

## ВІДГУК

офіційного опонента Ткаченка Станіслава Йосиповича на дисертаційну роботу Чалаєва Джамалутдіна Муршидовича «Розвиток теорії та практики сорбційних і пароконпресійних технологій трансформації теплоти», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

### І ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

#### Актуальність теми.

Україна відноситься до країн з обмеженими власними паливно-енергетичними ресурсами та імпортує близько 60% рідких і газоподібних енергоносіїв. В даний час енергоємність основних галузей промисловості та комунального господарства в Україні одна з найбільших в світі й не відповідає сучасним вимогам. Перспективним напрямком вирішення цієї проблеми є розвиток технологій енергозабезпечення з використанням теплових насосів. Теплонасосні технології теплопостачання дозволяють залучити в енергообіг низькопотенційні вторинні та поновлювані джерела енергії, що дає не тільки значну економію палива, але й забезпечує екологічну чистоту процесу генерації теплової енергії.

Ефективним методом утилізації низькопотенційної теплоти є трансформація її на більш високий температурний рівень за допомогою адсорбційних теплових насосів. Цей тип теплового насоса є одним з найбільш перспективних, оскільки не потребує високого потенціалу зовнішнього джерела енергії й використовує для роботи тільки низькопотенційну теплоту. Для того, щоб адсорбційні теплові насоси могли скласти конкуренцію традиційним компресійним системам, необхідне проведення фундаментальних досліджень з підвищення їхньої енергетичної ефективності, що включають синтез нових енергоємних сорбційних матеріалів, оптимізацію процесів тепло- і масообміну та вдосконалення конструкцій апаратів.

Сучасні тенденції розвитку теорії сушіння підготували умови для наукового підходу до створення нових енергозберігаючих технологій конвективного сушіння термолабільних матеріалів з використанням теплових насосів. Тепловий насос дозволяє створювати контрольовані тепловологісні умови сушіння та суттєво зменшити енерговитрати на видалення вологи з матеріалу за рахунок утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія. Для широкого впровадження теплонасосних сушильних установок в промисловість актуальним завданням є наукове обґрунтування раціональних з енергетичної точки зору режимів роботи теплового насоса та оптимізація процесу зневоднення матеріалу з урахуванням його властивостей.

Інститут технічної теплофізики  
НАН України  
Вхідний № 299619 ЗР.0424

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася у відповідності з науковою тематикою Інституту технічної теплофізики НАН України і безпосередньо пов'язана з державними тематиками «Розробка промислових технологій на основі теплових насосів з метою енергозбереження» (№ ДР 0103U005686), «Дослідження та розробка енергозберігаючих теплонасосних систем децентралізованого теплохолодо-

постачання для житлово-комунального господарства та промисловості з використанням низькопотенційних ВЕР» (№ ДР 0106U005331), «Дослідження тепломасопереносу в термохімічних і сорбційних процесах та створення теоретичних засад для розробки теплових насосів і акумуляторів теплоти» (№ ДР 0107U002128) та цільовими програмами наукових досліджень НАН України «Розробка та створення енергозберігаючих сорбційних термотрансформаторів на базі нових композитних речовин, що працюють з використанням поновлюваних та вторинних джерел енергії» (№ ДР 0106U009785), «Подовження терміну експлуатації сушильного обладнання шляхом удосконалення теплогенеруючих систем» (№ ДР 0116U006295), «Подовження ресурсу роботи раніше пробурених законсервованих свердловин методами геотермальних технологій генерації теплової і електричної енергії» (№ ДР 0116U004293), «Розробка рекомендацій щодо розрахунків, проектуванню та застосуванню систем геотермального енергопостачання в комунальному господарстві і агропромисловому комплексі» (№ ДР 0117U002687)

#### Мета і завдання дослідження.

Мета роботи полягає у розвитку науково-практичних засад створення адсорбційних термотрансформаторів і акумуляторів теплоти на нових адсорбційних матеріалах, а також в розробленні практичних шляхів підвищення ефективності промислових технологічних процесів, які ґрунтуються на технологіях сорбційної та пароконпресійної трансформації теплоти.

Відповідно до поставленої мети досліджень сформульовані такі основні завдання:

- створити методику відбору адсорбентів, перспективних для застосування як робоче тіло адсорбційних теплових насосів;
- дослідити оборотні термохімічні реакції та запропонувати ефективні хемосорбенти для різного практичного застосування;
- виявити вплив складу хемосорбенту на температурні параметри процесу сорбції-десорбції і розробити технологію синтезу адсорбційних матеріалів із заданими споживчими властивостями;
- дослідити термодинамічні цикли адсорбційних термотрансформаторів на нових хемосорбентах в лабораторних і натурних умовах, вивчити теплофізичні процеси, які проходять в них;
- розробити принципи теплотехнічного розрахунку і проектування апаратів адсорбційних теплонасосних установок на сольових сорбентах;
- дослідити та оптимізувати процеси зневоднення теплоносія при конвективному сушінні з використанням пароконпресійного теплового насоса;
- розробити технологічну схему, виконати техніко-економічне обґрунтування і впровадити систему теплонасосного теплопостачання в комунальній енергетиці;
- вивчити геотермальні властивості раніше пробурених недіючих газових свердловин та дослідити ефективність їх використання в системах геотермального теплонасосного енергопостачання;
- провести виробничу апробацію запропонованих науково-технічних рішень, визначити їхні енергетичні та техніко-економічні показники.

Об'єкт, предмет і методи дослідження.

Об'єкт досліджень – засоби підвищення енергетичної ефективності процесів теплонасосної трансформації теплової енергії.

Предмет досліджень – цикли, схеми, конструкції, температурні й енергетичні характеристики сорбційних і парокомпресійних теплових насосів, енергозберігаючі режими їхньої роботи.

Методи дослідження:

- аналітичні та експериментальні дослідження лабораторних зразків з використанням методів теорії тепломасообміну, гідрогазодинаміки, математичної статистики, комп'ютерного моделювання;
- натурні випробування експериментальні зразків з використанням методів теорії вимірювання фізичних величин;
- підконтрольна експлуатація дослідно-промислових зразків.

Наукова новизна роботи та важливість одержаних результатів для науки і практики.

Нові наукові результати полягають в наступному:

1. запропонований універсальний методологічний підхід для здійснення пошуку та попереднього відбору перспективних робочих тіл для адсорбційних термотрансформаторів, який базується на принципі температурної інваріантності Полянї;

2. обґрунтована і практично доведена можливість суттєвого розширення зони робочих концентрацій сольового адсорбенту в адсорбційному термодинамічному циклі при введенні солі в інертний пористий носій;

3. вперше синтезований та досліджений в адсорбційному холодильному циклі сольовий адсорбент на базі сорбційної пари хлорид кальцію-метанол і спученого перліту як носія, на підставі випробувань вивчені енергетичні показники дійсного адсорбційного циклу і розроблені принципи теплотехнічного розрахунку апаратів адсорбційних агрегатів на сольових сорбентах;

4. вперше досліджений в натурних умовах сонячний адсорбційний холодильник на сорбційній парі хлорид кальцію-вода, на підставі узагальнення результатів випробувань розроблена методика розрахунку і проектування адсорберів, що працюють в умовах змінної температури гріючого джерела;

5. вперше отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити температурні параметри теплонасосного циклу, при яких забезпечується мінімізація енерговитрат на вилучення вологи з сушильного агента при конвективному сушінні з використанням конденсаційного теплового насоса.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. розроблено методика пошуку і вибору адсорбентів, перспективних для застосування як робочих тіл сорбційних перетворювачів теплоти, яка дозволяє здійснювати пошук оптимальних адсорбентів на підставі обмеженого набору експериментальних даних, в тому числі за ізотермами адсорбції, що отримані при температурах, які відрізняються від реалізованих в адсорбційному циклі. Із

застосуванням цієї методики обрані сорбенти, перспективні для використання як робочі тіла адсорбційних теплових насосів;

2. розроблена та впроваджена теплонасосна система осушення повітря в лінії виробництва харчових порошоків з тропічних фруктів у В'єтнамі (акт приймання від 07.07.2000 р.);

3. розроблена конструкція та виготовлений осушувач повітря для пристрою сушіння подрібнених відходів поліетилентерефталату на базі лінії ЛГТВ-100 для ВАТ «УкрНДПластмаш» (акт приймання-здачі від 10.09.2001 р.);

4. розроблена технічна документація, створено та змонтовано зразок модульно-блочної зерносушильної установки з універсальним теплогенератором теплонасосного типу на Державному підприємстві "Український державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва" (УкрЦВТ) (акт приймання-здачі від 10.12.2004 р.);

5. в рамках проекту INTAS № 03-51-6260 розроблений, створений та випробуваний на дослідному полігоні Міністерства енергетики України в м. Алушта експериментальний сонячний адсорбційний холодильник;

6. розроблено, створено та впроваджено ряд експериментальних конвекційних теплонасосних сушарок для Національного університету харчових технологій (НУХТ) (акт від 08.06.2004 р.), для Харківського державного університету харчування та торгівлі (ХДУХТ) (акт прийняття-здавання від 28.02.2007 р.);

7. розроблена технологічна схема та проектно-кошторисна документація на теплонасосну установку гарячого водопостачання потужністю 1,5 МВт в м. Краматорську Донецької області (акт прийняття виконаних робіт від 27.08.2009 р.). У відповідності до розробленої технічної документації створена теплонасосна установка гарячого водопостачання, яка забезпечує отримання розрахункової кількості гарячої води.

#### Особистий внесок здобувача:

Всі результати, які наведені в дисертації, отримані автором самостійно. Проведено критичний аналіз стану проблеми, на основі якого здійснено теоретичне обґрунтування, формулювання наукової проблеми, робочої гіпотези, мети, завдань, програми досліджень, розроблено методику їх проведення. За безпосередньою участю автора виконані експериментальні дослідження в лабораторних і виробничих умовах, здійснений аналіз та узагальнення отриманих результатів, сформульовані висновки і практичні рекомендації. Підготовлені до друку статті, оформлені патенти. Обговорення та узагальнення результатів досліджень проведено спільно з науковим консультантом – академіком НАН України Ю.Ф. Снежкіним.

У сумісних роботах автор планував експеримент, приймав участь у проведенні досліджень, здійснював аналіз експериментальних даних, інтерпретував та узагальнював отримані результати.

#### Апробація роботи і достовірність результатів

Основні положення дисертаційної роботи доповідались на: на V – XI Міжнародних конференціях «Проблеми промислової теплотехніки», м. Київ, 2007,

2009, 2011, 2013, 2015, 2017 рр.; III Міжнародній конференції «Нетрадиционная энергетика в XXI веке», АР Крим, м. Судак, 2002 р.; VI, IX, X, XI, XIX та XX Міжнародних конференціях «Відновлювана енергетика XXI століття», АР Крим, 2005, 2008, 2009, 2010 рр., м. Київ, 2018, 2019 рр.; 1-й, 2-й, 3-й, 4-й та 7-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)», м. Москва, 2002, 2005, 2008, 2011, 2020 рр.; V та XIV Мінських міжнародних форумах з тепломасообміну, м. Мінськ, 2004, 2012 рр.; на V Minsk International Seminar “Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators”, Minsk, Belarus, 2003; 1-му, 2-му та 4-му Міжнародних конгресах «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м. Львів, 2009, 2012, 2016 рр.; XI, XIV, XV Міжнародних конференціях «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» м. Одеса, 2006, 2012, 2014 рр.; Міжнародних науково-практичних школах-семінарах «Підвищення енергетичної ефективності харчових і хімічних виробництв», м. Одеса, 2007, 2009, 2010 рр.; I та VI Міжнародних науково-практичних конференціях «Інноваційні енерготехнології», м. Одеса, 2011, 2017 рр.; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку систем енергетики і автоматики в АПК», м. Київ, 2012 р.; 1-й та 2-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Chemical Technology and Engineering (Хімічна технологія та інженерія)», м. Львів, 2017, 2019 рр. Окремі результати роботи доповідалися на робочих зустрічах, проведених в рамках проекту INTAS № 03-51-6260 (м. Аахен, Німеччина, 2005 р. і м. Мессіна, Італія, 2006 р.).

Мова та стиль роботи. Дисертаційна робота та автореферат написані грамотно. Стиль і виклад послідовний, логічний та відповідає вимогам до друкованих праць. Текст роботи повністю відтворює результати наукових досліджень. При викладені тексту застосовується, в основному, сучасна наукова і лексична термінологія.

Публікації та автореферат.

Основний зміст роботи викладений у 65 наукових працях, серед яких 2 монографії, 1 колективна монографія, 34 статті, з яких 8 у виданнях, що входять до наукометричних баз SCOPUS, Web of Science, Index Copernicus, 23 у спеціалізованих фахових виданнях України, 23 публікації у збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 5 патентів України на винахід.

Автореферат дисертації за змістом і викладом відповідає дисертаційній роботі.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, 6 розділів, висновків та додатків. Основні матеріали викладені на 317 сторінках друкованого тексту, які містять 119 рисунків і 17 таблиць. Перелік літератури включає 339 джерел.

## II АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

### Загальна характеристика роботи

*В анотації* стисло надано основні результати з аналітичного та експериментального дослідження термодинамічних процесів, що протікають в апаратах сорбційних термотрансформаторів. Наведено наукову новизну, практичне застосування одержаних результатів, список праць по темі дисертаційної роботи. Анотація надана українською та англійською мовами.

*У вступі* дано обґрунтування актуальності роботи, визначені мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, наведені відомості про публікації автора за темою дисертації. Обсяг та форма вступу відповідають загальноприйнятим вимогам до докторських дисертацій та достатні для ознайомлення з вихідними передумовами і змістом положень, що виносяться автором на захист.

*У першому розділі* автором виконано аналітичний огляд літературних джерел з термодинамічних циклів, характеристик робочих речовин та конструктивних рішень апаратів адсорбційних теплових насосів. Проаналізовані результати експериментальних досліджень адсорбційних теплових насосів на різних робочих тілах, визначені шляхи інтенсифікації процесів тепломасопереносу в апаратах адсорбційного агрегату та підвищення енергетичної ефективності адсорбційного термодинамічного циклу.

Показано, що перспективним напрямком вирішення проблеми підвищення енергетичної ефективності адсорбційного термодинамічного циклу є застосування як адсорбентів солей лужних і лужноземельних металів, які утворюють з парою холодоагенту тверді хімічні сполуки типу кристалогідратів. За результатами аналізу сформульовано мету та основні задачі дослідження.

*У другому розділі* автором на основі аналізу теоретичного адсорбційного циклу сформульовані термодинамічні вимоги до властивостей адсорбентів, придатних для застосування як робочих тіл адсорбційних теплових насосів. Визначено, що зі збільшенням кількості сорбату, який бере участь в циклі, пропорційно зростає холодопродуктивність і збільшується холодильний коефіцієнт циклу. З урахуванням цього запропонована розрахункова методика попереднього відбору перспективних адсорбентів. Методика дозволяє на підставі однієї ізотерми сорбції за заданими температурними параметрами адсорбційного циклу розрахувати вологоємність сорбенту і оцінити його ефективність.

*У третьому розділі* на підставі опрацювання відомих літературних даних обрані перспективні хемосорбенти для використанні як робочих тіл адсорбційних термотрансформаторів. Для цих хемосорбентів в діаграмі Клапейрона побудовані лінії рівноваги хімічних реакцій в діапазоні температур і тисків адсорбційного теплонасосного циклу. Відповідно до рівня температури розкладання/утворення хімічних сполук визначені сорбційні пари з високо-, середньо- і низькотемпературною регенерацією. Показано, що ефективним способом

підвищення стабільності сольових сорбентів є використання пористих носіїв, в пори яких вводять частинки солі. Для сорбційних пар різного типу розрахована їхня питома вологоємність і визначена область раціонального використання.

*У четвертому розділі* наведено результати дослідження експериментальних зразків адсорбційних термотрансформаторів на різних робочих тілах. Проведено випробування сонячного адсорбційного холодильника і адсорбційного теплового насоса на сорбційній парі «хлорид кальцію-вода», а також адсорбційного холодоакумуляуючого агрегату на сорбційній парі «хлорид кальцію-метанол».

Холодильник спроектований і виготовлений з використанням розробленої автором методики розрахунку апаратів сонячного адсорбційного холодильника, яка на основі кліматичних даних про сонячну радіацію в заданому регіоні дозволяє визначити оптимальні параметри адсорбційного шару в генераторі-адсорбері холодильника та оптимальну орієнтацію (кут нахилу, азимут) сонячного приймача. Натурні випробування холодильника проводились на дослідному полігоні Міністерства енергетики України в м. Алушта. За результатами натурних випробувань визначені енергетичні показники дійсного адсорбційного циклу і вивчені особливості роботи адсорбційних агрегатів на сольових сорбентах.

Енергетичні характеристики сорбційних пар «хлорид кальцію-вода» вивчені також в циклі адсорбційного теплового насоса, що працює з використанням електричної енергії для регенерації адсорбенту. За результатами дослідження лабораторного прототипу адсорбційного теплового насосу одержані дані щодо енергоємності сорбенту при різних співвідношеннях температур сорбції, десорбції, конденсації і випаровування, розраховані енергетичні показники дійсного термодинамічного циклу.

Для вироблення холоду мінусових температур розроблений і синтезований новий композитний адсорбент на базі сорбційної пари «хлорид кальцію-метанол». На лабораторному прототипі холодоакумуляуючого адсорбційного термотрансформатора досліджені експлуатаційні характеристики нового адсорбенту. Створено модульні сорбційні касети, з яких можна збирати пакети потрібного розміру для апаратів більшої холодопродуктивності. Оптимізовані параметри шару сорбенту в модульній сорбційній касеті та отримані коефіцієнти масовіддачі в діапазоні температур і концентрацій, які відповідають параметрам дійсного адсорбційного циклу.

*У п'ятому розділі* наведені результати досліджень з оптимізації процесу зневоднювання сушильного агента за допомогою конденсаційного теплового насоса.

Зазначено, що завдання оптимізації процесу конденсаційного сушіння полягає в визначенні температурних параметрів теплонасосного циклу, при яких питомі енерговитрати на вилучення вологи будуть мінімальними.

Показано, що для кожного заданого тепловологісного стану осушуваного повітря існує оптимальна температура охолодження, при якій енерговитрати на видалення вологи мінімальні.

Розглянуто три технологічні схеми вилучення вологи з сушильного агента при конвективному сушінні з використанням конденсаційного теплового насоса.

Для кожної схеми підключення теплового насоса до сушарки визначені температурні параметри теплонасосного циклу, при яких забезпечується мінімізація енерговитрат на вилучення вологи з сушильного агента.

На підставі одержаних експериментальних даних оптимізовані параметри функціонування теплового насосу на всіх стадіях процесу сушіння і розроблений спосіб теплонасосного конвективного сушіння з перемінним режимом роботи теплонасосного агрегату, що забезпечує оптимальний з точки зору енерговитрат режим роботи на всіх стадіях сушіння.

*У шостому розділі* викладені результати досліджень з визначення геотермальних властивостей недіючих газовидобувних свердловин та вивчення технологічної можливості їх використання в складі системи теплонасосного теплопостачання.

Автором виконано аналіз даних реєстру свердловин нафтових і газових родовищ України з підвищеними значеннями пластових температур і встановлено, що більшість газовидобувних свердловин практично не містять термальної води. В таких свердловинах запропоновано здійснювати відбір геотермальної теплоти за допомогою глибинних свердловинних теплообмінників, в яких вилучення геотермальної енергії здійснюється за рахунок використання стовбура свердловини як ґрунтового теплообмінника, через який по замкненому контуру циркулює проміжний теплоносіє.

Запропонована квазістаціонарна аналітична модель свердловинного теплообмінника, і на її основі розроблена інженерна методика розрахунку теплопередачі в свердловині. У розрахунках використано усереднені дані за характеристиками глибинних свердловин газових родовищ України. За результатами теплового розрахунку свердловинного теплообмінника при різних режимах його роботи визначені основні фактори, що впливають на температуру нагріву теплоносія та теплову потужність системи вилучення геотермальної теплоти.

За результатами аналітичного дослідження глибинного свердловинного теплообмінника визначені оптимальні режими його експлуатації при роботі в складі системи теплопостачання з різними типами теплових насосів. Розроблені та розраховані технологічні схеми підвищення температурного потенціалу теплоносія з застосуванням теплових насосів адсорбційного типу. Показано, що за допомогою підвищувального адсорбційного теплового насоса на нових сольових адсорбентах температура теплоносія на виході з свердловинного теплообмінника може бути збільшена на 30...35 °С.

На підставі отриманих в роботі результатів експериментальних і аналітичних досліджень розроблена, створена та впроваджена теплонасосна система осушення повітря в промислово-технологічній лінії з виробництва порошків з тропічних фруктів в умовах високовологого середовища В'єтнаму та теплонасосний конденсаційний осушувач повітря для пристрою сушіння полімерних матеріалів при їх переробці та утилізації. Розроблений та реалізований проект системи теплонасосного гарячого водопостачання житлового мікрорайону в м Краматорську. Проведена виробнича апробація впроваджених установок, визначені їхні енергетичні та техніко-економічні показники.



**У висновках** по роботі викладено отримані автором наукові та прикладні результати, перспективи їх використання.

**У додатках** представлені:

- Реєстр свердловин нафтових і газових родовищ України з підвищеними значеннями пластових температур;
- акти впровадження матеріалів дисертаційної роботи.

### **III ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ І ПОБАЖАННЯ**

1. В завданні роботи є таке: «виявити вплив складу хемосорбенту на температурні параметри процесу сорбції-десорбції і розробити технологію синтезу адсорбційних матеріалів із заданими споживчими властивостями».

На наш погляд, слід було результати виконання цього завдання викласти компактно, а не розпорошувати по декількам розділам дисертаційної роботи.

2. В завданні роботи є таке: «розробити технологічну схему, виконати техніко-економічне обґрунтування і впровадити систему тепло насосного теплопостачання в комунальній енергетиці».

У висновках дисертаційної роботи чітко не вказано, в якій мірі поставлене завдання було виконано.

3. В розділі «наукова новизна» сформульовано «Вперше синтезований та досліджений в адсорбційному холодильному циклі сольовий адсорбент на базі сорбційної пари хлорид кальцію-метанол і спученого перліту як носія, на підставі випробувань вивчені енергетичні показники дійсного адсорбційного циклу і розроблені принципи теплотехнічного розрахунку апаратів адсорбційних агрегатів на сольових сорбентах».

На наш погляд, вказаний пункт виглядає як анотація виконаної роботи, підкреслює науково-практичну цінність дисертації.

4. На стор.29 (автореферат) у висновках в пункті 1 є таке: «Методика дозволяє вибрати оптимальні сорбенти...».

На наш погляд, вираз «оптимальні сорбенти» невдалий. Сьогодні вибрати «оптимальні сорбенти», використовуючи в повному аспекті зміст слова «оптимальні», неможливо.

5. В назві дисертаційної роботи фігурують сорбційні і парокомпресійні технології трансформації теплоти. Автор роботи стверджує, що «Досліджені та оптимізовані процеси конвективного сушіння термолабільних матеріалів в замкненому циркуляційному контурі з примусовим зневодненням сушильного агента за допомогою конденсаційного теплового насоса».

На наш погляд, в даному випадку доцільніше говорити про раціоналізацію процесів конвективного сушіння, а не оптимізацію..

### **IV ВИСНОВКИ ОПОНЕНТА**

Дисертаційна робота Д.М.Чалаєва є завершеним науковим дослідженням.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані, а їх достовірність та новизна не викликають сумніву.

Оформлення, стиль викладення матеріалу дисертаційної роботи доступний для сприйняття і відповідає сучасним вимогам до наукових публікацій.

Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, що містяться в них, ідентичні.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації роботи адекватно відображені в публікаціях автора у науково-технічних виданнях, визнаних державною атестаційною комісією Міністерства освіти і науки України. Матеріали дисертації були у достатній мірі представлені на конференціях державного та міжнародного рівня.

За напрямом обраних і вирішених питань дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

На підставі вище наведеного вважаю, що дисертаційна робота Д.М.Чалаєва відповідає вимогам п. 9, 1 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. № 656 ) до докторських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за фахом 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент,

завідувач кафедри теплоенергетики

Вінницького національного технічного університету,

доктор технічних наук, професор



С.Й. Ткаченко

