

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Горобця Валерія Григоровича на дисертаційну роботу Корінчевської Тетяни Володимирівни «**Теплофізичні властивості теплоакумуючих матеріалів з фазовим переходом на основі органічних сполук**», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Структура та обсяг дисертації. Роботу Корінчевської Т.В. виконано в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України. Дисертація складається з анотації, списку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 211 сторінок, 65 рисунків та 19 таблиць. Список використаних джерел містить 202 найменування. У додатках до дисертації наведені конструкторська документація, список публікацій здобувача, відомості про апробацію роботи, копії патентів на винахід та акту впровадження.

Оформлення дисертації. Дисертаційна робота оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення".

Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим задачам в роботі, викладений матеріал написаний грамотною технічною мовою.

Обсяг і структура роботи відповідає необхідним вимогам, які встановлено МОН України.

Зміст автореферату дисертації ідентичний змістові дисертації та відображає основні положення роботи.

Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень.

Зміст роботи.

У **вступі** дисертаційної роботи наведені такі положення, як обґрунтування вибору теми досліджень, зв'язок з науковими програмами, планами і темами, мета і завдання дослідження, методи досліджень, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок, відомості про апробацію результатів дисертації, структуру та обсяг дисертації.



У **першому розділі** розглянуті особливості акумулювання за рахунок теплоти фазових переходів плавлення-кристалізація, що відбуваються при нагріванні та охолодженні теплоакumuлюючих матеріалів.

Огляд літературних джерел щодо властивостей теплоакumuлюючих матеріалів неорганічного та органічного походження дозволив визначити основні теплофізичні властивості, необхідні для вибору матеріалу з метою його використання в тепловому акумуляторі. Розділення матеріалів по класам дозволили виділити групи матеріалів з подібними характеристиками. Приділена увага складностям використання теплоакumuлюючих матеріалів з фазовим переходом та розглянуті різні способи вирішення цієї проблеми.

Розглянуті конструктивні рішення теплових акумуляторів для різних сфер застосування. Показано, що при виборі конструкції особлива увага приділяється властивостям обраного теплоакumuлюючого матеріалу з метою максимально усунути його недоліки.

Розглянутий математичний опис поведінки систем, у яких здійснюється фазовий перехід «тверде тіло-рідина». Для вирішення подальших задач запропоновано використовувати сучасні обчислювальні пакети математичного моделювання.

У **другому розділі** описані прилади і методики проведення досліджень фазових переходів плавлення-кристалізація, термостійкості, питомої теплоємності та теплопровідності теплоакumuлюючих матеріалів з фазовим переходом. Фазові переходи досліджувались на диференціальному сканувальному мікрокалориметрі ДСМ-2М, де визначались такі параметри, як інтервал температур та ентальпія фазового переходу. Дослідження термостійкості проводились на дериваторафі Q-1000, де шляхом нагрівання зразка з постійною швидкістю реєструвалася зміна маси та температури зразка, що дозволило визначити температуру початку термічного розкладання. Питома теплоємність визначалась в диференціальному сканувальному мікрокалориметрі ДСМ-2М. Теплопровідність зразків визначалась на приладі IT-7-60НМ. В розділі наведений також розрахунок похибок експериментальних досліджень.

У **третьому розділі** охарактеризовані об'єкти досліджень – органічні суміші на основі парафіну, буровугільного та поліетиленового восків. Викладені результати та аналіз комплексних досліджень теплофізичних властивостей теплоакumuлюючих матеріалів з фазовим переходом. Експериментально досліджені інтервал температур та питома теплота фазових переходів плавлення-кристалізація. Дослідження були повторені для зразків, які зазнали багаторазове циклічне нагрівання та охолодження. Отримані результати дозволили встановити поведінку матеріалів при можливій тривалій експлуатації. Ґрунтуючись на дослідженнях термічного розкладання сумішей, здійснено вибір гранично допустимої температури їхнього нагріву. Одержані температурні залежності питомої теплоємності для рідкого та твердого стану матеріалів. На основі аналізу отриманих результатів рекомендовано суміш, що складається з 85.% парафіну та 15 % буровугільного воску для використання в теплових акумуляторах. Для даної суміші отримана температурна залежність

коефіцієнту теплопровідності. Крім того, в розділі наведена інженерна методика визначення ентальпії фазового переходу.

Четвертий розділ присвячений дослідженню процесу теплообміну при фазових переходах. Так як досліджений теплоакумулюючий матеріал має досить низьку теплопровідність, то, щоб частково покращити теплообмін, запропоновано використовувати капсульний тип теплового акумулятора. Кінетика нагрівання та охолодження теплоакумулюючого матеріалу досліджена для окремої циліндричної капсули, заповненої цим матеріалом. На підставі досліджень на створеній експериментальній установці одержано зміну температури теплоакумулюючого матеріалу з фазовим переходом під час нагрівання та охолодження. Показано, що при зарядці теплового акумулятора з фазовим переходом оптимальною швидкістю є така, що забезпечує рівність температур ТАМ та теплоносія в кінці циклу зарядки.

Також виконаний теоретичний розрахунок процесу теплообміну при фазових переходах з допомогою математичного пакету для моделювання COMSOL Multiphysics. Отриманий розподіл температур під час нагрівання з різною швидкістю та охолодження. Результати теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень мають хорошу відповідність.

У **п'ятому розділі** рекомендовані конструкції теплових акумуляторів капсульного типу та розроблено конструкцію експериментального зразка електричного термоакумулятора. Конструкція передбачає можливість додаткового обігріву приміщення в період зарядки та розрядки. Наведений розрахунок робочих параметрів для експериментального зразка.

Запропоновані схеми сушіння термолабільних матеріалів з використанням акумуляування теплоти фазового переходу, яке дасть можливість покращити умови зневоднення термолабільної сировини.

Показано доцільність використання для зарядки теплового акумулятора пільгової електричної енергії. Розрахований термін окупності систем електроопалення з акумуляуванням теплової енергії для різних категорій споживачів.

У **висновках** викладено результати дисертаційної роботи, які вирішують важливу науково-прикладну задачу, пов'язану з енергозбереженням за рахунок застосування акумуляування теплоти фазових переходів відносно дешевих сумішей органічних сполук, для яких проведено детальне дослідження їхніх властивостей.

В заключній частині дисертаційної роботи наведено список використаної літератури та додатки до основного змісту роботи.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.

Невпинно зростаючий дефіцит енергетичних ресурсів та постійне підвищення цін на паливо і електроенергію гостро ставлять питання енергозбереження, зокрема раціонального використання існуючих ресурсів. Одним з шляхів енергозбереження є забезпечення раціонального графіка навантаження на електричні мережі протягом дня. Стимулювання цього

передбачено введенням багатозонних тарифів, які передбачають економію коштів при споживанні електричної енергії в години нічних «провалів».

Акумулявання є одним з ефективних напрямків нічного споживання електроенергії. Перспективним способом є акумулявання теплоти фазового переходу матеріалу. Застосування таких систем забезпечує досить високу густину акумулявання енергії, яка визначається величиною теплового ефекту в результаті фазового переходу «тверде тіло-рідина» під час плавлення-кристалізації матеріалу.

На сьогодні стоїть питання вибору теплоакумулюючого матеріалу, який задовольнятиме ряду вимог і буде економічно вигідним. Для оцінки перспективності використання певного матеріалу в практиці теплового акумулявання необхідне детальне вивчення його властивостей, головним чином теплофізичних.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Корінчевської Т.В., що пов'язана з вирішенням завдань по підборі перспективних теплоакумулюючих матеріалів з фазовим переходом та дослідження їхніх властивостей з метою застосування в теплових акумуляторах, є актуальною.

Дисертаційна робота виконана в Інституті технічної теплофізики НАН України у відповідності з науковою тематикою інституту в рамках виконання науково-дослідної роботи «Дослідження тепломасопереносу в термохімічних і сорбційних процесах та створення теоретичних засад для розробки теплових насосів і акумуляторів теплоти» (2007-2011 рр., № ДР 0107U002128).

СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.

Наукові положення, висновки і рекомендації базуються на фундаментальних термодинамічних та теплофізичних законах. Їхня обґрунтованість забезпечується продуманою логікою викладення матеріалу та широтою опрацьованої літератури.

Достовірність результатів експериментальних досліджень обумовлена достатньою кількістю експериментів та задовільним узгодженням з результатами, наведеними у літературі для подібних матеріалів. Точність і надійність результатів забезпечується проведенням досліджень за апробованими стандартними методиками та використанням сучасних приладів вимірювання з комп'ютерною обробкою даних. Достовірність теоретичних результатів забезпечується застосуванням відомих рівнянь та апробованими методами їх вирішення за допомогою програмного пакету для моделювання.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Нові наукові результати, отримані в даній роботі полягають в наступному:

1. Запропоновано суміші на основі парафіну, буровугільного та поліетиленового воску, які є продуктом ливарного виробництва, для використання в системах акумулявання за рахунок теплоти фазового переходу.

2. Для даних сумішей визначені температури та питома теплота фазових переходів до та після багатократного нагрівання та охолодження сумішей. В результаті аналізу результатів обрано для використання, в якості теплоакумулюючого матеріалу, суміш 85% парафіну та 15% буровугільного воску, оскільки серед досліджуваних зразків він має найкращі теплофізичні властивості.

3. Отримані залежності питомої теплосмності та коефіцієнта теплопровідності від температури для теплоакумулюючого матеріалу в твердому та рідкому стані.

4. Досліджений вплив складу сумішей на основі парафіну, буровугільного та поліетиленового воску на температуру початку термічного розкладання.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Аналіз результатів досліджень з визначення температур та питомої теплоти фазових переходів, температури початку термічного розкладання, питомої теплосмності та коефіцієнта теплопровідності теплоакумулюючого матеріалу показав перспективність використання суміші на основі парафіну та буровугільного воску як робочого тіла теплових акумуляторів. Отримані дані щодо теплофізичних властивостей використовуються в теплових розрахунках та при проектуванні електричних теплових акумуляторів Холдингом «Інноваційно-технологічна група», що підтверджується актом.

За результатами дослідження процесу теплообміну теплоакумулюючого елемента визначені закономірності кінетики нагрівання та охолодження при фазовому переході, що дозволило встановити оптимальний режим нагрівання. За результатами досліджень теплофізичних властивостей теплоакумулюючих матеріалів розроблена конструкція електричного термоакумулятора капсульного типу. Розроблені технологічні схеми сушіння з використанням теплового акумулявання.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується одержаними патентами України на електричний термоакумулятор та конвективну теплонасосну сушильну установку із замкнутим контуром циркуляції сушильного агента.

ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Результати дисертації опубліковано в 1 статті у іноземному виданні, що індексується міжнародними наукометричними базами даних, 8 статтях у наукових фахових виданнях України, 1 патенті України на винахід, 1 патенті на корисну модель, 15 тезах доповідей на конференціях.

Вказані роботи опубліковано у відкритому друку, в яких повністю розкрито суть дисертаційної роботи та відображені основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі.

ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Експериментальні дані, отримані в розд. 4 носять обмежений

характер, оскільки отримані по показам однієї термопари в середній частині об'єму теплоакумулюючого матеріалу (ТАМу). Це обумовлено тим фактом, що в процесі плавлення ТАМ знаходиться в різних фазах (твердій і рідкій), температури яких можуть відрізнитись враховуючи конвективний рух рідкої фази та складний профіль границі фазових перетворень.

2. При розробці математичної моделі (розд.4) зроблено припущення про відсутність конвективної складової в рівнянні енергії. Разом з тим в ряді літературних джерел показано, що ця складова відіграє значну роль в процесах плавлення та кристалізації ТАМу. Не дано оцінок похибок, які при виникають при такому припущенні.
3. З тексту дисертації неясно які критеріальні співвідношення вибрані для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі в граничних умовах до рівняння (4,3) (стор. 135), що описує теплоперенос в експериментальному зразку досліджуваного ТАМу.
4. Слід зауважити, що запропонована в розд. 5 конструкція теплового акумулятора з використанням циліндричних капсул має досить складну будову, вимагає складної технології її виготовлення при малій масі ТАМу відносно загальної маси акумулятора (близько 10%). З нашої точки зору більш доцільно використовувати конструкції акумуляторів, у яких ТАМ знаходиться безпосередньо у корпусі акумулятора, а нагрівання та охолодження ТАМу відбувається через пучки труб, які знаходяться в масі ТАМу. В такій конструкції маса ТАМу відносно загальної маси акумулятора суттєво збільшується, а вага акумулятора зменшується при однаковій тепловій потужності.
5. В наведеній методиці розрахунку теплового акумулятора (розд. 5) не враховано, що зовнішні ребра на його поверхні мають теплову ефективність меншу за одиницю і тому при розрахунках коефіцієнта теплопередачі через ребрену поверхню замість конвективного коефіцієнта тепловіддачі необхідно використовувати приведений коефіцієнт тепловіддачі.

ВИСНОВОК

Дисертація Корінчевської Т.В. на тему «Теплофізичні властивості теплоакумулюючих матеріалів з фазовим переходом на основі органічних сполук» є завершеною науковою роботою, в якій на підставі виконаних автором на сучасному рівні експериментальних і теоретичних досліджень вирішено важливі наукові і практичні задачі і отримано нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності є суттєвим доробком для подальшого розвитку актуальних напрямків у галузі технічної теплофізики і промислової теплоенергетики, зокрема для розвитку енергозберігаючих технологій.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика».

За актуальністю, новизною, глибиною досліджень, достовірністю та практичною цінністю, об'ємом та змістом дисертаційна робота повністю

відповідає встановленим вимогам п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, Корінчевська Т.В., заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач кафедри теплоенергетики
Навчально-наукового інституту
енергетики, автоматики і
енергозбереження
Національного університету
біоресурсів і природокористування
України



В.Г. Горобець

Підпис д.т.н. Горобця В. Г. засвідчую.

