

ВІДГУК

на дисертаційну роботу Коник Аліни Василівни «Теплофізичні основи систем дискретного опалення з застосуванням теплових акумуляторів емнісного типу», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Актуальність теми

У країнах Європейського союзу мобільні теплові акумулятори створюються з метою накопичення і транспортування теплової енергії від джерел генерації зеленої енергетики до віддалених поодиноких споживачів. Таке застосування МТА зумовлює відносно не високі температури акумуляування та застосування процесів з фазовим переходом. На території України мобільне транспортування теплової енергії орієнтовано на застосування при виникненні надзвичайних та аварійних ситуацій в умовах бойових дій для забезпечення теплом інфраструктурних, військових та побутових споживачів, що є важливою і актуальною задачею на сьогоднішній день. У якості джерела можуть бути використані як об'єкти зеленої енергетики так і скидна теплота підприємств.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність

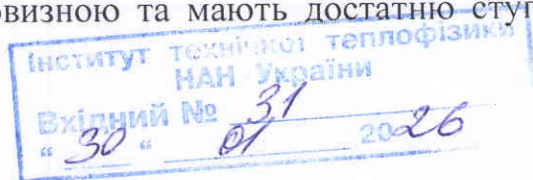
Аналіз поданої до захисту дисертації та публікацій дисертантки дозволяє дійти висновку, що наукова обґрунтованість і достовірність викладених у них результатів забезпечується використанням загальноприйнятих розрахункових методик, що базуються на класичних аналітичних та чисельних підходах, чітким визначенням об'єкту та предмету дослідження, мети і завдань дисертаційної роботи, системним дослідженням та узагальненням результатів наукових розробок вітчизняних та зарубіжних фахівців з тепломасообміну та гідродинаміки.

Наукові положення дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими. Сформульовані висновки є конкретними та стосуються важливих аспектів акумуляування теплової енергії.

Наукові результати та положення дисертаційної роботи знайшли практичне використання.

Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації

Наукові положення, висновки, які характеризуються науковою новизною, сформульовані автором самостійно. Вони відображають її науковий внесок у розв'язання комплексу задач що пов'язані з процесами акумуляції теплоти. Аналіз змісту дисертаційної роботи Коник А.В. дає підстави стверджувати, що сформульована автором мета дослідження досягнута, завдяки вирішенню поставлених задач. Результати аналітичних, чисельних та експериментальних досліджень характеризуються науковою новизною та мають достатню ступінь апробації.



Серед найбільш вагомих наукових результатів дисертаційного дослідження, які вперше досягнуті, слід відзначити:

1. Вперше сформульовано теоретичні підходи на основі проведеного аналітичного та чисельного моделювання тепломасообмінних та гідродинамічних процесів теплового акумулювання для оптимізації конструкції мобільного теплового акумулятора, а саме:

- вперше аналітично досліджено процес теплообміну всередині «теплового ядра» заповненого матеріалом в якому відбувається процес фазового переходу;

- розвинуто теорію радіаційно-конвективного теплообміну при плівковому кипінні рідини біля вертикальної нагрітої пластини. Досліджено стаціонарну та нестаціонарну задачі теплообміну з урахуванням, що остання описує миттєве (вибухове) кипіння рідини на нагрітій поверхні. Вперше отримано аналітичний розв'язок задач стаціонарного режиму для граничних умов, що мають постійну температуру стінки та постійний тепловий потік через стінку. В результаті рішення нестаціонарної задачі, отримано зміни профілів температури та коефіцієнта тепловіддачі у паровій плівці в залежності від часу. Визначено вплив випромінювання (число Старка) на коефіцієнт тепловіддачі;

- розвинуто нестаціонарну модель осцилюючого потоку рідини у плоских та циліндричних каналах з пористим середовищем. Проведено порівняння аналітичних даних з чисельними результатами, одержаними за допомогою методу ґраток Больцмана. Показано, що поведінка осцилюючого потоку рідини при впливі осцилюючого градієнту тиску визначається двома безрозмірними параметрами – числами Струхаля та Дарсі.

2. Вперше досліджено теплофізичні властивості новоствореної вибухо- і пожежобезпечної теплоакумулюючої рідини на основі водорозчинних полімерів протягом використання чотирьох опалювальних сезонів, а саме питомої теплоємності, термоциклічності, густини та водневого показника.

3. Вперше застосовано комбіновану модель, що об'єднує молекулярну динаміку та дисипативну динаміку частинок для моделювання взаємодії часток теплоакумулюючої рідини.

Практичне значення отриманих результатів

1. За результатами математичного моделювання і комплексних експериментальних досліджень створено систему дискретного опалення з застосуванням дослідного зразка мобільного теплового акумулятору. Дискретну систему опалення було застосовано вперше під час аварійних відключень в ІТТФ НАН України (м. Київ, вул. М. Капніст, 2а) та медико-реабілітаційному центрі МВС України «Кремінці» (с. Татарів, Івано-Франківська область).

2. Створено дослідний зразок мобільного теплового акумулятору МТА-0,5МВт, застосування якого дозволило забезпечити стале тепlopостачання в корпус медико-реабілітаційного центру МВС України «Кремінці» та заощадити 2700 кВт·год за опалювальний період 2022-2023 рр.

3. Оптимізовано конструкцію ємнісного акумулятора в якій застосовано три робочих тіла – теплоносій (вода), нова композиція теплоакумулюючої рідини та матеріалу з фазовим переходом, що дозволило підвищити теплову акумуляцію і подолати тепловому стратифікацію по висоті ємності.

4. За результатами математичного моделювання і комплексних експериментальних досліджень створено і застосовано нову вибухо- і пожегобезпечну композицію теплоакумулюючої рідини та підбрано відповідно до температурних режимів мобільного теплового акумулятору матеріал з фазовим переходом (плавлення / затвердіння), що дозволило підвищити теплове акумуляування до 56 % в МТА-0,5МВт.

5. Створено нову композицію теплоакумулюючої рідини на основі водорозчинних полімерів природного походження та експериментально досліджено її теплофізичні параметри, це дозволило встановити строк її експлуатації – не менше 2-4 років.

6. Результати математичного моделювання теплоомасообмінних та гідродинамічних процесів мобільного теплового акумуляування використані в розробці методичного забезпечення освітніх програм бакалаврів і магістрів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Повнота викладення наукових положень, матеріалів, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях

Основний зміст дисертації викладено в 23 публікаціях. Здобувач є співавтором 1 монографії; 9 статей опубліковано в наукових фахових виданнях України; 7 статей опубліковано в виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science; 4 статті опубліковано в закордонних фахових виданнях; 2 патентів України на винахід. Результати досліджень по дисертаційній роботі доповідалися на 15 міжнародних наукових конференціях, про що свідчать опубліковані тези доповідей.

Коротка характеристика змісту роботи

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою. Текст дисертації складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 235 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 386 сторінок машинописного тексту. Робота містить 105 рисунків та 20 таблиць.

Відповідно до змісту роботи у *вступі* викладена та обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи. Показаний зв'язок наукових досліджень з науковими програмами, планами і темами, співвиконавцем яких є здобувач. Сформульовані мета і основні завдання досліджень, описані об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено положення про наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, а також наведено дані про апробацію результатів

дисертаційної роботи на конференціях, та представлено відомості про особистий внесок здобувача та його публікації за темою дисертації.

У *першому розділі* дисертації наведений огляд літературних джерел за темою дисертаційної роботи. Розглянуто сучасний стан проблем теплопостачання. Представлено загальний напрям розвитку систем теплопостачання. Наведено основні характеристики кожного з етапів з описом проблем та методами їх вирішення, що виникали на кожному з них. Одним з пріоритетних напрямків, що виник у перехідному режимі від 4 до 5 етапів - транспортування теплової енергії альтернативними способами за допомогою мобільних теплових акумуляторів.

Визначено основні способи акумуляції теплоти, що доцільно застосовувати при мобільному транспортуванні теплової енергії. Найбільш перспективними є термохімічний метод, що дозволяє забезпечити високу температуру акумуляції та застосування матеріалів з фазовим переходом при не високих температурних режимах до 150°C.

Обґрунтовано актуальність створення мобільного теплового акумулятору та доцільність його застосування в умовах бойових дій та надзвичайних ситуацій, що базується на принципах тепломасообміну і гідродинаміки. В результаті аналізу літературних джерел та з урахуванням складного технологічного стану теплопостачання в Україні було сформульовано науково-технічну проблему.

Другому розділі аргументовано висвітлені проблеми і перспективи розвитку процесів акумуляції теплоти. Аналізуються різні технології та обладнання, яке дозволяє забезпечити різні теплові потужності, температурні діапазони та час акумуляції. З огляду на перехід до помірних діапазонів температур 4 і 5 поколінь систем теплозабезпечення, де у якості джерела застосовуються об'єкти зеленої енергетики, найбільш перспективним, вважає автор, є акумуляція на основі технології прихованого (латентного) зберігання енергії або теплоти фазового переходу. В якості робочого тіла пропонується матеріали або речовини в яких відбувається фазовий перехід. Таку технологію застосовують у мобільних теплових акумуляторах, оскільки основною перевагою є значна теплопродуктивність при відносно не великих об'ємах.

Значну увагу приділено методам математичного моделювання, які були застосовані при вирішенні задач тепломасообміну та гідродинаміки при тепловому акумуляванні.

У *третьому розділі* автором виконане моделювання процесу теплообміну, яке відбувається в коаксіальній трубі – «тепловому ядрі», яка заповнена матеріалом здатним до фазового переходу. Проведене моделювання дозволило теоретично дослідити зміну температури матеріалу з фазовим переходом при нагріванні/охолодженні та розподіл температури по ширині циліндра «теплого ядра».

Дисертанткою за результатами математичного аналізу було отримане рівняння, що описує процес нагрівання матеріалу з фазовим переходом всередині «теплого ядра», враховуючи радіальне перенесення теплоти.

У роботі автором отримано розв'язок задачі спряженого теплообміну при плівковому кипінні рідини на вертикальній пластині. Розглянуто стаціонарну та нестаціонарну задачі теплообміну, остання з яких описує миттєве (вибухове) кипіння рідини на нагрітій поверхні. Показано вплив випромінювання та різниці температур між стінкою та рідиною на профіль температури в паровій плівці.

В результаті вирішення нестаціонарної задачі отримано залежну від часу зміну профілю температури та коефіцієнта тепловіддачі в паровій плівці. Показано вплив випромінювання (числа Старка) на коефіцієнт тепловіддачі.

Розроблено нестаціонарну модель осцилюючого потоку рідини у плоских та циліндричних каналах з пористим середовищем. Аналітичні дані порівнювалися з чисельними результатами одержаними за допомогою методу ґраток Больцмана.

У *четвертому* розділі представлено результати комплексних експериментальних досліджень розробки теплоакумуючої рідини. Проведено експериментальні дослідження основних теплофізичних властивостей, надано рекомендації щодо їх використання.

Дисертанткою розроблені методики досліджень теплоакумуючої здатності методом T-history, питомої теплоємності, густини, водневого показника теплоакумуючої рідини. Створено необхідні експериментальні стенди. Точність і надійність результатів експериментальних досліджень зумовлена використанням сучасних вимірювально-реєструючих приладів.

В результаті проведених комплексних експериментальних досліджень встановлено доцільність використання у складі теплоакумуючого матеріалу – води, антифризу, ксантанової і гуарової камеді. Експериментально встановлено, що відбувається поступове зниження теплоакумуючої здатності зразків створеної теплоакумуючої рідини. Встановлено, що досліджені показники не мають обмежуючого характеру при експлуатації мобільного теплового акумулятору МТА–0,5МВт.

У *п'ятому* розділі представлено результати чисельного моделювання процесів утворення структури в колоїдних системах теплоакумуючого матеріалу з застосуванням програм Scalable molecular dynamics NAMD та Visual Molecular Dynamics. Результати моделювання дозволяють отримати уявлення щодо механізмів утворення різних видів міцел і формування їх структур. При моделюванні утворення структур у колоїдів проблемою є різниця просторово-часових масштабів компонент досліджуваного середовища. Так, для прикладу, у водному розчині колоїдні частки мають розмір $1,0 \times 10^{-8}$ м (10 нм), а молекула води має діаметр близький до $3,0 \times 10^{-10}$ метра (0,3 нм). Очевидно, що різниця в просторових масштабах суттєва. Аналогічна проблема виникає і при урахуванні

часових масштабів, оскільки є різниця у швидкості руху частинок колоїду і молекули води.

Для вирішення цих проблемних питань дисертантка пропонує застосовувати метод дисипативних часток DPD, зробивше припущення про розгляд рідинного дисперсного середовища в колоїдних системах, як ансамбль крапель рідини (soft particle), розміри яких близькі до розмірів колоїдних частинок. Таке припущення дозволяє вирішити проблему різниці масштабів системи зрівнявши їх, при цьому зберігається достовірність отриманих результатів. В результаті проведеного моделювання досліджено співвідношення потенціалів систем «колоїд-колоїд»/ «колоїд-розчинник» з метою утворення результуючих структур. На підставі досліджень встановлено співвідношення потенціалів до структуроутворення часток сухих речовин теплоакумулюючої рідини. Результати досліджень експериментальної і розрахункової структур системи, що містять помітні глобулярні структури колоїдних часток, якісно досить добре корелюються, що свідчить про адекватність застосування даної моделі для акумуляційних рідин.

У шостому розділі дисертантом представлена методика вибору та дослідження теплофізичних параметрів матеріалів з фазовим переходом, які можуть бути застосовані в «тепловому ядрі». Було проведено цикл з трьох досліджень для кожного зразка за однакових умов проведення експерименту. Отримані дані для кожного зразка представлені як середнє значення теплоємності матеріалу в температурному діапазоні від 30°C до 105°C. На основі аналізу експериментальних результатів зміни теплоємності в залежності від температури нагріву, був обраний зразок церезину, оскільки в робочому діапазоні температур МТА від 30°C до 90°C він має складний пік, що потенційно дозволяє отримати вищу акумуляційну здатність. Крім того, автором за результатами експериментальних досліджень методом T-history встановлено, що церезин при тривалому термоциклуванні до 40 циклів забезпечує безпечність і надійність його використання.

У сьомому розділі дисертанткою для розробки універсальної оптимізованої конструкції теплового акумулятора (ТА), який може бути використаний в різних системах теплопостачання, в тому числі і акумуляційній секції мобільного теплового акумулятора МТА-0,5МВт, було проведено технологічні і конструктивні розрахунки.

На підставі розрахунків була визначена конструкція і виготовлений тепловий акумулятор емнісного типу з двома робочими емностями і застосуванням трьох робочих тіл – теплоакумулюючої рідини, яка заповнює весь об'єм емності ТА; матеріалу з фазовим переходом, що розташований у «тепловому ядрі» встановленому по центру емності ТА і вода у якості теплоносія, що рухається по спіралі у «змієвиковому» теплообмінному елементі. Проведено натурні випробування дослідного зразка мобільного теплового акумулятора

МТА-0,5МВт, за результатами досліджень обладнання виведено на стандартний режим роботи і передано на дослідну-експлуатація в Медикореаблітаційний центр МВС «Кремінці».

Висновки достатньо повно відображають хід розв'язання поставлених у роботі завдань, містять основні результати дисертаційного дослідження та їх аналіз.

Список використаних джерел повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Відповідність роботи вимогам МОН України

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, виконана на достатньо високому науково-теоретичному рівні, оформлена у повній відповідності нормам і правилам Міністерства освіти і науки України щодо написання та оформлення дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук.

Автореферат за структурою і технічним оформленням відповідає визначеним Міністерством освіти і науки України стандартам, його зміст повністю відповідає змісту дисертаційної роботи.

Дискусійні питання та зауваження до дисертаційної роботи, які потребують пояснень:

Представлений текст дисертаційної роботи дає змогу зробити висновок про високий науково-дослідницький рівень отриманих результатів, їх оригінальність та вагомість авторських узагальнень.

Аналізуючи зміст поданої до захисту дисертаційної роботи та зроблені висновки, вважаю за потрібне визначити низку дискусійних положень, а саме:

1. Потребує пояснення, яким чином в процесах "нагрівання- охолодження" густина РСМ вважається постійною при постійній масі, в той же час, теплоємність є функцією температури (с.87,)?
2. Потребує пояснень, яким чином корелюються результати між собою, які наведені на рис. 3.1.2 і 3.1.3. . Крім того, на рис. 3.1.2 необхідно навести пояснення стосовно експериментальних точок 1.1, 1.2, ..., 2.3.
3. На скільки правовірним було прийняти, що природна та вимушена конвекція на границі зі зовнішньою і внутрішньою поверхнями теплової вставки відсутня а температура РСМ на границі внутрішньої і зовнішньої поверхонь «теплового ядра» в будь-який момент часу має однакове значення ($T_{w1} = T_{w2}$) (с.101)? Згідно з результатами на рис. 3.1.4 вони мають дещо відмінні значення.
4. В дисертаційній роботі розглядається випадок коли парова плівка на нагрітій стінці виникає миттєво (миттєве кипіння) (с.115). Наскільки правомірний такий підхід до розгляду процесу? Яка при цьому величина густини теплового потоку на стінці і наскільки вона відрізняється від критичного значення?
5. За результатами досліджень було встановлено, що (рис. 3.2.5) збільшення

радіаційного теплового потоку призводить до інтенсифікації спряженого теплообміну. При цьому температура парової плівки змінюється від перегрітої T_w до температури насичення T_s . Яким чим при визначенні числа Старка Sr враховуються зміна теплофізичних властивостей пари?

6. Чим можливо пояснити характер зміни теплоємності церезиту і збільшення його маси в результаті циклічної роботи (рис. 6.3.4)?
7. На підставі яких міркувань був обраний варіант суцільної ізоляції всіх восьми акумуляторів, а не виконати її індивідуально для кожного, зберігаючи в такому варіанті можливість їх обслуговування в процесі експлуатації?
8. При представленні результатів фізичного і чисельного експерименту по дослідженню гідродинаміки і теплообміну у МТА необхідно навести аналіз похибки досліджень і обробки експериментальних даних.

Вказані зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертаційної роботи Коник А.В., яке має велике значення для розвитку методів акумуляції теплоти в локальних системах теплозабезпечення.

ВИСНОВОК

Отримані результати та висновки мають наукову новизну, важливе теоретичне та практичне значення, роблять безперечний внесок у розвиток теоретичних досліджень процесів тепломасообміну і гідродинаміки в мобільних акумуляторах теплоти. Дослідження виконано на високому науковому рівні, матеріал викладено чітко й обґрунтовано. Використано багато графічних узагальнень результатів моделювання, що значно полегшує сприйняття матеріалу. Усі висновки є чітко аргументованими.

Дисертаційна робота Коник Аліни Василівна «Теплофізичні основи систем дискретного опалення з застосуванням теплових акумуляторів ємнісного типу» є науковою працею, яка відповідає пунктам 7, 9, «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. №1197 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від № 502 від 19.05.2023), а її автор, Коник Аліна Василівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
професор Національного технічного
університету України

«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
завідувач кафедри атомної енергетики

Підпис В.Туза засвідчую



Валерій ТУЗ

перший заступник
Олександр СІРИЙ