

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора фіз.-мат. наук, професора Гаврюшенка Д.А. на дисертацію роботу Євтушенка Олексія Васильовича на тему «Процеси трансформації та дисипації механічної і теплової енергії в складних термодинамічних системах», яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Структура та обсяг дисертації. Роботу Євтушенка О.В. виконано на кафедрі теплотехніки та енергозбереження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України. Дисертація складається з переліку умовних скорочень і позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Об'єм основного тексту дисертаційної роботи становить 168 сторінок, робота містить 20 рисунків, 4 таблиці та 6 додатків на 33 сторінках. Список використаних джерел містить 216 найменувань. Додаток містить інформацію щодо значень механічного еквіваленту теплоти; детальне описання перетворень, що використовувались у роботі; характеристики установок Джоуля; параметри гетерогенної системи.

Оформлення дисертації. Дисертаційна робота Євтушенка О.В. оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

Матеріал дисертації викладено в послідовності, яка відповідає поставленим в роботі задачам, представлений матеріал викладено грамотною мовою.

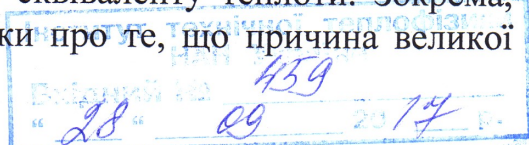
Обсяг і структура роботи відповідає необхідним вимогам, які встановлено ДАК МОН України.

Зміст автореферату дисертації ідентичний змісту дисертації, і відображає основні положення роботи. Автореферат дисертації написаний українською мовою.

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.

Основний зміст роботи. У вступі висвітлено стан проблеми, обґрунтовано актуальність її вирішення, сформульовано мету і завдання дослідження, наведені загальна характеристика роботи, наукова новизна та практична цінність, особистий внесок здобувача, а також відображено апробацію одержаних результатів на наукових конференціях та повноту викладення матеріалів дисертації в опублікованих роботах.

У першому розділі розглянуто сучасні уявлення щодо впливу поверхневих явищ на визначення механічного еквіваленту теплоти. Зокрема, наведено дані, які дозволяють зробити висновки про те, що причина великої



дисперсії значень механічного еквіваленту теплоти полягає не лише в різній похибках при проведенні експериментальних робіт та у відсутності точних знань в ті часи про фізичні характеристики використовуваних речовин, а саме в методології вирішення проблеми. Наведено опис відповідних експериментальних методів, вказано на специфічні властивості води.

За допомогою аналізу проведеного огляду літературних джерел були означені невирішені проблеми і завдання дослідження, також було вибрано об'єкти дослідження.

У другому розділі наведено термодинамічний опис термомеханічних систем з різною природою дисипації механічної енергії. Зокрема, в межах застосування класичної механіки та термодинаміки розвинуто математичний апарат, який дозволяє описати процеси перетворення енергії в складних термомеханічних системах з багатьма ступенями вільності. Крім того, представлено класифікацію робіт в термодинаміці, наведено розгорнуте формулювання принципу еквівалентності роботи і теплоти та відповідні основні диференціальні рівняння. В рамках даного підходу пропонується аналізувати складні системи в новому фазовому просторі узагальнених координат та потенціалів. Даний підхід дозволив записати диференціальне та інтегральне рівняння руху (енергії) термомеханічної системи з багатьма степенями вільності; записати узагальнене рівняння стану термомеханічної системи на базі об'єднаної системи рівнянь Лагранжа – Гамільтона (механічна частина) та рівняння Клаузіуса (теплова частина); записати характеристичні функції, співвідношення Максвелла та рівняння Гіббса-Гельмгольца, які містять час.

Запропонований метод дає можливість досліджувати процеси часового перетворення енергії в складних системах, що, в свою чергу, дозволяє дослідити вплив просторової конфігурації установки Джоуля та динаміки вантажу на процеси перетворення енергії в термомеханічних системах з різною природою трансформації та дисипації механічної енергії.

У третьому розділі наведено детальний теоретичний аналіз перетворення енергії в експериментальній установці Джоуля на базі розробленого аналітичного методу, проведено моделювання різних режимів падіння вантажу в умовах різної природи дисипації механічної енергії.

Автором зроблено висновок про те, що обрані Джоулем умови функціонування системи у сукупності із використанням спеціально сконструйованої двоярусної мішалки з великим гідродинамічним опором забезпечували достатньо швидкий вихід системи на стаціонарний режим, тобто рівномірний рух вантажу, що гарантувало незмінність кінетичної енергії протягом часу його опускання. Похибка в дослідах з в'язким та сухим тертям, обумовлена кінетичною енергією, в загальному енергетичному балансі механічної енергії менша одного відсотка.

У четвертому розділі проведено теоретичний аналіз термодинамічних та теплофізичних особливостей гетерогенних ліофобних систем (зокрема, проаналізовано рівняння стану, термодинамічні функції, співвідношення Максвелла і Гіббса-Гельмгольца, термічні коефіцієнти, ефективну теплопровідність), а також експериментальні дослідження термомеханічної поведінки двох гетерогенних ліофобних систем на базі води та матриці

силікаліт-1 з радіусом пор 0.3 нм; а також гідрофобізованого силікагелю з радіусом пор 38 нм.

Автором наведено експериментально отримані температурні залежності механічної роботи інтрузії-екструзії води в нанопори силікаліту-1; температурні залежності роботи і теплоти інтрузії-екструзії води в мезопори гідрофобного силікагелю. Представлений теоретичний аналіз цих даних дозволив виявити ефект розсіювання теплової енергії в гетерогенних ліофобних системах. Крім того, отриману експериментально температурну залежність співвідношення «робота/теплота» було теоретично обґрунтовано.

Автором показано, що гетерогенні ліофобні системи на базі нанопористого силікаліту-1 і води у діапазоні температур 10–80°C поведуться як молекулярна пружина з малими гістерезисними втратами, які не перевищують 5%, проте інтенсивний механічний вплив у вигляді періодичних циклів примусової інтрузії – самовільної екструзії призводить до появи на поверхні пор силанольних груп, що істотно знижує величину накопичуваної енергії.

У п'ятому розділі розглянуто прикладні аспекти використання результатів, отриманих в роботі. Зокрема, здатність гетерогенних ліофобних систем під впливом температури змінювати співвідношення між механічною роботою і теплою в термодинамічних перетвореннях покладена автором в основу розробки системи перетворення теплової енергії в механічну і електричну. Запропонована схема може бути реалізована в паросилових установках утилізації теплоти конденсації; вдосконалення теплотехнічної системи теплосилових установок; зниження температури води, що охолоджується в конденсаторі; реалізована в системах накопичення енергії та вирівнювання електричних навантажень в мережі.

Користуючись характеристиками і показниками сучасних електростанцій, автор показав, що застосування розробленої ним системи перетворення теплової енергії дозволяє збільшити термічний ККД на 2%. Таким чином, за рахунок більш раціонального використання теплоти конденсації пари в конденсаторах КЕС, ТЕС і АЕС шляхом застосування запропонованої системи перетворення енергії, щонайменше, може бути компенсовані витрати електроенергії на власні потреби електростанції.

У висновках викладено результати дисертаційної роботи, які вирішують важливу науково-прикладну задачу, пов'язану із поглибленням і удосконаленням наукових уявлень щодо процесів дисипації та трансформації механічної і теплової енергії в гетерогенних ліофобних системах та інструментах Джоуля для визначення механічного еквіваленту теплоти з метою отримати відповідь на питання щодо однозначності поняття і його універсальності.

У заключній частині дисертаційної роботи приведено список використаної літератури та додатки до основного змісту роботи.

Усі розділи дисертаційної роботи логічно пов'язані між собою і є завершеною науковою роботою.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Розв'язання задачі ефективного енергоперетворення, акумулювання та дисипації механічної і теплової енергії в енерготехніці можливе лише із залученням принципово нових явищ на величезних міжфазних поверхнях контакту «рідина – тверде тіло» в гетерогенних ліофобних системах. Така система – це складна термодинамічна система, яка складається із пористої твердої матриці з надрозвинутою міжфазною поверхнею та рідини, яка не змочує цю матрицю. В процесі термодинамічних перетворень, крім роботи пружної деформації виконується примусова ізотермічна робота інтрузії (перетворення теплоти і механічної роботи в поверхневу енергію Гіббса) та самовільної екструзії (вивільнення накопиченої механічної роботи і теплоти – ефект молекулярної пружини). Напрямок, який досліджує характеристики гетерогенних ліофобних систем, важливі для створення нової енерготехніки, отримав назву «Термомолекулярна енергетика», оскільки в основі енергоперетворення лежить залежність сил міжмолекулярної взаємодії від температури. В світлі вищесказаного корисним представляється окреслити коло фундаментальних проблем, які підлягають дослідженню з метою розуміння термодинамічних особливостей гетерогенних ліофобних систем. Зокрема, розширити погляд на природу взаємозв'язку між роботою та теплою в складних термодинамічних системах, оскільки в силу специфіки системи співвідношення (еквівалентність) «робота/теплота» приймає незвичний для традиційних систем вигляд залежної від температури величини.

Дослідження такого характеру є важливим за двома причинами. По-перше, частково розкриває природу дисперсії експериментальних значень механічного еквіваленту теплоти, отриманих дослідниками 19-20 ст. По-друге, виявлений вплив температури на характер розподілу між механічною і тепловою формою внутрішньої поверхневої (потенціальної) енергії гетерогенного робочого тіла в термодинамічних перетвореннях (в машинах та пристроях) розширює можливості енерготехніки на їх основі.

Високий рівень розвитку технічної термодинаміки за двовіковий період її розвитку дозволив створити досконалі теплові пристрої, тому сучасні теплові двигуни і теплосилові установки практично досягли свого граничного рівня конструктивної і термодинамічної досконалості. Для того, щоб вийти на принципово новий рівень величини акумулювання теплової енергії і дисипації механічної, потрібно запропонувати нову термодинамічну парадигму: використовувати як робоче тіло не лише об'ємну фазу в звичайних машинах, а й поверхневу в конденсованій системі «рідина – тверде тіло» (так зване «двомірне» робоче тіло з його екстенсивним параметром «поверхня» на відміну від «об'єму» у традиційних робочих тілах, таких як газ).

Ізотермічний процес стиснення гетерогенної системи дозволяє накопичувати механічну енергію (роботу Гіббса) і теплоту (теплота ізотермічного утворення міжфазної поверхні). У разі самовільного ізотермічного розширення (скорочення міжфазної поверхні) кластери рідини залишають пори під дією фобних сил відштовхування і гетерогенна система виділяє раніше накопичену механічну і теплову енергію.

СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

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

Всі отримані в роботі результати узгоджуються з сучасними уявленнями про природу явищ, що досліджувались. Отримані залежності в граничних випадках дають добре відомі та перевірені результати для відповідних систем, а також підтверджуються результатами наявних експериментальних досліджень. Всі результати отримано в рамках класичних підходів, які неодноразово перевірялись на різних системах.

Достовірність одержаних результатів експериментальних досліджень обумовлена достатньою кількістю експериментів, їх повторюваністю за тих самих умов.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

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

- в рамках класичної механіки та термодинаміки запропоновано новий підхід щодо опису процесів енергоперетворення в складних термодинамічних системах з багатьма ступенями вільності за участі механічних сил різної природи;
- розроблена математична модель установки Джоуля щодо визначення механічного еквіваленту теплоти за умов наявності різних сил тертя;
- отримано термомеханічні характеристики гетерогенних ліофобних систем на базі нано- і мезопористих матеріалів;
- експериментально отримано температурну залежність співвідношення «робота/теплота» ізотермічного процесу утворення міжфазної поверхні в гетерогенних ліофобних системах.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Практичне значення результатів, отриманих в даній роботі, полягає в наступному: запропонований аналітичний метод щодо аналізу процесів перетворення енергії в складних термодинамічних системах за участі різної природи механічних сил може бути корисним при моделюванні енергодинамічних характеристик пристроїв різного призначення, наприклад, демпферів; отримані калориметричні дані по інтрузії / екструзії рідини в нано- і мезопори можуть бути корисними при створенні акумуляторів теплової енергії. Принцип дії полягає в ендотермічності ефекту ізотермічного стиснення гетерогенних ліофобних систем, та екзотермічного процесу її ізотермічного самовільного розширення; отримана температурна залежність співвідношення «робота/теплота» ізотермічного процесу утворення міжфазної поверхні в гетерогенних ліофобних системах може бути застосована для розробки систем перетворення теплової енергії в механічну роботу. Принцип дії полягає у можливості здійснення термодинамічних перетворень у двох температурних

зонах: акумулювання теплової енергії в зоні високих температур і отримання корисної механічної роботи в зоні низьких температур; отримані температурні характеристики гетерогенних ліофобних систем на базі гідрофобних мезопористих матеріалів та води можуть використовуватися при створенні інтелектуальних пристроїв з підвищеною здатністю розсіювати механічну енергію; матеріали, що отримані в ході виконання дисертаційної роботи та опубліковані в наукових виданнях, використовуються в наукових дослідженнях та навчальних програмах курсів «Термодинаміка», «Термодинаміка складних систем» та «Основи термомолекулярної енергетики та технології» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, що підтверджується відповідним актом впровадження.

ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Результати дисертаційної роботи опубліковано у п'яти у наукових фахових виданнях, які індексуються наукометричними базами. Крім того, отримані результати опубліковані у п'яти тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях.

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

ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Для кількості теплоти введено невдалі позначення (наприклад, стор. 62). Фраза «кількість теплоти... визначається деякою функцією S^{ext} , яка називається ентропією, обумовленою обміном теплової енергії з зовнішнім середовищем», є некоректною, і знаходиться в протиріччі з наведеним далі виразом $dS^{ext} = \delta Q^{ext} / T$. Незрозумілим залишається термін «дисипація механічної і теплової енергії».
2. Застосування скейлінгового виразу для коефіцієнту поверхневого натягу у вигляді, наведеному на стор. 62, обґрунтовано виключно для нескінчених систем. Для рідин в обмежених системах, з якими має справу автор, в околі критичної точки необхідно виконувати процедуру кінцевомірного масштабування, а в широкому інтервалі зміни термодинамічних параметрів системи необхідно також враховувати поправку Тейта для коефіцієнту поверхневого натягу. Крім того, для відповідного критичного показника у формулі (2.36) застосовано загальноживане позначення μ , тоді як у формулах (4.4), (5.2) той самий критичний показник позначено n .
3. Автор записує перший закон термодинаміки у некоректному вигляді (наприклад, вираз (2.24)), забуваючи, що кількість теплоти є лише одним з шляхів саме зміни внутрішньої енергії системи, і не є функцією стану. Визначення роботи проштовхування як різниці між миттєвими роботами

- є некоректним, так як робота в термодинаміці також не є функцією стану (стор. 110).
4. Наведена на стор. 59 – 62 класифікація не є фізично обґрунтованою. По-перше, величина r є розмірною, тому її порівняння з одиницею не є коректним. По-друге, в першому випадку (так звані прості системи), умова $r \rightarrow \infty$ не є умовою застосування моделі класичного ідеального газу. Наприклад, при застосуванні термодинамічної межі (в цьому випадку умова також $r \rightarrow \infty$ виконується) рівняння стану системи не зміниться. По-третє, виконання умови $r \gg 1$ не забезпечує гомогенність термодинамічної системи (наприклад, системи у зовнішніх полях).
 5. На стор. 59 наведено загальний вираз для статистичної суми класичних та квазікласичних систем, обчисленої в рамках канонічного ансамблю, а також загальний зв'язок між статистичною сумою та внутрішньою енергією як функцією температури, кількості частинок та об'єму системи. Ці вирази є загальновідомими, і записувати їх для обчислення калоричного рівняння стану та теплоємності ідеального газу не варто.
 6. Наведене на стор. 82 визначення ентропії у формі « S – повна ентропія системи, яка складається з обмінної ентропії S^{ext} та ентропії дисипації S^{int} » не є коректним. За Пригожиним, розділити на два доданки можна лише зміну ентропії: $dS = d_i S + d_e S$, записаний автором вираз $S = S^{int} + S^{ext}$ є некоректним і суперечить другому закону термодинаміки.
 7. На мою думку, об'єм розділів II та III доцільно було скоротити, що б дозволило більш яскраво відтінити отримані автором результати. Важливо відзначити те, що в роботі інколи важко зрозуміти, де закінчується огляд літературних даних, і де починається опис оригінальних результатів.
 8. В тексті дисертаційної роботи зустрічаються неточності, наприклад, некоректне виживання терміну «рівняння Максвелла» замість «співвідношення Максвелла» (наприклад, стор. 129); некоректне вживання терміну «ансамбль» (стор. 22); невдалий термін «точність розрахунків» (стор. 104) замість «похибки розрахунків»; твердження «метод термодинамічних потенціалів є строгим апаратом математичного аналізу» (стор. 125) є помилковим; фраза на стор. 118 (починається «Як видно, в масштабі розмірності метри-сантиметри представлена робоча камера «поршень-циліндр»») є незрозумілою; друкарські помилки (Гаус, стор 123, Гібс на багатьох сторінках тощо).

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист дисертантом. Крім того, вказані недоліки в основному мають характер побажань для подальшої роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Євтушенка О.В.

ВІДПОВІДНІСТЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИМОГАМ ДАК УКРАЇНИ

В результаті вивчення представленої дисертаційної роботи, автореферату та наукових праць можна зробити висновок:

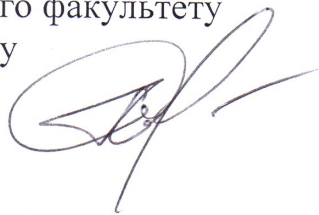
1. Робота на тему «Процеси трансформації та дисипації механічної і теплової енергії в складних термодинамічних системах» є завершеною науковою роботою, в якій на підставі виконаних автором на сучасному рівні досліджень вирішено важливі наукові і практичні задачі, отримано нові, науково обґрунтовані, результати що у сукупності становлять значний доробок для подальшого розвитку актуальних напрямків у галузях технічної теплофізики, зокрема для розвитку технологій перетворення енергії в гетерогенних ліофобних системах.

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

3. За актуальністю, новизною, глибиною досліджень достовірністю та практичною цінністю, об'ємом та змістом дисертаційна робота повністю відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань», затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 №567, а її автор, Євтушенко Олексій Васильович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

Доктор фізико-математичних наук, професор
кафедри молекулярної фізики фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



Гаврюшенко Д.А.

Підпис проф. Гаврюшенка Д.А. засвідчую

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НДЧ
КАРАУЛЬНА Н.В.
21.09.2013

