

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Місюри Тимофія Олексійовича  
на тему «Енергоефективність комбінованих схем опалення, вентиляції та  
кондиціонування на основі повітряних теплових насосів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 – електрична інженерія  
за спеціальністю 144 – теплоенергетика

### **Актуальність теми дисертації.**

На сьогодні пошуки альтернативних джерел енергії є одним з провідних напрямів досліджень у теплоенергетиці та енергозбереженні. В енергетиці з'являються нові стратегії з підвищення енергоефективності та вдосконалюються існуючі системи тепlopостачання, вентиляції та кондиціонування. Сам по собі тепловий насос не завжди може бути виправданим рішенням, попри його ефективність. Якщо тепlopостачання здійснюється лише за допомогою теплового насоса (без додаткових заходів з підвищення ефективності), це найчастіше призводить до значних капітальних затрат та високого терміну окупності.

Новизна даної теми полягає в реалізації енергоефективного проектування систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря з додатковим включенням у теплонасосні схеми джерела низькопотенційної енергії. Такий підхід дозволяє зменшити витрати зовнішньої енергії на тепловий насос, знизити необхідну номінальну потужність агрегату, а також реалізує кінцеву мету сучасної енергетичної стратегії: утилізацію «безкоштовної» відновлювальної енергії в корисних цілях.

З урахуванням викладеного, теоретичне дослідження енергоефективності теплонасосних систем для цілей опалення, вентиляції та кондиціонування є перспективним, а робота Т. О. Місюри є актуальною.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Проведені дослідження із забезпечення вологісного режиму всередині приміщень теплонасосними системи. На практиці температура є основним параметром для припливного повітря, а додаткове осушення або зволоження відбуваються за допомогою інших пристроїв. У той час як теплові насоси за

правильної організації потоків повітря можуть забезпечувати параметри припливного повітря не тільки за температурою, але і за відносною вологістю.

2. Проведений термодинамічний аналіз ефективності теплонасосної системи повітряного опалення та вентиляції виробничого приміщення з урахуванням видалення зайвої вологи. Встановлено, що коефіцієнт рециркуляції для підтримання заданих параметрів повітря в приміщенні має змінюватись в залежності як від температури, так і відотної вологості атмосферного повітря.

3. Проведено аналіз енергоефективності теплонасосних систем з різними способами утилізації низькопотенційної енергії витяжного повітря для вентиляції та кондиціювання приміщень. Розглянуто випадки роботи систем за умов, коли потреби в кондиціюванні зросли вдвічі, коли в приміщенні присутні надлишкові вологовиділення.

Дисертація містить обґрунтовані результати. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, сформульованих у дисертації, підтверджується достатньою кількістю проведених теоретичних досліджень з використанням сучасних методів, які базуються на загальноприйнятих підходах щодо аналізу процесів теплопереносу. Отримані результати не суперечать висновкам відомих теорій. Результати досліджень пройшли апробацією на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях.

Достовірність результатів досліджень забезпечується коректною постановкою завдань і виконаних досліджень; застосуванням оригінальних математичних моделей; використанням сучасних методів обробки отриманих теоретичних даних, а також аналізом отриманих даних та даних інших дослідників.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що необхідне для опалення або кондиціювання додаткове нагрівання або охолодження припливного повітря може бути визначено через простий коефіцієнт пропорційності до перепаду температур ззовні і всередині приміщення, значення якого залежить від теплофізичних і геометричних характеристик приміщення і кратності повітрообміну, що визначається функціональним призначенням об'єкта кондиціювання, а також від внутрішніх тепловиділень у приміщенні.

Крім того, застосування теплових насосів для кондиціювання виробничих приміщень дозволяє поєднувати в одній установці процеси кондиціювання та осушення припливного та утилізації відпрацьованого повітря, що робить систему більш простою, моноблочною та економічною. Використання теплового насоса в системах вентиляції виробничих приміщень дозволяє забезпечити комфортні умови праці з достатньо високою термодинамічною ефективністю.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

## **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Місюри Т. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144 – теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Теплоенергетика.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям енергозбереження та підвищення ефективності теплоенергетичних систем.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Місюри Тимофія Олексійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

## **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Зміст дисертації викладено послідовно, логічно та доступно. Дисертаційна робота написана коректною технічною мовою з використанням сучасної наукової термінології. Текст дисертації у достатньому для розуміння обсязі проілюстрований графічним матеріалом.

Дисертація складається з вступу, сімох розділів, висновків та списку літератури. Загальний обсяг дисертації 168 сторінок. Робота містить 62 рисунки, список використаних джерел з 105 найменувань.

У вступі розглянуті актуальність, мета та задачі дослідження, наукова новизна та практична значущість роботи.

У першому розділі проведено огляд та аналіз сучасних даних щодо ефективного застосування систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря на базі повітряних теплових насосів з додатковим використанням різних низькопотенційних джерел теплоти або холоду. Проаналізовано сучасні підходи та актуальні тенденції до збільшення енергоефективності теплонасосних систем, наведено літературний огляд з питань організації цих заходів. На основі проведеного огляду встановлено перелік питань, які потребують більш глибокого дослідження.

У другому розділі розглянуто принципову теплонасосну систему вентиляції та повітряного опалення виробничого приміщення з надлишковим вологовиділенням, у якій застосовано часткову рециркуляцію відпрацьованого повітря для підтримання заданих комфортних умов всередині приміщення. Проведено термодинамічний аналіз роботи системи для визначення необхідних режимів її роботи в холодний період року. Показано, що для підтримання

заданих температури та вологовмісту повітря в приміщенні за різних параметрів довкілля коефіцієнт рециркуляції має змінюватись в залежності від температури і відносної вологості атмосферного повітря.

У третьому розділі досліджуються можливості застосування системи вентиляції та кондиціювання з тепловим насосом для підтримки комфортних умов усередині виробничої зони в теплу пору року. У зв'язку з цим було проведено термодинамічний аналіз теплонасосної системи з частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря та змінною часткою свіжого зовнішнього повітря. Потім було проведено чисельний аналіз для оцінки впливу змін температури та відносної вологості навколишнього середовища та характеристик об'єкта вентиляції та кондиціювання на параметри системи. Це дозволило визначити потенційні можливості цієї системи підтримувати комфортні умови у виробничій зоні.

У четвертому розділі проведено термодинамічний аналіз теоретичної моделі теплонасосної установки вентиляції та кондиціювання повітря з рециркуляцією холоду в залежності від параметрів зовнішнього повітря для підтримання температурних і вологісних умов у виробничому приміщенні в теплий період року. За допомогою чисельного аналізу методом послідовних наближень визначено параметри повітря в вузлових точках схеми та оцінено її енергетичну ефективність. Це дозволило встановити режими роботи установки в залежності від параметрів зовнішнього повітря, характеристик об'єктів вентиляції та кондиціювання та надходжень теплоти.

У п'ятому розділі досліджено ефективність та режими роботи моделі теплонасосної системи вентиляції та кондиціювання повітря з рекуперацією холоду вентиляційного повітря в залежності від параметрів зовнішнього повітря, ефективності рекуперації та характеристик приміщення. Проведено розрахунки методом послідовних наближень для оцінки параметрів повітря у вузлових точках системи. Це дозволило визначити теоретичну холодильну ефективність системи та довело переваги рекуперації в порівнянні з рециркуляцією для зменшення споживання енергії тепловим насосом.

У шостому розділі викладено результати термодинамічного аналізу моделі теплонасосної системи вентиляції, кондиціювання та осушення виробничого приміщення за змінних величин внутрішніх надходжень вологи та теплоти у період перехідної та теплої пори роки. Встановлено та оцінено вплив рекуперації енергії відпрацьованого повітря на ефективність системи. Встановлено теоретичну холодильну ефективність даної системи та показало переваги рекуперації енергії для зниження енергозатрат на роботу системи.

У сьомому розділі міститься порівняльний термодинамічний аналіз двох найбільш популярних рішень загальної вентиляції та кондиціювання повітря: припливно-витяжних установок, що базуються на вбудованих контурах теплових

насосів або зовнішніх компресорно-конденсаторних блоках як основних джерел енергії. Досліджені теоретичні моделі двох систем можна використовувати для оцінки доцільності тієї чи іншої схеми в залежності від проекту, а також під час проектування припливно-витяжних установок.

У висновках наведено узагальнення отриманих у дисертаційній роботі наукових результатів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 21 науковій публікації здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 1 стаття у науковому виданні іноземних держав.

Також результати дисертації були апробовані на 13 наукових фахових конференціях.

Всі представлені публікації виконані на високому рівні з усіма необхідними складовими, згідно з умовами видавництва.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Незважаючи на загальне позитивне враження від розглянутої дисертаційної роботи, вона містить деякі зауваження та дискусійні твердження, які наведено нижче.

1. Серед практичного значення одержаних результатів вказано, що «додаткове комбінування повітряних теплових насосів з іншими низькопотенційними джерелами теплоти веде не тільки до підвищення ефективності роботи перших, але може давати економію капіталовкладень за використання останніх». Це безумовно можна вважати за факт, проте в самій роботі не наведено прикладів такої економії, не проведено відповідних розрахунків та не отримано чисельних результатів, що могли б це показати наочно.

2. Слід зазначити стаціонарний характер постановки задачі — дослідження в роботі виконані без урахування перехідних процесів, а аналіз робочого процесу ведеться в стаціонарній постановці. Зазвичай, організація процесів вентиляції та

кондиціювання визначається співвідношенням масогабаритних характеристик приміщень, що підлягають вентиляції та кондиціюванню, із значеннями відповідних потоків зовнішнього повітря, що забезпечують заданий процес вентиляції та кондиціювання. Саме умова стаціонарності дає можливість орієнтовної оцінки вентиляції та кондиціювання – процесів з використанням термодинамічного аналізу.

3. У роботі в задачах з використанням рекуператора, як додаткового пристрою для утилізації теплоти вентиляційного повітря, усі повітряні потоки потрапляють у систему або залишаються в ній. Що означає при цьому ефективність рекуператора менше 100%? Куди йдуть інші 20%, якщо ефективність рекуператора становить 80%?

4. Зустрічаються по тексту дисертації окремі не зовсім коректні вирази, зокрема: на сторінці 46 « рух великих об'ємних витрат повітря...», на сторінці 50 «теплові насоси з інверторним компресором стали новим способом контролю вологості...», на сторінці 51 «досягти нижчого відношення явної теплоти для застосування з більшою прихованою теплою...».

5. У роботі розглядається тільки один випадок застосування теплонасосної системи для цілей повітряного опалення та вентиляції. Причому досліджена схема є простою. Було б доречно провести додаткові дослідження з застосуванням вдосконаленої теплонасосної схеми, наприклад, з використанням рекуперації, для повітряного опалення та вентиляції приміщення.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Місюри Тимофія Олексійовича на тему «Енергоефективність комбінованих схем опалення, вентиляції та кондиціювання на основі повітряних теплових насосів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 – електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Місюра Тимофій Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – електрична інженерія за спеціальністю 144 – теплоенергетика.

**Офіційний опонент:**

професор кафедри теплоенергетики  
та холодильної техніки  
Національний університет харчових  
технологій МОН України  
доктор технічних наук, професор,  
заслужений діяч науки і техніки  
України

Микола ПРЯДКО

М.П.

« 18 » 01 20 24 року

Згідно Протоколу Миколи Олексійовича  
завірюю  
Проректор



Лариса Арсенова  
18.01.2024р.