

ВІДГУК

офіційного опонента кандидатаа технічних наук

Петухова Іллі Івановича

на дисертаційну роботу Мольського Сергія Михайловича

«Розроблення методів підвищення енергоефективності та екологічності

холодильних машин з використанням водовипарних технологій»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова

теплоенергетика

Актуальність теми

Проблематика енергозбереження та екологічної безпеки у сфері холодопостачання посідає важливе місце у сучасній науковій і технічній повістці. У контексті постійного зростання тарифів на електроенергію, посилення вимог до захисту довкілля та необхідності переходу на більш безпечні для атмосфери холодоагенти, вочевидь постає проблема розроблення нових підходів до підвищення ефективності холодильних установок. Одним із перспективних напрямів таких рішень є впровадження водовипарних систем охолодження повітря та використання ефекту переохолодження рідкого холодоагенту.

Застосування зазначених технологій не лише знижує температуру конденсації і підвищує холодопродуктивність, а й дає змогу оптимізувати споживання електроенергії без складної модернізації вже наявного обладнання. У поєднанні з переходом на нові, менш шкідливі холодоагенти з низьким GWP, дані технології стають особливо затребуваними.

Актуальність теми дисертації Мольського С.М. також посилюється необхідністю післявоєнного відновлення інфраструктури України, коли потрібні доступні, прості у впровадженні, енергоефективні та екологічні рішення для широкого спектра об'єктів – від промислових до комерційних.

Оцінка наукової новизни дисертаційної роботи. Дисертантом запропоновано кілька науково обґрунтованих рішень, які відрізняються

Вж. 139/2025 від 26.08.2025р.

новизною, зокрема багатоваріантний підхід до ретрофітуфреонів у існуючих холодильних системах із врахуванням впливу заміни холодоагенту на характеристики компресора і теплообмінного обладнання. Запропоновано метод швидкої оцінки доцільності переохолодження рідкого холодоагенту, який може бути ефективно використаний на практиці, технічне рішення щодо повторного використання конденсату, що утворюється в системі, для зменшення витрат води в адіабатичному випарному охолодженні.

Значення результатів для науки і практичного використання.

Результати дослідження мають прикладну цінність для модернізації існуючих холодильних установок. Запропоновані автором рішення дозволяють підвищити енергоефективність обладнання без значних фінансових вкладень. Акти впровадження у виробничі умови свідчать про життєздатність і доцільність використання запропонованих технологій.

Структура та оформлення

Дисертація Мольського С.М. оформлена відповідно до вимог, має чітку структуру, складається з п'яти основних розділів, де логічно представлено послідовний розвиток дослідження. Текст викладено грамотно, матеріал подано в логічній і доступній формі. Усі положення роботи супроводжуються обґрунтуваннями, графіками, таблицями та посиланнями на джерела.

Аналіз змісту та форми дисертації.

Анотація дисертаційного дослідження достовірно передає його основні положення та зміст. *Автореферат* повністю відображає основні положення дисертаційної роботи, відповідає структурі її розділів та містить ключові результати дослідження. У ньому послідовно викладено основні наукові досягнення, що дозволяє достатньо повно оцінити наукову новизну і практичну значимість проведеного дослідження.

У *вступі* роботи аргументовано висвітлено актуальність теми дослідження, чітко окреслено об'єкт і предмет, сформульовано мету й основні

задачі. Крім того, визначено наукову новизну, наведено практичну цінність отриманих результатів та використані дослідницькі методи, а також результати, винесені на захист. Подано інформацію про апробацію роботи, публікаційну активність автора та факти практичного впровадження.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану проблеми підвищення енергоефективності та екологічності холодильного обладнання. Розглянуто перспективи розвитку відповідних технологій, систематизовано підходи до заміни застарілих озоноруйнівних холодоагентів на нові, зокрема ті, що належать до групи A2L і мають потенціал глобального потепління нижче 500. Зосереджено увагу на типових труднощах, що виникають під час ретрофітухолодоагенту. Детально описано сучасні рішення на основі випарного охолодження, що дають змогу ефективно знижувати температуру конденсації без значного додаткового енергоспоживання.

У другому розділі представлено комплексний підхід до заміни холодоагентів типу HCFC та HFC на більш екологічно безпечні холодоагенти групи A2L, які мають потенціал глобального потепління нижче 500. Розроблено алгоритм адаптації холодильних машин до нових робочих тіл із врахуванням експлуатаційних характеристик компресора, виду мастила, а також впливу температурного глайду – явища, що спостерігається у суміші з декількох компонентів. Проаналізовано, як це явище (зокрема для холодоагенту R454C) впливає на роботу теплообмінників. Наведено розрахункові приклади на основі компресора 6FE-44Y, які демонструють ефективність запропонованих рішень.

У третьому розділі викладено методику реалізації водовипарного охолодження повітря перед конденсатором і переохолодження рідкого холодоагенту. Результати узагальнено у вигляді діаграм, графіків та номограм. Проведено регіональний аналіз кліматичних умов в українських містах з метою оцінки ефективності впровадження таких технологій у різних зонах. Надано рекомендації щодо вибору конкретних рішень з урахуванням температури і вологості повітря.

Четвертий розділ присвячено організації й результатам експериментального дослідження на основі дистанційного моніторингу двох

ідентичних холодильних установок, одна з яких була модернізована з використанням зрошуваних адіабатичних панелей. У розділі представлено аналіз споживання електроенергії, витрат води та температурних режимів, що демонструє зниження температури конденсації до рівня температури мокрого термометра та покращення загальної ефективності системи.

У п'ятому розділі автор пропонує схеми одно- та двостадійного випарного охолодження, а також технологічне рішення щодо повернення конденсату з випарника до системи водовипарного охолодження, що сприяє економії води та підвищенню загальної ефективності.

У висновках узагальнено ключові наукові й практичні результати роботи, які відповідають поставленим цілям і задачам дослідження.

Бібліографія містить 74 джерела, що є цілком достатнім для дисертаційної роботи такого рівня і охоплює широкий спектр сучасної фахової літератури. Додатки включають підтвердження впровадження запропонованих рішень.

Дисертація викладена на 160 сторінках, містить 41 рисунок, 21 таблицю, список використаної літератури на 10 сторінках і 6 сторінок додатків. Робота вирізняється логічною побудовою, науковою послідовністю та якісним оформленням.

Зауваження та дискусійні питання

1. Яким чином одержані результати табл. 2.3 та табл. 2.4?
2. Які габарити, додаткові гідравлічні втрати та вартість системи двостадійного охолодження. Які реальні показники її використання?
3. Потребують уточнень наступні твердження:

сторінка 53: «.. коли в теплу пору року внаслідок суттєвого збільшення температури конденсації, як наслідок, зменшується холодопродуктивність всіх холодильних машин з конденсаторами повітряного охолодження.» Для конкретної холодильної машини температура конденсації визначається відповідним тиском у циклі. Погіршуються умови охолодження конденсатора, зменшується переохолодження конденсату і відповідно знижується холодильний коефіцієнт і холодопродуктивність.

сторінка 55: «Внутрішні апарати додатково навантажують конденсатор холодильної машини, що потребує покращення.»

сторінка 63: «Запропоновано методи підвищення енергетичної ефективності холодильної системи та визначено найбільш ефективний метод: зменшення різниці між температурами конденсації та випаровування у найбільшій кількості годин річного циклу...». Якщо вже є конкретна система з відповідним ступенем стиснення у компресорі, то варіювати тисками випаровування та конденсації проблематично.

сторінка 71 «Холодоагент в т.3 має запас потенційної енергії що еквівалентна площі фігури 3 – 6 – 3'.» Потенційна енергія системи у термодинаміці пов'язана з її положенням у полі масових сил. Визначити цю енергію за параметрами стану у T,s -діаграмі неможливо. Площею у T,s -діаграмі можна визначити тільки теплоту рівноважного процесу, у тому числі рівноважного циклу.

4. За рахунок чого знизилась потужність компресора у стовбці 4 табл. 2.10 порівняно із стовбцем 3?? Адже тиск у конденсаторі не змінився. Меншою стала тільки температура завершення процесу конденсації внаслідок того, що було сконденсовано всю пару.

5. Як визначались коефіцієнти теплопередачі для випарника та конденсатора при математичному моделюванні робочого процесу парокомпресійної холодильної машини на сторінці 102?

6. Є окремі друкарські неточності:

сторінка 6: «...методи покращення роботи холодильних систем при ретрофіті (заміні) холодоагенту шляхом збільшення теплообміну...»;

сторінка 53: потребує уточнення термін «коефіцієнт сатурації...»;

сторінка 55 «...може привести до швидкого фрикційного (може кавітаційного??) зносу вентиля.»;

сторінки 49, 54, 58, 100: термін «двоступеневе охолодження» конкурує з частіше вживаним для визначення цього процесу терміном «двостадійне охолодження».

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи висвітлено у 11 публікаціях: з них 1 – у науковому періодичному фаховому виданні України, 1 – у закордонному науковому виданні, яке входить в міжнародну наукометричну базу Scopus; 1 монографія; 3 – патенти України; 5 – у тезах доповідей конференцій.

Публікації за темою дисертаційної роботи повністю і адекватно відображають її основні наукові результати. Аналіз тексту дисертації та відповідних публікацій не виявив порушень принципів академічної доброчесності. Усі використані цитати та положення інших авторів супроводжуються належними бібліографічними посиланнями.

У працях, створених у співавторстві, до тексту дисертації включено лише ті фрагменти, які є результатом особистої наукової діяльності здобувача, що дозволяє чітко відмежувати його індивідуальний внесок.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не виявлено.

Висновок

Аналіз дисертаційної роботи Мольського Сергія Михайловича дає підстави для формулювання таких висновків:

1. Текст роботи вирізняється чітким, логічно послідовним стилем викладання, що забезпечує однозначне сприйняття основних ідей і висновків дослідження.
2. Оформлення матеріалу відповідає чинним стандартам щодо представлення науково-технічної інформації.
3. Ключові результати дисертації опубліковані в наукових фахових виданнях, а її основні положення пройшли апробацію на профільних конференціях.
4. Представлена робота є завершеним науковим дослідженням. Висловлені зауваження мають переважно уточнювальний характер, стосуються

окремих аспектів дослідження і можуть слугувати основою для подальшого розвитку тематики, не ставлячи під сумнів наукову цінність отриманих результатів.

Дисертаційна робота Мольського Сергія Михайловича є завершеним, самостійним і науково обґрунтованим дослідженням, яке має як теоретичну новизну, так і практичну цінність. Тема дослідження відповідає сучасним вимогам у сфері енергозбереження й охорони довкілля. Основні результати апробовано, опубліковано та впроваджено у виробничу практику.

Вважаю, що дисертація Мольського С.М. «Розроблення методів підвищення енергоефективності та екологічності холодильних машин з використанням водовипарних технологій» відповідає вимогам, визначеним у пп. 9, 11, 12 Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук,

ст. наук. співр., доцент кафедри

аерокосмічної теплотехніки

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут»



Ілля ПЕТУХОВ

Підпис Петухова І. І. засвідчую

Учений секретар

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут»,

кандидат технічних наук, доцент



15.08.2021

Тетяна БОНДАРЄВА