

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
УКРАЇНИ

НОВІТНІ АКУМУЛЯТОРИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ  
ФАЗОПЕРЕХІДНИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК З ПОКРАЩЕНОЮ  
ТЕПЛОПРОВІДНОЮ СТРУКТУРОЮ

**АНТИПОВ Євген Олексійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики Національного університету біоресурсів і природокористування України

РЕФЕРАТ

Київ – 2020

**Актуальність роботи.** Обмеженість традиційних паливно-енергетичних ресурсів (газоподібного, рідкого й твердого палива), постійне зростання цін на них, а також негативний вплив продуктів їх згоряння на навколишнє середовище, свідчать про необхідність створення й практичного використання комбінованих систем енергозабезпечення споживачів, у тому числі й з використанням акумуляторів енергії різних типів, що дає змогу не лише підвищити ефективність використання теплової та електричної енергії, а й знизити її вартість.

З усіх типів існуючих конструкцій теплоакумуляторів найбільш перспективними є акумулятори теплоти з фазовими або хімічними перетвореннями акумулюючого матеріалу, які дозволяють забезпечити високу щільність накопиченої енергії і стабільну температуру на виході з теплового акумулятора. До недоліків таких акумуляційних апаратів можна віднести їх високу вартість та трудомісткість виготовлення теплообмінної поверхні. Одним з можливих шляхів удосконалення такого обладнання, як найбільш перспективний, варто відзначити варіант створення акумулятора енергії, в якому поєднані ємнісне та акумулювання теплоти фазових перетворень акумулюючого матеріалу з використанням двох джерел первинної енергії, а саме: теплової та електричної. Таким чином, з'являється можливість знизити вартість акумульованої енергії порівняно з використанням декількох окремих незалежних джерел енергії, способи накопичення енергії яких поєднані в такому обладнанні. Відповідно до цього, виникає необхідність проведення фізичного моделювання процесів тепло- і масопереносу при акумулюванні енергії, що дасть змогу розробити нові або вдосконалити існуючі конструкції теплових акумуляторів. Вирішення зазначених задач є актуальним для забезпечення потреб у тепловій та електричній енергії побутових споживачів, індивідуальних фермерських господарств, житлових будинків котеджного типу тощо.

**Метою** роботи є підвищення енергетичної ефективності робочих параметрів теплових акумуляторів на основі фазоперехідних матеріалів органічного походження та оптимізація вибору компонентного складу систем комплексного енергозабезпечення з накопичувачами енергії задля покращення надійності та проведення процесу енергоживлення споживачів у найбільш оптимальному режимі. Для її досягнення було вирішено **завдання:**

- обґрунтовано необхідність та розроблено акумулятор теплоти новітньої конструкції – на основі фазоперехідних органічних сполук з наповнювачами у вигляді мікро- та наночастинок металів;
- виконано комп'ютерне моделювання процесів тепло- і масопереносу в акумулюючому матеріалі фазового переходу теплоакумулятора запропонованої конструкції на основі результатів теоретичних досліджень;
- реалізовано діючий зразок акумулятора теплоти новітньої конструкції та проведені експериментальні дослідження процесів плавлення/кристалізації теплоакумулюючого матеріалу з побудовою фізичної моделі потоку;
- досліджено вплив багаторазового циклічного нагрівання та охолодження на теплофізичні властивості, зокрема термостійкість, в залежності від типу теплоакумулюючого матеріалу;
- проведено порівняльний аналіз теплоакумуляційної ефективності акумулятора

теплоти фазового переходу новітньої конструкції з традиційними теплоакумуляторами;

- створено діючий варіант автономної системи комплексного енергозабезпечення споживачів з накопичувачами енергії різних типів;

- досліджено ефективність роботи акумулятора теплоти новітньої конструкції у складі згаданої системи та здійснено техніко-економічне обґрунтування ефективності їхньої роботи;

- з часу останнього подання роботи експериментальним шляхом та методом числового моделювання встановлено й пояснено різницю у динаміці структурно-фазових перетворень чистих (вихідних) парафінів і підсилених теплопровідними наповнювачами (нано- та мікрочастинками міді). Встановлено: підвищення теплопровідності; більш рівномірний розподіл і зростання температури теплового поля в масиві акумулюючого матеріалу; зниження температури основних фазових переходів у підсилених теплоакумулюючих речовинах.

**Об'єкт дослідження** – вплив наповнювачів у вигляді нано- та мікрочастинок металів на інтенсивність процесів плавлення/кристалізації акумулюючого матеріалу органічного походження та ефективність роботи акумулятора теплоти фазового переходу новітньої конструкції в/та системі(и) комплексного енергозабезпечення споживачів у цілому.

**Методи дослідження** – експериментальні дослідження та числове моделювання процесів тепло- і масопереносу в акумуляторах теплової енергії новітньої конструкції виконано за допомогою програм для дво- і тривимірного моделювання «COMSOL Multiphysics 3.5a» та ІЧ спектроскопії з Фур'є перетворенням, а процесів перетворення та акумулювання енергії в системі комплексного енергозабезпечення з оцінкою їх впливу на ефективність її роботи загалом – методом імітаційного моделювання, який реалізовано в програмному пакеті «Matlab Simulink».

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному.

На основі проведених автором низки експериментальних досліджень у сфері накопичення енергії створено діючі зразки акумулятора теплової енергії новітньої конструкції, розроблено й апробовано новий, комплексний підхід для дослідження процесів тепло- й масопереносу при фазових перетвореннях акумулюючого матеріалу, який у світовій та вітчизняній науці був вперше застосований для вивчення процесів плавлення/кристалізації навколо декількох циліндричних джерел теплоти, які розміщені в об'ємі акумулюючого матеріалу органічного походження, що дало змогу вперше:

1. Дослідити закономірності:

- взаємовпливу теплових і електричних джерел енергії на процеси перетворення й накопичення енергії, що уможливило технічну реалізацію її комбінованого акумулювання в одному апараті;

- вільноконвективного теплообміну під час фазових перетворень акумулюючого матеріалу навколо декількох циліндричних джерел теплоти з гладкою поверхнею, що сприяло визначенню граничного радіусу поширення теплоти для більш ефективного розміщення циліндричних джерел електричної й теплової енергії в корпусі акумулятора теплової енергії новітньої конструкції та

зниження його масогабаритних показників з одночасним підвищенням енергетичної ефективності робочих характеристик апарату.

2. Отримати залежність між граничним радіусом радіального поширення теплоти в масиві чистого та підсиленого теплопровідними включеннями (мікро- й наночастинками металів) акумулюючого матеріалу органічного походження і геометричними параметрами теплообмінної поверхні, що дало можливість проводити «зарядку» й «розрядку» апарата з максимальною ефективністю.

3. Дослідити залежність коефіцієнта корисного використання маси акумулюючого матеріалу від геометричних параметрів та потужності первинного джерела енергії, на основі якої реалізовано більш ефективну конструкцію акумулятора теплової енергії.

4. Встановити вплив багаторазового циклічного нагрівання й охолодження на структуру і морфологію фазоперехідних акумулюючих матеріалів методом спектроскопії комбінаційного розсіяння світла.

5. Дослідити та отримати залежність робочих параметрів системи комплексного енергозабезпечення споживачів з накопичувачами енергії від теплофізичних процесів перетворення та акумулювання енергії.

6. З часу останнього подання роботи: дослідити термодинамічну поведінку парафінів та їх сумішей з твердотільними мікро- і наночастинками; оцінити їх вплив на ефективність процесів тепло- й масопереносу і, як наслідок, на накопичувальну здатність теплоаккумуляторів, що дозволило оптимізувати конструкцію акумуляторів теплоти фазового переходу на основі органічних теплоакumuлюючих матеріалів та покращити їх робочі, зокрема «розрядні», характеристики.

**Результати досліджень викладено** 2 монографіях, 63 статтях, з них: 8 у наукових виданнях, що входять до науково-метричних баз Scopus та Web of Sciences, 47 – у наукових фахових виданнях України, 8 – у наукових виданнях інших держав, 40 тезах наукових доповідей. За даною тематикою захищена 1 кандидатська дисертація. Сумарна кількість наукових праць – 153.

**Практична значимість** виконаного дослідження має декілька пріоритетних аспектів у галузі енергозбереження: створено діючі зразки акумулятора енергії новітньої конструкції, який відрізняється від зразка-аналогу хвилеподібним дном і додатковим оснащенням багатоярусними електричними підігрівачами, що підвищує надійність та стабільність енергозабезпечення споживачів на 15–20 %, розроблено та експериментальним шляхом досліджено ефективність роботи автономної системи енергозабезпечення споживачів з теплоаккумулятором. На основі здобутих наукових результатів складено нову методику розрахунку високоефективних конструкцій акумуляторів теплоти фазового переходу кожухотрубного типу на основі органічних сполук з покращеною (підсиленою) теплопровідною структурою. Отримані таким чином нові принципи побудови накопичувачів енергії, були адаптовані для вирішення задач з оптимізації конструкцій комбінованих акумуляторів енергії та, як наслідок, компонентного складу систем комплексного енергозабезпечення залежно від кліматичних умов розміщення й потужності споживача, що дало змогу проводити процеси акумулювання/використання енергії в найбільш оптимальному режимі.

Побудовано варіант системи комплексного енергозабезпечення побутових споживачів з акумуляторами енергії. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність включення акумуляторів теплової та електричної енергії до складу запропонованої системи й визначено енергетичну ефективність від їх застосування (показано, що вартість отриманої 1 Гкал теплової енергії при цьому знизилась на 40-45 %). Для реалізованої системи отримано вихідні дані щодо вибору ефективних параметрів її компонентного складу енергогенеруючого обладнання й акумуляторів теплової та електричної енергії залежно від кліматичних умов розміщення й потужності споживача.

З часу останнього подання роботи: *створено новий тип органічного акумуляюючого матеріалу з покращеною теплопровідною структурою; проведено оптимізацію вибору компонентного складу автономної системи комплексного енергозабезпечення з акумуляторами теплової енергії новітньої конструкції задля покращення надійності та проведення процесу енергоживлення споживачів у найбільш оптимальному режимі.*

Основні положення цієї роботи впроваджено в ТОВ «Редюс Енерджи», ПАТ «Акціонерне товариство «Південтрансенерго», а частина з них, як методичне забезпечення, використовується в навчальному процесі кафедри теплоенергетики Національного університету біоресурсів і природокористування України при викладанні дисциплін «Альтернативні джерела енергії» та «Теплоенергетичні установки і системи» під час підготовки фахівців технічних спеціальностей.

### **1. Фізичні основи для створення та аналіз існуючих конструкцій акумуляторів теплоти фазового переходу**

Аналіз різних способів акумуляювання виявив, що найбільш перспективним типом теплових акумуляторів є акумулятори теплоти фазового переходу періодичної дії. На даний час при виробництві теплових акумуляторів використовується велика кількість різних фазоперехідних матеріалів, серед яких найбільшу розповсюдженість отримали парафіни. Ці матеріали є стабільними, добре перероблюваними, некорозійними, такими, що відштовхують воду та мають низьку вартість. Проте, властива парафіну низька теплопровідність є основним недоліком, що спричинює ріст теплового опору протягом процесу зміни фаз, коли інтерфейс рідина – тверде тіло відходить від поверхні віддачі тепла. Ріст теплового опору спричинює відчутне зменшення тривалості періоду заряду/розряду акумулятора. Відзначено, що ефективність роботи акумуляторів значно впливає на загальний ексергетичний коефіцієнт корисної дії всієї системи енергоживлення. До того ж, на сьогодні, у наукових роботах відсутня детальна інформація щодо комплексних експериментальних досліджень процесів переносу енергії, які відбуваються під час фазових перетворень акумуляюючого матеріалу.

### **2. Комп'ютерне моделювання процесів тепломасообміну при фазових перетвореннях акумуляюючого матеріалу**

На основі аналізу конструкцій існуючих акумуляційних апаратів в середовищі COMSOL Multiphysics 3.5a розроблено аксонометричну модель акумулятора теплоти фазового переходу досліджуваної конструкції. Вважаємо, що теплоносій надходить в акумулятор і рухається вздовж нагрівальних труб, віддаючи або поглинаючи при цьому теплову енергію, яка накопичується чи

відбирається від акумулюючого матеріалу. Математична модель процесів тепло- і масопереносу при фазових перетвореннях акумулюючого матеріалу включає в себе рівняння Нав'є-Стокса та рівняння конвективного теплопереносу.

У результаті проведеного числового моделювання встановлено наявність трьох стадій плавлення теплоакумулюючого матеріалу: в першій стадії відбувається перенос теплоти від теплових джерел до матеріалу кондуктивним шляхом; у другій стадії – конвективним шляхом, який супроводжується інтенсивним плавленням акумулюючого матеріалу; третя стадія характеризується перегрівом розплавленої маси матеріалу. При цьому, виявлено наявність зон низької швидкості плавлення акумулюючого матеріалу, який знаходиться під нижнім рядом теплових джерел. Відмінність значень температур на початковій і кінцевій стадії плавлення в об'ємах матеріалу верхнього та нижнього рівнів не перевищує  $\pm 5 \div 7$  °С. В результаті числових розрахунків знайдено граничну відстань (радіус) між тепловими джерелами, що дало змогу зменшити масогабаритні показники акумулятора теплоти та підвищити його акумуляційну здатність. Для різних параметрів циліндричної теплообмінної поверхні отримано значення граничного радіуса  $R$  радіального поширення теплоти в об'ємі акумулюючого матеріалу, який, наприклад, для парафіну, при діаметрі нагрівальної труби  $d_3 = 21,25$  мм, становить  $R = 30$  мм.

Аналіз результатів проведеного числового моделювання дає змогу зробити такий висновок: *розміщення нижнього ряду нагрівальних елементів від дна та стінок корпусу акумулятора, слід виконувати на відстані, яка не перевищує значення граничного (кінцевого) радіуса  $R$ .*

### **3. Експериментальне дослідження процесів теплообміну та їх вплив на ефективність роботи акумулятора теплоти фазового переходу**

Експеримент виконано на розробленій авторами експериментальній установці, основним елементом якої є дослідний модуль, який являє собою виготовлену із сталі, заповнену твердим акумулюючим матеріалом фазового переходу, горизонтально орієнтовану ємність (корпус) у формі паралелепіпеда: заввишки  $H = 240$  мм, завдовжки  $L = 500$  мм, завширшки  $B = 300$  мм. Для забезпечення умови радіального поширення теплоти в масиві акумулюючого матеріалу, за умовний час роботи апарата  $\tau \approx 28800$  с, у межах  $R \leq 40$  мм, як горизонтальні циліндричні джерела теплоти використано трубний пучок, який складається з 8 сталевих труб ( $d_3 = 21,3 \times 2,8$  мм) розташованих по центру ємності в рівномірному шаховому порядку паралельно до дна корпусу модуля. Наявна запірна арматура дає змогу комбінувати різні робочі варіанти розташування нагрівальних труб у пучку: шахове або коридорне. Система автоматичного управління та контролю за основними параметрами (тиск, температура) роботи дослідного модуля, яка виконана на базі блоку цифрового USB-термометра серії MP707R, забезпечує нагрівання або охолодження акумулюючого матеріалу з одночасним підтриманням заданої температури теплоносія з подальшою реєстрацією та візуалізацією отриманих результатів і контролем параметрів у режимі on-line. Як акумулюючий матеріал використано парафін марки Т-3.

На основі опрацювання відео- та фотофайлів, отримано профілі плавлення «тверде тіло – розплав» для різних моментів часу. Їх аналіз свідчить про наявність декількох різних фаз плавлення. У першій фазі перенесення тепла від джерела до межі поділу фаз здійснюється за рахунок кондуктивної складової теплового потоку, у другій та третій – конвективної. Виявлено, що для другої фази плавлення характерним є максимальне значення приросту маси розплавленої речовини за одиницю часу. Третя фаза характеризується сповільненням приросту маси розплаву в нижній частині робочого об'єму, де спостерігається поява зон низької швидкості плавлення акумулюючого матеріалу, названих далі «застійними зонами», температура яких на 10–12 % нижча, ніж в області інтенсивних циркуляційних течій рідини. При цьому, велика кількість теплоти витрачається на перегрів розплавленого об'єму матеріалу у верхній частині теплоакумулятора. Тривалість такого «перегріву» становить щонайменше 25 % від загального часу роботи аккумулятора в режимі «заряд».

Робота апарата в режимі «розряд» на навантаження системи опалення «тепла підлога», дала змогу виявити такі закономірності: чим нижча температура теплоносія (за постійної температури акумулюючого матеріалу в початковий період роботи апарата), тим гірше відбирається акумульована теплота з об'єму, не дивлячись на те, що температурний напір ( $T_{кр} - T_{ex.в}$ ) зростає. Встановлено, що за низьких значень температури теплоносія відразу ж починають кристалізуватися прилягаючі до джерела теплоти шари матеріалу. При цьому, температура глибинних шарів на 27 % вища від температури шару закристилизованого матеріалу. Спостерігається як зниження теплового потоку, так і, відповідно, падіння коефіцієнту тепловіддачі під час «розряду» теплоакумулятора.

У підсумку, проведені експериментальні дослідження, підтвердили результати числового моделювання, на основі яких обґрунтовано необхідність розміщення нижнього ряду нагрівальних елементів від дна та стінок корпусу аккумулятора, на осьовій відстані, яка дорівнює величині граничного радіусу  $R$ . Встановлено, що перевищення цієї величини на 20 % призводить до зменшення коефіцієнта корисного використання маси акумулюючого матеріалу на 7 %. Зазначений факт уможливорює мінімізацію застійних зон під час акумуляції теплової енергії та зменшення часу «зарядки» теплоакумулятора на 15–20 %.

#### **4. Розробка засобів для інтенсифікації процесів теплообміну та методики розрахунку оптимальних параметрів аккумуляторів теплоти на основі акумулюючих матеріалів фазового переходу**

Для вдосконалення механізму відбору акумульованої теплоти від акумулюючого матеріалу фазового переходу, використано додаткові джерела внутрішнього підігріву акумулюючого матеріалу на основі саморегулюючих електронагрівних проводів.

Порівняльний аналіз досліджуваної та новітньої конструкції аккумулятора теплоти свідчить, що температура акумулюючого матеріалу в нижній частині стінки корпусу апарата, відповідно, на 7 та 15 % вища, ніж в аналогічному об'ємі матеріалу аккумулятора теплоти попередньої конструкції з плоским дном. Визначено, що встановлення додаткових електричних нагрівальних елементів, забезпечило: підвищення ефективності відбору теплоти на 8–10 %, зменшення

масогабаритних показників апарата на 10–15 %, зростання коефіцієнта корисного використання маси акумулюючого матеріалу на 36 % та збільшення тривалості роботи апарата в режимі «розряд» на 86 % за однакової теплової потужності зі зразком-аналогом. У підсумку, теплоакумулятор на основі парафіну майже в 14 разів ефективніше від акумулятора теплоти з твердим акумулюючим матеріалом, в 5 разів від традиційного теплового акумулятора з рідким матеріалом та майже в 3 рази – від конструкції зразка-аналога.

На основі числових розрахунків процесів тепло- і масопереносу в акумуляторі теплоти новітньої конструкції встановлено параболічну залежність між граничним радіусом  $R$  радіального поширення теплоти в масиві акумулюючого матеріалу та геометричними параметрами теплообмінної поверхні – зовнішнім діаметром  $d_3$  нагрівальної труби  $1,45d_{mp.з.} \geq R \geq 1,25d_{mp.з.}$ , що дало можливість проводити «зарядку» і «розрядку» апарата з максимальною ефективністю.

У результаті, розроблено методику розрахунку та практичні рекомендації щодо вибору конструктивних параметрів акумулятора теплоти фазового переходу, які можуть бути використані під час розроблення нових конструкцій таких апаратів.

### **5. Оптичне дослідження температурних залежностей параметрів структурно-фазових перетворень парафінів та їх сумішей з наночастинками вуглецю та металів як нових теплоакумулюючих матеріалів**

Для встановлення впливу температури та домішок на структурні перетворення теплоакумулюючих речовин експериментальним шляхом, застосовано метод спектроскопії комбінаційного розсіяння світла (КРС, або в закордонній літературі – раманівська спектроскопія). У якості вихідного матеріалу, було використано парафін марки ТЗ. Для підвищення теплопровідності у досліджуваному парафіні було вибрано 3 види вуглецевих порошоків, які випускаються вітчизняною промисловістю. Для того, щоб методично правильно проаналізувати вплив даних порошоків на динаміку фазових переходів у суміші парафіну з конкретним порошком, спочатку було проведено дослідження структурних та коливних властивостей вихідних порошоків, які відрізняються фракцією – 0.5, 0.2 та 0.1 мкм.

Порівняння температурних залежностей параметрів  $S_{lateral}$  (параметр, який характеризує ступінь латерального внутрішньоланцюгового порядку та локалізованого конформаційного порядку) для чистого парафіну та підсиленого теплопровідними наповнювачами показує зміщення температур основних структурно-фазових переходів для суміші парафіну ТЗ з вуглецевим наповнювачем фракції 0.1 мкм. У випадку використання мідного наповнювача також спостерігається зміщення положень перегину отриманої залежності структурного при збільшенні температури теплоакумулюючого матеріалу параметру  $S_{lateral}$ , навіть у більшій мірі, ніж при використанні вуглецевих наповнювачів. Такі зміни свідчать про збільшення теплопровідності матеріалу.

У підсумку, отримано температурні залежності спектрів КРС і структурних параметрів для чистих парафінів та їх сумішей з металічними теплопровідними наповнювачами. Встановлено, що додавання останніх не впливає на частотне положення основних смуг, що характеризують коливання у парафіні, та покращує



теплопровідні властивості парафіну з наповнювачами, спостерігається більш рівномірний розподіл теплового поля та зниження температури основних фазових переходів у підсилених теплоакумуючих речовинах.

З часу останнього подання роботи проведено дослідження впливу мікро- та наночастинок металів (міді) на інтенсивність процесів структурно-фазових перетворень чистих та підслених парафінів в однакових експлуатаційних умовах. Встановлено пришивищення процесу плавлення теплоакумуючого матеріалу, який розміщений над джерелом теплоти на 10-12 % та на 20-22 % ТАМу, який розташований на рівні осьової лінії джерела теплоти по обидві сторони від нього. Досліджено зростання температурного режиму по всьому об'єму матеріалу твердої фракції підсиленого мідним наповнювачем парафіну, яке у середньому склало 4-6 %. Підтверджено доцільність використання теплопровідних включень з металевих мікро- та наночастинок для інтенсифікації процесів фазових перетворень у чистих парафінах з метою підвищення ефективності робочих характеристик теплових акумуляторів на основі органічних фазоперехідних сполук.

#### **6. Розробка системи комплексного енергозабезпечення споживачів із застосуванням альтернативних джерел та акумуляторів теплової енергії новітньої конструкції**

Методом імітаційного моделювання, досліджена робота запропонованої системи комплексного енергозабезпечення споживачів від двох джерел енергії: локальної від альтернативних джерел та загальної – з електромережі. Результати дослідження показують, що доля альтернативної енергії в енергоспоживанні при заданих параметрах моделі складає в межах 31 % для електричної та 66 % – для теплової енергії відповідно. При цьому, ефективність покриття навантаження споживачів за рахунок використання акумуляованої електричної енергії становить в межах 95...100 %, а теплової – 84...89 %. Встановлено, що для забезпечення ефективної роботи автономного живлення споживачів номінальною електричною потужністю 2000 Вт упродовж 24 годин та піковою (до 2-х годин) потужністю 5000 Вт, система має складатися з фотоелектричної панелі з активною площею геліополя 7,7–8,9 м<sup>2</sup> та 12-вольтового акумулятора електричної енергії номінальною ємністю 315–365 А·год, а за теплової потужності навантаження 700 Вт – з сонячного колектора площею 4,5–5,8 м<sup>2</sup> та одного акумулятора теплоти фазового переходу потужністю 8 кВт. Проведений техніко-економічний аналіз свідчить, що річний економічний ефект на один комплект обладнання системи комплексного енергозабезпечення споживачів електричною та тепловою енергією від альтернативних джерел номінальною потужністю 2000 Вт та піковою 5000 Вт, відповідно, становить 6896 грн на рік. Термін окупності системи, за умови продажу державі генерованої системою електричної енергії за «зеленим тарифом», не перевищує 5–7 років.

Крім того, аналіз отриманих у ході виконання роботи даних та результати розрахунків показують, що застосування автономних електротеплоаккумуляційних систем опалення з використанням акумуляторів теплоти на основі фазоперехідних теплоакумуючих матеріалів органічного походження, що мають наповнювачі у вигляді наночастинок металів, новітньої конструкції дозволить не лише підвищити

ступінь накопичення енергії, але й зменшити виробничі площі, що займає акумуляційне обладнання, скоротити енергетичні затрати на процес енергозабезпечення споживачів в цілому. Зазначеному сприяє існуюче положення про тарифне регулювання, яким введені відповідні тарифні коефіцієнти для двозонних та тризонних тарифів, диференційованих за періодами часу (постанова НКРЕ № 1262 від 04 листопада 2009 року). Попередні розрахунки показують, що використання таких систем електротеплоакумуляційного опалення знижує вартість 1 Гкал теплової енергії за рахунок впровадження розробки та використання пільгової електроенергії (при розрахунку за двозонними тарифами) становить 40...45 %. Разом з тим, зазначене сприятиме вирівнюванню «провалів» добових графіків навантаження ОЕС України. *Новизну та конкурентоспроможність запропонованих технічних рішень підтверджено 4 актами впровадження.*

Основні положення роботи було представлено більш ніж на 30 національних та міжнародних конференціях, семінарах, з'їздах, що відносяться до наукових тем Національного університету біоресурсів і природокористування України відповідно до цільових програм Міністерства освіти і науки України за темою: «Система комплексного енергозабезпечення споживачів із застосуванням альтернативних джерел та комбінованих акумуляторів енергії», яка входить до складу державної тематики «Енергозберігаючі технології і калориметрія» (номер державної реєстрації 0109U007107), «Новітні акумулятори теплової енергії на основі фазоперехідних теплоакуючих матеріалів» (номер державної реєстрації 0115U004845) та «Експериментальне дослідження, математичне моделювання і енергетична ефективність нових теплообмінних апаратів» (номер державної реєстрації 0114U002963).

*З часу останнього подання роботи отримано Грант Президента України для підтримки наукового дослідження «Новітні акумулятори теплової енергії на основі фазоперехідних акумулюючих матеріалів з наночастинками металів» за договором № Ф82/211-2019 від 28.10.2019 р. між Національним університетом біоресурсів і природокористування України та Міністерством освіти і науки України та проведені дослідження щодо створення нового типу фазоперехідного акумулюючого матеріалу органічного походження з покращеною теплопровідною структурою (мідними наповнювачами у вигляді нано- та мікрочастинок металів).*

За темою роботи опубліковано 106 наукових праць, у тому числі 2 монографії, 63 статті, з них: 8 у наукових виданнях, що входять до науково-метричних баз Scopus та Web of Sciences, 47 – у наукових фахових виданнях України, 8 – у наукових виданнях інших держав, 40 тез наукових доповідей, захищена одна кандидатська дисертація. Згідно науково-метричної бази даних Scopus загальна кількість посилань – 17, h-індекс (за роботою) = 3, бази даних Google Scholar загальна кількість посилань – 174, h-індекс (за роботою) = 7. Сумарна кількість наукових праць претендента – 153. Новизну та конкурентоспроможність запропонованих технічних рішень підтверджено 4 актами впровадження. Подані заявки на отримання патентів.

**Автор:**

**Антипов Євген Олексійович**