

ВІДГУК  
офіційного опонента на дисертаційну роботу  
ТАРАСОВОЇ ВІКТОРІЇ ОЛЕКСАНДРІВНИ на тему  
«РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ТА МЕТОДІВ ТЕРМОЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ,  
СИНТЕЗУ, ОПТИМІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
ТЕРМОТРАНСФОРМАЦІЇ»,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова  
теплоенергетика

*1. Актуальність теми дисертаційної роботи*

Мала енергетика і житлово-комунальний сектор України відчувають гостру необхідність в реновації, розвитку нових технологій генерації тепла і холоду. Створення інноваційних систем на базі термотрансформаторів дозволить кардинально змінити ситуацію, що склалася в цій галузі. Впровадження таких систем – не чергова модернізація традиційних енергоджерел, а впровадження нової, прогресивної, високоефективної та екологічно чистої технології, що дозволяє не тільки зменшити витрати органічного палива, а й істотно знизити забруднення навколишнього середовища.

В інноваційних технологіях трансформації енергії важливе місце займають об'єкти, створення і вдосконалення яких вимагає використання методів сучасної прикладної термодинаміки. На сьогодні ці методи є найбільш ефективними як при розробці системи, так і при подальшій її експлуатації. Вони дозволяють визначати шляхи скорочення незворотних втрат і зменшення загальної вартості установки.

В останні роки ексергетичний метод термодинамічного аналізу у поєднанні з техніко-економічним аналізом, а також ексергоекологічним аналізом перетворилися у самостійну дисципліну під загальною назвою термoeкономіка. Головне завдання термoeкономіки – дослідження ступеню досконалості процесів та визначення можливостей їх оптимізації з точки зору як термодинаміки, так і вартості одночасно.

Методологічні основи сучасної прикладної термодинаміки були закладені видатними вченими, серед яких можна відзначити роботи В. С. Мартиновського, В. М. Бродяньського, Д. П. Гохштейна, А. І. Андрющенка. Суттєвий внесок у розвиток теорії термoeкономіки зроблено Дж. Тсатсаронісом, А. Валеро.

Для вирішення завдань, пов'язаних з розробкою високоефективних систем термотрансформації, необхідний подальший розвиток термoeкономічних методів. То ж тема дисертації Тарасової В. О., яка присвячена розвитку теорії та методів термoeкономічного аналізу, синтезу та оптимізації інноваційних систем термотрансформації є безумовно актуальною.

Напрямок досліджень відповідає Закону України «Про енергозбереження», основним положенням Комплексної державної програми енергозбереження України, проекту Енергетичної стратегії України до 2035 року, директивам і угодам Європейського Союзу та України щодо інтеграції у сфері енергетики, пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні «Екологічна чиста енергетика та енергозберігаючі технології», Національному плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року.

Актуальність досліджень і особистий внесок автора підтверджуються її участю у виконанні численних науково-дослідних робіт відділу моделювання та ідентифікації теплових процесів Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, у тому числі за двома грантами Президента України.

Метою дисертаційної роботи є створення нових та подальший розвиток існуючих методів термодинамічного аналізу і термoeкономічної оптимізації систем термотрансформації, які забезпечують їх раціональне проектування та конкурентоспроможне впровадження на нових і модернізованих об'єктах малої енергетики, харчової промисловості та житлово-комунальної сфери.

При виконанні досліджень автор використовувала методи сучасної прикладної термодинаміки: термoeкономіку при визначенні ексергетичної вартості продукту енергоперетворюючої системи і термoeкономічної оптимізації; теоретико-графовий метод математичного моделювання для опису структури складних технологічних схем термотрансформаторів; математичне моделювання теплотехнічних об'єктів; методи математичної статистики для обробки результатів моніторингу теплонасосної установки і планування експерименту при пошуку оптимальних умов.

## ***2. Наукова новизна досліджень і результатів дисертаційної роботи***

Оцінюючи найважливіші здобутки дисертаційного дослідження, варто зазначити результати, що мають вагому наукову новизну та отримані вперше:

- розроблено універсальну термoeкономічну модель парокompресорних термотрансформаторів, яка відрізняється тим, що базується на запропонованій автором схемі розподілу ексергетичних потоків в їхніх елементах за якісною ознакою «паливо» і «продукт», яка залежить тільки від параметрів навколишнього середовища і не залежить від функціонального призначення, що дозволяє спростити алгоритмізацію моделі та автоматизувати обчислення термодинамічної ефективності термотрансформаторів;

- при створенні універсальної термoeкономічної моделі парокompресорних термотрансформаторів запропоновано розподіл окремо механічної і термічної ексергії на ентальпійну та ентропійну складові, що дозволяє розраховувати вартість втрат ексергії, які зумовлені незворотністю теплових процесів і гідравлічним опором у контурі холодоагенту, в залежності від параметрів навколишнього середовища;

- запропоновано класифікацію термoeкономічних моделей формування монетарної вартості холоду і теплоти за способом декомпозиції потоків ексергії в елементах холодильних та теплонасосних установок;

- розроблено метод визначення термодинамічних втрат парокompресорних термотрансформаторів при роботі на повному і частковому навантаженні з урахуванням поділу втрат за видом незворотності, що дозволяє ідентифікувати параметри циклу за обмеженої кількості заданих вихідних параметрів;

дано термoeкономічне обґрунтування вибору оптимальної температури охолодження у дійсному циклі холодильної машини, яка забезпечує максимальну ексергетичну ефективність, виходячи з механізму взаємного впливу внутрішньої та зовнішньої незворотності теплогiдравлічних процесів в її елементах, що дозволяє спростити процедуру оптимізації системи.

**3. Практична значимість дисертаційної роботи** полягає у наступному:

- запропоновано методику обробки даних моніторингу систем тепло- і холодопостачання на базі теплонасосних технологій з використанням сучасних методів прикладної термодинаміки, що дозволяє здійснювати термодинамічне тестування роботи системи за обмеженої кількості параметрів, що заміряються;

- розроблено експрес-методику розрахунку характеристик геотермальної теплонасосної системи опалення, що дозволяє прогнозувати її ефективність в залежності від геометрії горизонтального ґрунтового теплообмінника та глибини його закладення;

- на основі сформованих ентропійно-статистичних термодинамічних моделей проведено тестування ефективності сучасних водоохолоджувальних машин і теплових насосів та створено бази даних реальних значень дисипативних втрат в широкому діапазоні зміни проектної холодо- і теплопродуктивності, отримано регресійні залежності термодинамічної ефективності сучасних водоохолоджувальних машин і теплових насосів від визначальних факторів;

- розроблено схеми декомпозиції ексергетичних потоків за якісною ознакою «паливо» – «продукт – залишки» для створення нових тополого-ексергетичних моделей холодильних, теплонасосних та когенераційних установок на основі застосування теорії ексергетичної вартості;

- запропоновано метод термoeкономічної оптимізації установки концепцію створення віртуальної холодильної машини/ теплового насоса з метою визначення максимально можливого ексергетичного «продукту» при заданому типі компресора, що дозволяє проводити коректне зіставлення конкуруючих варіантів компресорного та теплообмінного обладнання;

- визначено раціональні співвідношення витрат теплоносіїв у випарнику і конденсаторі, що забезпечують зниження енергоспоживання водоохолоджувальних машин при роботі з частковим навантаженням.

Розвинені та вдосконалені наявні методи, практичні результати,

методики та рекомендації використано в Інституті відновлюваної енергетики (м. Київ), ТОВ «Комфорт+Сервіс» (м. Харків), ПАТ Науково-виробниче підприємство «Холод» (м. Харків), Науково-технічному центрі Інженерної академії України (м. Харків) та громадських організаціях «Нова енергія» і «Агенція локальних ініціатив» (м. Харків), що підтверджено відповідними довідками та актами впровадження.

#### ***4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій***

Достовірність результатів, представлених у дисертаційній роботі, базуються на коректному використанні фундаментальних положень термодинаміки, методів математичної статистики, і підтверджується результатами моделювання та тестування розроблених методик і алгоритмів та їх порівнянням з даними робіт інших авторів.

Висновки повністю відповідають наведеним в роботі результатам.

#### ***5. Повнота викладення результатів у опублікованих роботах***

Основний зміст дисертації викладено у 53 наукових публікаціях, з яких – 3 монографії, 4 статті у виданнях, що входять до міжнародної бази SCOPUS, 19 статей – у фахових виданнях відповідно до вимог МОН України, 3 статті надруковано в іноземних фахових виданнях, 5 – у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз, 19 доповідей на конференціях.

Ознайомлення з текстом автореферату дисертації дає підстави стверджувати, що за структурою та змістом він відповідає вимогам МОНУ. У тексті автореферату відображено основні положення, зміст, результати і висновки дослідження.

#### ***6. Аналіз змісту розділів дисертаційної роботи***

Дисертація складається зі вступу, шістьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 184 найменування, 4 додатків. Повний обсяг дисертації становить 409 сторінок. Основний текст викладено на 335 сторінках. Робота містить 189 рисунків і 33 таблиці.

Не викликають зауважень постановка мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження. Структура і логіка дисертації підпорядковані вирішенню сформульованих дослідницьких завдань. Наприкінці кожного розділу подано чіткі стислі висновки, що базуються на наведених результатах дослідження.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано її зв'язок з науковими програмами ІПМаш НАН України, сформульовано науково-прикладну проблему, мету і завдання дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, відображено особистий внесок автора, надано відомості щодо апробації результатів роботи, публікацій, структури та обсягу роботи.

У *першому розділі* дисертації проведено аналітичний огляд існуючих методів і підходів, які складають теоретичну основу сучасної прикладної термодинаміки.

Розглянуто методи термoeкономiчного аналізу та оптимізації енергоперетворюючих систем: автономний метод термoeкономiчної оптимізації; структурно-варіантний метод термoeкономiчної оптимізації; метод термoeкономiчної оптимізації Лозано-Валеро; графоаналітичний апарат термoeкономiчного аналізу та оптимізації.

Слід зазначити, що автором не тільки проведено аналіз існуючих методів, а й розв'язано деякі практичні задачі. Зокрема розглянуто задачі модернізації існуючого обладнання холодильної машини (ХМ), оптимального проектування парокompресійних ХМ і теплових насосів (ТН), пошуку умов енергоефективної експлуатації повітряної теплонасосної установки з використанням методів термодинаміки при кінцевому часі.

Дано огляд сучасних методів моніторингу та діагностики термодинамічної ефективності термотрансформаторів.

У висновках першого розділу наведено рекомендації щодо області доцільного застосування кожного з розглянутих методів та сформульовано завдання дослідження.

У *другому розділі* розглянуто одну із складних задач термoeкономіки – формування монетарної вартості цільового продукту енергоперетворюючої системи з урахуванням ступеня термодинамічної досконалості її елементів. Запропоновано класифікацію термoeкономічних моделей формування монетарної вартості холоду і теплоти. Визначено діапазон працездатності кожної моделі. При тестуванні термoeкономічних моделей вперше запропоновано єдиний методологічний підхід до визначення монетарної вартості потоків, в основі якого лежить запис вартісних балансів для потоків «продукт» і «паливо» елемента. Це дозволило визначати вартість деструкції ексергії з рішення рівнянь вартісних балансів.

Аналізуючи переваги та недоліки існуючих термoeкономічних моделей, автором запропоновано універсальну термoeкономічну модель парокompресорних термотрансформаторів, яка відрізняється від відомих моделей тим, що схема розподілу ексергетичних потоків в елементах установки за якісною ознакою «паливо» і «продукт» не залежить від її цільового призначення, а залежить тільки від параметрів навколишнього середовища, що спрощує алгоритмізацію моделі та дозволяє автоматизувати обчислення термодинамічної ефективності термотрансформаторів. В запропонованій моделі застосовано новий підхід до складання схеми декомпозиції ексергетичних потоків, який передбачає виділення термічної ентальпійної й ентропійної та механічної ентальпійної й ентропійної складових ексергії. Це дозволяє оцінити вплив параметрів навколишнього середовища на характер розподілу потоків ексергії в кожному з елементів, визначити втрати ексергії, зумовлені незворотністю теплообміну, і втрати внаслідок наявності гідравлічних опорів по тракту циркуляції холодоагенту, а також розраховувати їх монетарну вартість.

З метою встановлення максимально можливого «продукту» холодильної установки при усунених технічних втратах в циклі та визначення граничних можливостей підвищення теплотехнічної ефективності обладнання при вирішенні завдань термoeкономічної модернізації існуючої установки автором запропоновано концепцію створення віртуальної ХМ з «ідеальним» компресором. Такий підхід дозволяє проводити коректне зіставлення конкуруючих варіантів компресорного та теплообмінного обладнання.

*У третьому розділі* дисертації автором досліджено методи побудови тополого-ексергетичних моделей на основі теорії ексергетичної вартості для різних систем термотрансформації. Для вирішення питання формалізації результатів ексергетичного аналізу запропоновано комплексний підхід на основі побудови термoeкономічних моделей і запису регресійних залежностей узагальнених ексергетичних характеристик установки від визначальних параметрів процесу з використанням методів теорії планування експерименту. Це дозволило встановити, вплив якого фактора викликає безпосередньо змінену ексергетичних втрат в елементі. Таким чином, ексергетичні втрати пов'язуються з конкретним контрольованим параметром, що дозволяє зробити рекомендації щодо вдосконалення елемента.

Для побудови тополого-ексергетичних моделей на основі методу графів в роботі запропоновано методики декомпозиції ексергетичних потоків для парокompресійних, повітряно-компресійних холодильних машин і теплових насосів, а також когенераційних установок.

Автором вперше дано термoeкономічне обґрунтування вибору оптимальної температури охолодження в надкритичному циклі парокompресорної холодильної машини. Проаналізовано ефект взаємодії складових ексергетичних втрат в її елементах і його вплив на ексергетичну ефективність. Запропоновано метод покрокової оптимізації холодильної машини, що ґрунтується на визначенні режиму з максимальним ексергетичним ККД з урахуванням характеристик компресора.

*У четвертому розділі* розроблено універсальний графічний інструментарій термoeкономічної оптимізації. Автором вперше запропоновано використовувати С-криві (криві Парето) при аналізі та оптимізації технічних систем, зокрема технологічних схем систем термотрансформації. Такий підхід закладає методичні основи для створення еволюційних алгоритмів пошуку оптимальних структур схем енергоперетворюючих систем. Вирішено задачу спрямованого пошуку найбільш раціональних технологічних схем з урахуванням структурно-топологічних особливостей їх обладнання для установок, що працюють за позакритичним циклом з холодоагентом R744 та докритичним циклом з холодоагентом R718. Новаторським рішенням автора є застосування в методиці побудови С-кривих рангового критерію оцінки структурної складності схеми, що виконує свого роду функцію «навігатору» пошуку схеми. Запропоновано при оптимізації варіювати не вартістю палива, а періодом роботи установки (кількістю років). В цьому випадку оптимальний

варіант схеми буде відповідати мінімальним сумарним витратам за весь життєвий цикл. Слід зазначити, що апарат побудови *S*-кривих застосовується не тільки при врахуванні техніко-економічних показників, але й екологічних характеристик установки. Для цього використовується загальний коефіцієнт еквівалентного потепління  $TEWI_N$ . Перевага запропонованої методики побудови *S*-кривих полягає в наочному поданні результатів оптимізації, що істотно полегшує процедуру вибору технологічної схеми при проектуванні холодильної установки, роблячи її формалізованою.

За результатами термодинамічного і термoeкономічного аналізів дано практичні рекомендації з розробки технологічної схеми вакуумно-випарної ТНУ з холодоагентом R718 й обґрунтовано вибір типу компресорного устаткування.

Запропоновано процедуру покрокової термoeкономічної оптимізації за умови забезпечення максимуму ексергетичного ККД, що базується на побудові сімейства *S*-кривих для різних варіантів експлуатації теплонасосних установок. Розкрито механізм зміни конфігурації дійсного циклу при термoeкономічній оптимізації за допомогою автономного методу. Встановлено, що незалежно від типу термотрансформатора (ХМ чи ТНУ) процедуру покрокового наближення до оптимального варіанта слід починати з базового варіанта, що має найвищий ексергетичний ККД за виробленим холодом.

**П'ятий розділ** присвячено питанням діагностування термодинамічної ефективності сучасних чилерів та теплових насосів у складі систем мікроклімату на основі ентропійно-статистичного підходу з метою визначення енергоощадних режимів експлуатації. Енергоємність виробленої одиниці теплоти або холоду протягом всього терміну експлуатації систем фактично не контролюється. То ж аналіз термодинамічної досконалості сучасних систем мікроклімату дозволив би визначити дійсну енергоємність виробництва теплоти і холоду.

Проведено термодинамічне тестування сучасних чилерів і теплових насосів із використанням ентропійно-статистичних моделей. Розроблені методики визначення термодинамічної досконалості чилерів і теплових насосів як у режимі повного, так і часткового навантаження. Слід зазначити, що питання оцінки ефективності режиму роботи чилера при частковому навантаженні є достатньо складним і не досліджувалося вітчизняними авторами. В дисертації відзначається, що за допомогою традиційних теоретичних моделей визначення статичних характеристик холодильних машин та теплових насосів дослідження режиму роботи при частковому навантаженні не можливе. Це пов'язано з впливом внутрішньої та зовнішньої незворотності у циклі при зміні холодопродуктивності установки. Взаємозв'язок між величиною виробництва ентропії у циклі та холодопродуктивністю установки встановлюється тільки при комплексному врахуванні у моделі першого та другого законів термодинаміки та введенні додаткової статистичної інформації щодо реальних значень виробництва ентропії в дійсних чилерах та теплових насосах.

У зв'язку з цим в роботі запропоновано метод визначення реальних термодинамічних втрат парокompресорних термотрансформаторів при роботі з повним і частковим навантаженням. Метод дозволяє вирішити задачу ідентифікації параметрів циклу при обмеженому числі вихідної інформації, а отже і визначити величини деструкції ексергії в кожному елементі без залучення баз даних теплофізичних властивостей холодоагентів. В результаті введення в розрахунок ряду покрокових процедур виявилось можливим при мінімумі даних визначити температури випаровування і конденсації у циклі, а отже і визначити величини деструкції ексергії в кожному елементі, не прибігаючи до залучення баз даних теплофізичних властивостей холодоагентів. З метою практичної реалізації досліджень створено методику обробки даних в режимі реального часу для системи моніторингу теплонасосної установки, яка експлуатується на адміністративному об'єкті м. Харкова.

На основі чисельної реалізації запропонованих термодинамічних моделей виявлено умови, що дозволяють забезпечити зниження енергоспоживання чилерів і теплових насосів при роботі в режимі часткового навантаження за рахунок вибору оптимального співвідношення між витратою води у випарнику і конденсаторі. Отримано узагальнені залежності термічного опору теплообмінних апаратів сучасних моделей чилерів і теплових насосів різної холодопродуктивності (від 9 кВт до 150 кВт).

*У шостому розділі* дисертації розроблено методичні основи проектування ґрунтових теплообмінників (ГТ) горизонтального типу для геотермальних теплонасосних систем. Передумовою щодо розробки методу експрес-проектування ГТ було дослідження процесу теплообміну у масиві ґрунту. Розроблено математичні моделі ґрунтового масиву з ґрунтовим теплообмінником у двовимірній постановці. Проведено оцінку впливу завдання граничних умов при моделюванні ґрунтових теплообмінників горизонтального типу на величину теплосбирання з ґрунтового масиву протягом опалювального періоду і досліджено вплив кроку закладення труб колектора на ефективність. Встановлено, що використання граничних умов третього роду на поверхні ґрунту не виправдано у зв'язку з неоднозначністю визначення коефіцієнта тепловіддачі і невеликими відмінностями температури повітря від температури поверхні ґрунту.

Застосовано комплексний підхід до проектування геотермальних ТНУ, розроблений в ІПМаш НАНУ, відповідно до якого система «ґрунт–тепловий насос–споживач теплоти» розглядаються як єдине ціле з урахуванням взаємозв'язків всіх підсистем. Комплексний підхід передбачає процедуру тестування теплоакумуючої здатності ґрунту з урахуванням зміни параметрів теплонасосного процесу протягом терміну експлуатації системи. Таким чином, досліджується стійкість температурного поля ґрунту до періодичного впливу процесів підведення і відведення тепла від ТНУ. Відзначається, що при всіх безперечних перевагах комплексного підходу він є досить трудомістким, оскільки для кожної системи необхідно здійснювати моделювання всього теплогідравлічного контуру ТНУ, для чого задавати всі



геометричні характеристики теплообмінної поверхні і трубопроводів обв'язки обладнання. Для визначення впливу глибини залягання на характеристики ТНУ і системи опалення необхідно кожен раз перебудовувати кінцево-елементну сітку. Тому автор застосовує аналітичне рішення задачі теплообміну в ґрунтовому масиві на основі рішення Форхгеймера. У поєднанні з ентропійно-статистичним підходом до створення термодинамічної моделі ТНУ можна отримати швидке і точне рішення задачі прогнозування характеристик геотермальної ТНУ при різній глибині закладення ГТ.

У дисертації запропоновано алгоритм сумісного теплотехнічного розрахунку системи опалення «ґрунт – ГТ – ТН – споживач теплоти», який дозволяє обрати довжину трубопроводу ГТ з урахуванням зміни теплосбирання з масиву ґрунту уздовж теплообмінної поверхні ГТ при течії теплоносія та зміни теплового навантаження будівлі. За допомогою ентропійно-статистичної термодинамічної моделі ТН прогнозуються характеристики геотермальної системи при варіативності глибини закладення ГТ і кроку паралельних ділянок труб впродовж усього опалювального періоду. Для визначення техніко-економічних показників геотермальної системи запропоновано відповідний алгоритм.

Перевагою алгоритму є те, що він дозволяє визначати температуру на вході у ГТ, що дає можливість проводити розрахункове тестування роботи системи в цілому при моделюванні за змінених умов експлуатації.

Завершується дисертація висновками, які впливають зі змісту роботи і узагальнюють її результати.

## *7. Дискусійні положення та зауваження*

При аналізі ексергетичних втрат в циклах парокомпресорних термотрансформаторів через гідравлічний опір по тракту руху холодоагенту автор акцентує увагу на гідравлічному опорі у трубопроводах (на всмоктуванні та нагнітанні компресора тощо). Однак у разі компактних теплообмінних апаратів з фазовим переходом в каналах (конденсаторах і особливо випарниках) саме падіння тиску при фазових переходах є визначальним в контурі циркуляції холодоагенту і істотно впливає на втрати від зовнішньої незворотності (поряд з інтенсивністю теплообміну), що обмежує витрату холодоагенту (масову швидкість - щільність масового потоку) в каналах апаратів і що необхідно враховувати теж.

В циклах термотрансформаторів з внутрішньоканальними фазовими переходами в апаратах (особливо випарниках) на втрати від зовнішньої незворотності суттєво впливає падіння інтенсивності теплообміну на завершальній стадії, передусім випаровування – при переході від дисперсно-кільцевого до дисперсного режиму течії повз осушену стінку каналу (криза теплообміну другого роду), що призводить до перегріву пари холодоагенту з відповідним зростанням різниці температур і що теж необхідно враховувати при розгляді регенеративних циклів.

При аналізі термoeкономiчних моделей автор придiлила увагу порiвнянню ексергетичних ККД елементiв холодильної та теплонасосної установок, якi було отримано за цими моделями (стор. 133). Однак при описi запропонованої унiверсальної термoeкономiчної моделi (роздiл 2, стор. 136-145) вона обходить своєю увагою поняття ексергетичного ККД установки. Тодi виникає питання, чи дозволяє визначати цей параметр унiверсальна термoeкономiчна модель?

У другому роздiлi автор запропонувала унiверсальну термoeкономiчну модель для холодильних машин (ХМ) i теплових насосiв (ТН), а надалi в третьому роздiлi наводить новi тополого-ексергетичнi моделi окремо для ХМ (стор. 174) i ТН (стор. 182), в основi побудови яких закладено подiл елементiв з урахуванням iх функцiонального призначення (дисипативний або продуктивний елемент). Не зрозумiло, чому для вирiшення зазначених завдань не скористатися розробленою унiверсальною моделлю.

У формулi 4.5 (стор. 239) для визначення загального коефiцiєнта еквiвалентного потеплiння використовується маса холодоагенту в установцi. Проте яким чином вона визначалася, пояснення не дано.

У роздiлi 5 (стор. 304) при моделюванні роботи чилера на частковому навантаженнi для визначення температур випаровування i конденсацiї прийнято припущення щодо незмiнностi ККД випарника i конденсатора при змiнi холодопродуктивностi установки. Однак не дано його обґрунтування.

У роздiлi 6 результати обчислень за запропонованою аналітичною залежнiстю для визначення теплового потоку вiд ґрунту до ґрунтового теплообмiнника порiвнювалися з комп'ютерним експериментом. Проте, як саме проводилася верифiкацiя, не розкрито.

Для парокомпресорних хладонових термотрансформаторiв дещо незвичними є термiни "вiдкритий" i "закритий" промiжний посуд (рис. 4.8), а загально прийнятим є "промiжна посудина з регенеративним теплообмiнником" у другому випадку.

Варто зазначити, що бiльша частина зауважень має характер уточнень, спрямованих на прояснення окремих особливостей дослiдження, на розвиток напрямку роботи в наступному i нiякою мiрою не знижує значимiсть отриманих результатiв.

## ***8. Висновки по вiдповiдностi дисертацiйної роботи встановленим вимогам***

Розглянувши дисертацiю Тарасової Вiкторiї Олександрiвни можна зробити наступнi висновки:

1. Оформлення дисертацiї вiдповiдає вимогам подання науково-технiчної iнформацiї.

2. Наукові результати відзначаються новизною, теоретично обґрунтовані та підтверджені експериментально, а прикладні – мають практичну цінність, їх широке впровадження підтверджене численними актами.

3. Отримані наукові та прикладні результати у сукупності вирішують поставлену науково-прикладну проблему, що свідчить про завершеність наукового дослідження. Подання матеріалу в логічній послідовності з обґрунтуванням і узагальненням результатів у вигляді висновків по розділах і загальних висновків по роботі сприяє її сприйняттю як цілісного дослідження.

4. Основні результати роботи пройшли широку апробацію на авторитетних міжнародних конференціях, достатньо повно викладені у наукометричних, фахових вітчизняних та закордонних виданнях.

5. Винесені на захист результати дослідження отримані автором особисто.

6. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації і дає повне уявлення про результати дослідження.

7. Наведені в роботі наукові результати винесено на захист вперше, вони не перебігаються з результатами кандидатської дисертації.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому рівні, відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), щодо докторських дисертацій, а її автор, Тарасова Вікторія Олександрівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри кондиціонування та рефрижерації

Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова МОН України



М. І. Радченко

Підпис завідувача кафедри кондиціонування та рефрижерації

д.т.н. професора Радченка М.І. засвідчую:

Ректор Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова МОН України

