтовано актуальність охорони навколишнього середовища та описано екологічні аспекти нетрадиційної енергетики.

**У загальних висновках** описано прийняті в роботі технічні рішення та організаційно-технічні заходи, які забезпечують виконання завдання на проектування; оригінальні технічні рішення, прийняті автором в процесі роботи; технічні рішення, що можуть бути впроваджені у виробництво; техніко-економічні показники та їх порівняння з базовими.

В графічній частині приведено креслення, ілюстрації, графіки, діаграми та таблиці, що доповнюють пояснювальну записку дипломної роботи магістра.

## **ВИСНОВКИ**

1. Розроблено нове технічне рішення щільної антиконвективної структури стрічкового типу, яка забезпечує різке зниження тепловтрат через повітряний зазор між склом і абсорбером при мінімальних додаткових втратах у процесі поглинання сонячного випромінювання.

2. Запропоновано нове технічне рішення теплогідравлічної схеми двоконтурної геліосистеми ГВП, в якому послідовність включення двох різних теплообмінників та наявність регулятора температури води, що нагрівається, забезпечує більш високу ефективність теплопередачі між контурами як у стаціонарному, так і в нестаціонарному режимі експлуатації.

3. Подано технічне рішення емнісного теплообмінника з «зовнішнім» розташуванням трубчастого змійовика й плавкою оболонкою, що виключає можливість отруєння антифризом води, яка нагрівається, та значно підвищує його ефективну теплоємність.

4. Розроблено нове технічне рішення теплоакумулятора на основі фазового

переходу, в якому об'єднання металевих орєбрєнь двох змїйовиків забезпечує підвищення коефіцієнта теплопередачі як у режимі рекуперації, так і в режимах «зарядки» і «розрядки» плавкої речовини.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ**

Штен І.І. Аналіз конструкцій геліосистем гарячого водопостачання, які використовуються в Україні [Текст] // Тези доповіді на XI Міжнародній студентській науково-технічній конференції ТНТУ імені Івана Пулюя «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (26-27 квітня 2018 року, м. Тернопіль). – Тернопіль, ТНТУ, 2018. – С. 131-132.

## **АНОТАЦІЯ**

У магістерській роботі вирішена науково-практична задача по створенню нових сонячних колекторів, теплообмінників та теплоаккумуляторів з підвищеною ефективністю для використання в системах сонячного гарячого водопостачання.

**Ключові слова:** ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР, МОДЕЛЮВАННЯ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

## **ANNOTATION**

The master's work solves the scientific and practical task of creating new solar collectors, heat exchangers and heat accumulators with increased efficiency for use in solar hot water supply systems.

**Key words:** ENERGY SAVING, ENERGY EFFICIENCY, SOLAR COLLECTOR, SIMULATION, HOT WATER SUPPLY