

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Ословського Сергія Олексійовича

на тему **«Підвищення енергетичної ефективності теплонасосних систем опалення і кондиціонування повітря на основі ґрунтових теплових насосів»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 Електрична інженерія

за спеціальністю 144 Теплоенергетика

Актуальність теми дисертації.

В приміщеннях житлових, громадських та виробничих будівель необхідно підтримувати нормовані параметри внутрішнього повітря, а саме, температуру та відносну вологість. Це досягається, наприклад, за рахунок систем опалення і вентиляції (СО і В) в холодний період року та кондиціонування повітря (КП) – в теплий.

Джерелами теплопостачання СО можуть бути ТЕЦ, котельні, в яких для вироблення теплоти спалюється органічне паливо (вугілля, природний газ, продукти переробки нафти). В традиційних системах КП для охолодження повітря використовується вода або холодильний агент, для отримання яких використовується електрична енергія в холодильних станціях. Вироблення електроенергії здійснюється, зокрема, на ТЕС, ТЕЦ, що працюють на органічному паливі.

Дефіцит енергоресурсів, зростання цін на них, шкідливий вплив на довкілля продуктів спалювання органічного палива, ставить завдання більш широкого використання альтернативних джерел енергії в системах тепло- та холодопостачання споживачів, тому зважаючи на це тема дисертаційної роботи Ословського С. О. є актуальною.

Одним з напрямків використання альтернативних джерел енергії є впровадження теплонасосних схем СО і В та КП. Практичний вибір таких схем повинен здійснюватися комплексно, на основі термодинамічного та енергетичного аналізів використання теплових насосів при зміні різних факторів. Метою дисертаційної роботи є підвищення енергетичної ефективності використання теплонасосних схем СО і В та КП на базі ґрунтових теплообмінників. В роботі проведені дослідження аналізу ефективності комбінованих систем водяного опалення і вентиляції у тому числі і з використанням низькотемпературних джерел енергії (стічних вод, вентиляційних викидів) та способу розташування ґрунтових теплообмінників для системи КП.

Тематика дисертаційної роботи відповідає напрямку «Енергетика та енергоефективність» та Законам України «Про енергозбереження» і «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки».

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) Визначені залежності енергетичної ефективності комбінованої теплонасосно-рекуператорної схеми опалення та вентиляції при використанні теплоти стічних вод та проведене співставлення отриманих результатів з базовою схемою (без використання додаткового джерела теплоти);

2) Визначені основні параметри та проаналізований їх вплив на ефективність роботи теплонасосної СО і В з використанням теплоти ґрунту та стічних вод, отримані залежності питомого навантаження ґрунтового теплообмінника від температури зовнішнього повітря і частки теплового потоку на ГВП та вентиляцію в загальному потоку теплоти на опалення і вентиляцію;

3) Запропоновано розрахункову модель для визначення термодинамічної ефективності використання комбінованої системи опалення та вентиляції на базі послідовно встановлених ґрунтового та повітряного теплових насосів (ТН); визначено ступінь утилізації теплоти для отримання позитивного енергетичного ефекту при розгляді даної запропонованої схеми;

4) Розроблена схема КП на базі ґрунтового теплового насосу з використанням горизонтального ґрунтового теплообмінника для роботи в активному та пасивному режимах кондиціонування; визначені межі роботи системи в обох режимах; визначені умови досягнення суттєвого позитивного ефекту при застосуванні розробленої схеми у порівнянні зі спліт-системою КП;

5) Отримані залежності енергетичної ефективності використання теплового насосу на базі вертикального ґрунтового теплообмінника для КП; визначені оптимальні параметри роботи запропонованої схеми.

Достовірність отриманих результатів обумовлює те, що проведені дослідження базуються на фундаментальних положеннях технічної термодинаміки та розрахунково-аналітичних методах аналізу та синтезу з використанням математичного та енергетичного моделювання і числових методів. В процесі числових розрахунків за ліцензованими програмними продуктами отриманий масив результатів для кожної параметричної задачі

узагальнювався відповідними залежностями, відхилення розрахункових даних від яких не перевищувало 5 %.

Наукові дослідження здобувач С. О. Ословський виконував на кафедрі теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського у відповідності до ініціативної НДР «Розробка та дослідження ресурсозберігаючих технологій та процесів у промисловій теплоенергетиці», державний реєстраційний номер 0111U004644 та наукового напрямку кафедри «Процеси переносу в паро- газорідних та теплонасосних системах» під керівництвом професора кафедри теплової та альтернативної енергетики д-ра техн. наук, проф. Безродного Михайла Костянтиновича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання «підвищення енергетичної ефективності теплонасосних схем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря на основі ґрунтових теплових насосів» виконане повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ословського С.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 «Процеси переносу в паро- газорідних та теплонасосних системах».

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

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертація написана українською мовою.

Матеріал дисертаційної роботи викладений на високому науковому та методичному рівнях з дотриманням загальноприйнятої науково-технічної термінології, логічно і послідовно.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг дисертації 155 сторінок.

У вступі обґрунтовано необхідність та актуальність досліджень з підвищення ефективності теплонасосних систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря; наведені мета і завдання та методи дослідження, наукова новизна та практична цінність отриманих результатів; представлено інформацію про особистий внесок здобувача та апробацію роботи, її структуру та обсяг.

В першому розділі розглянуті сучасні підходи та перспективи розвитку теплонасосних технологій. На основі огляду літературних джерел проаналізовані проблеми впровадження теплових насосів (ТН) в СО і В та КП як альтернативи традиційним джерелам тепло- та холодопостачання. Висвітлені основні причини низького рівня застосування ТН та геотермального теплопостачання загалом в Україні та світі. Визначені основні напрямки та етапи раціонального проектування теплонасосних СО і В та КП. Проаналізовані економічні аспекти впровадження ТН та специфіку українського ринку. Показані аналоги державних програм підтримки та економічного стимулювання енергоефективних технологій СО і В та КП в світі. Наведений аналіз досліджень ТН з урахуванням конструкцій теплообмінника нижнього контуру. Визначені основні фактори, що впливають на енергетичну ефективність ґрунтового ТН. За підсумком аналізу літературного огляду зроблені відповідні висновки та визначені основні задачі дослідження.

Другий розділ присвячений термодинамічному аналізу запропонованих схем опалення і вентиляції на базі ґрунтового ТН з використанням низькопотенційних джерел енергії та комбінації з повітряним ТН. Розроблено комбіновану схему теплонасосного опалення і вентиляції з використанням теплоти ґрунту, стічних вод та вентиляційних викидів. Для числового аналізу цієї схеми розроблений відповідний алгоритм розрахунку енергетичного балансу та отримані відповідні залежності енергетичної ефективності від різних початкових параметрів та температури зовнішнього повітря. Практичним результатом впровадження запропонованої схеми є зменшення капітальних та експлуатаційних витрат на СО і В. Також виконаний аналіз ефективності використання комбінованої теплонасосної СО і В на базі ґрунтового та повітряного теплових насосів, що під'єднані каскадно. На основі вирішення відповідних рівнянь теплового та матеріального балансів системи та її окремих елементів отримані показники відносного теплового навантаження на ґрунтовий теплообмінник і загальні витрати на зовнішню роботу у залежності від глибини утилізації теплоти вентиляційних викидів в повітряному ТН. Підкреслено, що оптимальної енергоефективності для даної схеми можна досягти тоді, коли глибина використання вентиляційних

викидів узгоджується з умовою однакових коефіцієнтів перетворення як для повітряних, так і для ґрунтових ТН.

У третьому розділі проаналізовано термодинамічну ефективність використання комбінованих схем кондиціювання повітря на базі ґрунтових ТН з горизонтальним та вертикальним теплообмінниками. Визначені температури в вузлових точках систем та коефіцієнти їх корисної дії. Проведено порівняння між запропонованими системами та стандартною спліт-системою. Побудовані та проаналізовані залежності показників енергетичної ефективності систем від їх визначальних параметрів. Визначені параметри систем, за якими будуть забезпечені оптимальні експлуатаційні витрати. В теплонасосній системі КП на базі вертикального ґрунтового теплообмінника виконаний також аналіз ефективності в активному та пасивному режимах роботи. Показано, що теплонасосна система з використанням теплоти ґрунту для КП з вертикальним ґрунтовим теплообмінником має більш жорсткі вимоги до термічної ізоляції об'єкту кондиціювання, аніж система на базі повітряного ТН.

Четвертий розділ присвячений розрахунковим дослідженням практичного використання запропонованих рішень для опалення, вентиляції та кондиціювання повітря на базі ґрунтового ТН. Для теплопостачання системи О і В одного з виробничих цехів (м. Черкаси) за визначеними втратами теплоти огороженнями запропоновано встановити ґрунтовий ТН з використанням теплоти вентиляційних викидів та стічних вод. Проведений енергетичний аналіз системи та виконано її порівняння з традиційною, в результаті виявлений реальний економічний ефект. Виконаний аналіз термодинамічної ефективності системи КП приватного житлового будинку в Київській області на базі ґрунтового ТН з горизонтальним теплообмінником, показаний реальний ефект використання системи.

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 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях України, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України та мають категорію Б (спеціальність 144 – теплоенергетика); 3 статті у наукових виданнях України, які відносяться до видань про фахові технічні науки; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних

Scopus, які віднесені до третього квартиля (Q3) відповідно до класифікації Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 23 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача характеризуються високим науковим рівнем, при їх підготовці до видання проходили відповідні рецензування та перевірку на плагіат згідно з умовами видавництва. Вагомим також є особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих із співавторами. Публікації охоплюють усі результати наукового дослідження.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

До оформленої дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження:

1) Назва «грунтовий тепловий насос» не зовсім відображає фізичну сутність цього пристрою. Хоча в літературі і використовується такий термін, однак кращою назвою була б «геотермальний тепловий насос», який використовує теплоту ґрунту для нагрівання теплоносія в теплообміннику.

2) Розглядаючи комбіновану теплонасосну схему систем О і В з використанням додаткових джерел енергії (стічні води і вентиляційні викиди) слід було б визначити для яких будівель вона може бути практично використана. В житлових будівлях, наприклад, є стічні води, але немає механічної припливної вентиляції; в громадських та виробничих будівлях є механічна вентиляція, але є незначна кількість стічних вод.

3) В наведеній після вирішення рівняння теплового балансу ГТО температурі розчину гліколю після випарника – формула (2.5), необхідно було б розшифрувати величини, які до нього входять. Це стосується і інших рівнянь, наприклад, (2.19) тощо.

4) В опису позначень до формули (2.6) наведена величина відведеного від конденсатора ТН теплового потоку Q_k , хоча в формулі такого позначення немає; при визначенні витрат зовнішньої енергії на привід насосу – рівняння (2.10) наведено, що вони отримані з рівняння (2.6), хоча в останньому таких параметрів немає.

5) В рівняннях для визначення потоків теплоти для нагрівання припливного повітря в рекуператорі та відведеного від вентиляційних викидів краще було б використати не добуток теплоємності на температуру, а ентальпію з урахуванням теплоємностей сухої частини повітря і водяної пари та вологовмісту.

6) В формулі (3.12) для холодильного коефіцієнта в температурному множнику в чисельнику до температури води на виході з випарника t_v додано + 5, а в знаменнику від температури на виході з конденсатора віднято – 5, без обґрунтування цих процедур.

7) При аналізі каскадної теплонасосної СО і В (С. 83) зазначено «Щоб забезпечити цілорічне опалення ...» слід було б зазначити «сезонне опалення». І не зрозуміла фраза стосовно регіонів України з названою «холодною зимою»; також не зовсім вірне твердження, що всі регіони України мають однакову продовжуваність теплового та опалювального періоду.

8) На рис. 3.12, де наведена залежність $\varepsilon = f(t_o)$ в підпису однакові позначення для ґрунтового ТН і спліт-системи.

9) При виконанні практичних розрахунків теплонасосної системи О і В виробничого цеху не вірно визначений коефіцієнт $m = (Q_v / Q_o)$. Згідно з величинами потоків теплоти на вентиляцію та опалення (див. табл. 4.1) цей коефіцієнт дорівнюватиме 0,89. Бажано було б для цієї системи та системи КП індивідуального житлового будинку визначити термін окупності додаткових капіталовкладень.

10) До оформлення тексту дисертації, термінології, деяких одиниць:

- У змісту невірно наведений перший пункт «Перелік умовних позначень», який по тексту названий «Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень, термінів»;

- В дисертації наведено багато графічних криволінійних і прямолінійних залежностей різних параметрів теплонасосних установок. Варто було хоча б для однієї кривої навести розрахункові значення відповідного параметра для різних умов і показати, яким методом здійснене узагальнення; окрім цього на відповідних графіках не вказується одиниця питомих витрат енергії на теплонасосні системи;

- Зустрічаються написи на деяких рисунках та текст в таблицях англійською мовою. Бажано було б зробити відповідний переклад українською мовою;

- Не скрізь вірно наведені одиниці теплоємності, водяного еквівалента; термін «гріючий» слід називати «нагрівальний»; «коефіцієнт кінематичної в'язкості» слід називати «кінематична в'язкість»; для наведених в розділі 4 витрат теплоти на О і В в кВт слід було б застосувати термін «потік теплоти»; замість «затрати» енергії використовувати «витрати» енергії; невірно в деяких випадках посилання на малюнок, а не на рисунок; при бібліографічному опису літературних джерел не скрізь наводяться сторінки, або кількість сторінок.

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 Ословського Сергія Олексійовича на тему «Підвищення енергетичної ефективності теплонасосних систем опалення і кондиціонування повітря на основі ґрунтових 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 Ословський Сергій Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

Рецензент:

доцент кафедри теплової та
альтернативної енергетики
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
кандидат технічних наук,
доцент



Михайло БОЖЕНКО



«18» січня 2024 року