

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу ІВАНОВА Павла Олександровича «Підвищення ефективності альтернативного теплопостачання за рахунок енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»

1. Актуальність обраної теми дисертації, її зв'язок з науковими державними і галузевими програмами

Актуальність теми дисертаційної роботи відповідає запиту практики щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, з урахуванням сукупності технічних і екологічних викликів, які постають перед галуззю теплоенергетики згідно «Енергетичній стратегії України на період до 2030 року». Одним із пріоритетних заходів, спрямованим на підвищення енергоефективності, є практична реалізація енергозберігаючих екологічно чистих технологій, які відповідають Закону України «Про енергозбереження». Вказане стосується розв'язанню актуальної науково-технічної проблеми вдосконалення структури паливно-енергетичного комплексу за рахунок використання інноваційних систем генерації теплоти на засадах енергозберігаючих технологій.

Існуючі напрацювання науковців свідчать про необхідність застосування інструментарію удосконалення процесів в елементах теплонасосної системи на базі різнорідних альтернативних низькопотенційних джерел енергії та режимів роботи системи задля досягнення кумулятивного енергозберігаючого і екологічного ефекту.

Вказана науково-технічна проблема вирішується в дисертаційній роботі на основі застосування комплексного підходу, спрямованого на підвищення енергетичної і екологічної ефективності при довгостроковому функціонуванні теплонасосних систем на базі енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод, з використанням інструментарію математичного моделювання, чисельного моделювання та експериментальних досліджень, що дозволило визначити раціональні умови експлуатації інноваційних теплогенераторів на засадах енергозберігаючих технологій, з урахуванням технічного потенціалу низькопотенційних джерел енергії та кліматичних умов.

У цьому контексті дисертаційне дослідження, яке спрямовано на удосконалення методів оцінки впливу режимів роботи теплонасосної системи на стан довкілля та обґрунтування рішень щодо їх мінімізації, набуває особливої значимості. Використання програмних засобів чисельного моделювання дозволяє сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо недопущення негативного екологічного ефекту при довгостроковій експлуатації теплонасосної системи. Впровадження отриманих результатів сприятиме зменшенню залежності від традиційних енергоносіїв та покращенню екологічного стану довкілля.

Практична значимість вирішення означеної проблеми за рахунок раціонального використання різномірних альтернативних низькопотенційних джерел енергії в теплонасосних циклах сумнівів не викликає.

Свідченням актуальності дисертаційної роботи Іванова Павла Олександровича є відповідність її планам науково-технічної діяльності Національного університету «Одеська політехніка» в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: «Розробка методів енергозберігаючого використання традиційних і відновлювальних джерел енергії» (№ДР 01161U002956), «Розробка ресурсозберігаючих технологій на підставі термодинамічного аналізу» (№ДР 0121U108310) та «Забезпечення ефективного функціонування систем теплопостачання будівель громадського призначення. Теоретико-методологічні та практичні аспекти» (№ДР 0119U003518), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Таким чином, дисертаційне дослідження поєднує вирішення фундаментальних і прикладних завдань, роблячи внесок у реалізацію національної політики енергоефективності, досягнення глобальних кліматичних цілей та стандартів сталого розвитку.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, основної частини з 4 розділів, списку використаних джерел з 76 найменувань. Матеріал викладено на 182 сторінках, з них: основного тексту – 134 сторінок, 41 рисуноків на 12 стор., 6 таблиць на 5 стор. та 11 додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету дослідження, наукову новизну і практичну цінність дисертації. Вказано методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дослідження, а також відзначено її зв'язок з держбюджетними науково-дослідними роботами: ДР 01161U002956 «Розробка методів енергозберігаючого використання традиційних і відновлювальних джерел енергії»; ДР 0121U108310 «Розробка ресурсозберігаючих технологій на підставі термодинамічного аналізу» та ДР 0119U003518 «Забезпечення ефективного функціонування систем теплопостачання будівель громадського призначення. Теоретико-методологічні та практичні аспекти».

Сформульовано мету і задачі дослідження. Наведено інформацію про публікації та апробацію викладеного в дисертації матеріалу, а також відзначено особистий внесок здобувача. На основі аналізу стану проблем ефективності роботи систем альтернативного теплозабезпечення на базі енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод сформульовані основні завдання для їх вирішення.

У *першому розділі* наведено загальні питання щодо необхідності застосування інноваційних методів генерації теплоти, можна зробити висновок, що запитом практики є розробка інструментарію, спрямованого на вдосконалення енергетичних, режимних і екологічних характеристик теплонасосних систем на базі енергії ґрунту,

грунтових та стічних вод, які відповідають енергозберігаючим засадам і можуть бути рекомендовані широкому спектру споживачів галузі.

Здобувачем обґрунтовано, що для вирішення питання доцільності застосування інноваційних теплонасосних систем генерації теплоти з використанням енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод, має бути застосований інструментарій, який базується на методах математичного моделювання, результатах чисельного моделювання та експериментальних дослідженнях, спрямованих на підвищення енергетичної і екологічної ефективності. Вказане дозволяє вдосконалити режимні параметри при довгостроковому функціонуванні системи без негативних наслідків термічної релаксації низькопотенційного джерела енергії для теплового насосу, з урахуванням їх технічного потенціалу і кліматичних умов, як засобу енергозбереження, що призводить до економії викопних первинних енергоресурсів.

В другому розділі для обґрунтування напрямів удосконалення роботи теплонасосної системи на базі ґрунтової енергії, використано інструментарій математичного моделювання нестационарних теплових процесів в шарах ґрунту. За результатами чисельного моделювання розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності і надійності функціонування системи, без погіршення термічного стану масиву ґрунту навколо ґрунтових теплообмінників при довготривалій їх експлуатації. Припущення, які використані при математичному моделюванні є загальноприйнятими та відрізняються узгодженістю з сучасними розробками в галузі теплоенергетики. Запропонований інструментарій нестационарних теплових процесів в ґрунтовому масиві дозволив підвищити точність розрахунку кумулятивної теплоти, яка надходить від ґрунту до випарника теплового насосу, з урахуванням різної інтенсивності тепловідводу від ґрунту по висоті ґрунтового зонду.

У третьому розділі для обґрунтування умов ефективного використання теплонасосної системи на базі ґрунтових вод для цілей опалення і кондиціонування використано інструментарій математичного моделювання нестационарних теплових процесів в масиві ґрунту навколо свердловини з ґрунтовими водами. За результатами чисельного моделювання розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності і надійності функціонування системи без шкоди довкіллю, що забезпечується за рахунок регенерації теплоти при знакозмінних напрямках потоків ґрунтової води при відборі теплоти зі свердловини на опалення і скиді теплоти у свердловину при кондиціонуванні, що забезпечує стабілізацію термічного стану масиву ґрунту навколо свердловини, наближаючи його до фонового стану при перманентному довготривалому функціонуванні системи.

У четвертому розділі обґрунтовано умови раціонального використання теплонасосної системи на базі енергії скидних вод для теплопостачання, з використанням інструментарію математичного моделювання теплових процесів в теплообміннику-випарнику. За результатами чисельного моделювання розроблено рекомендації визначати ефективність роботи теплообмінних поверхонь теплонасосної

системи без шкоди навколишньому середовищу при максимальному заміщенні традиційних первинних енергоресурсів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі базується на: аналізі літературних джерел по темі дисертації, на використанні сучасних методів дослідження, програмних продуктів та математичного апарату: на зіставленні отриманих теоретичних даних з результатами інших авторів та даними експериментів; на загальноприйнятих допущеннях і обмеженнях, що є досить правомірними і забезпечують повторювальність результатів з достатньою точністю; на правильному формулюванні отриманих висновків.

3. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, наукова новизна результатів досліджень

Достовірність отриманих наукових результатів роботи забезпечується коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених наукових задач і підтверджена узгодженням результатів чисельного моделювання з результатами експериментів. Наукова новизна отриманих результатів та висновків полягає в визначенні раціональних умов довготривалого функціонування системи, а саме:

- запропоновано інструментарій підвищення ефективності альтернативного теплопостачання за рахунок енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод, з використанням методів математичного моделювання теплових процесів, спрямованого на удосконалення режимів роботи із недопущенням фазового переходу в шарах ґрунту при відводі теплоти до випарника теплового насосу від ґрунтового зонду, від свердловини з ґрунтовими водами та скидних вод побутового і промислового призначення;

- запропоновано алгоритм та програми чисельного моделювання параметрів теплових процесів в елементах теплонасосної системи на базі трьох різнорідних низькопотенційних альтернативних джерел енергії (енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод) з урахуванням екологічних вимог;

- обґрунтовані раціональні умови функціонування теплонасосної системи на базі трьох різнорідних низькопотенційних джерел енергії (енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод) за результатами теоретичних і експериментальних досліджень, з урахуванням технічного потенціалу низькопотенційних джерел енергії, кліматичних даних та потреб споживачів.

Дисертаційна робота вирішує актуальну наукову проблему, яка є важливою для теплоенергетики, містить раніше незахищені наукові положення та нові науково обґрунтовані результати, які отримані автором. Наукові завдання сформульовані на основі аналізу сучасних досліджень, які відповідають тематиці дослідження та меті дисертації, виконані повністю, а здобувач володіє повною мірою методологією наукової діяльності. Наведені в роботі наукові положення свідчать про наявність наукової значимості дисертації, що підтверджується теоретичними і

експериментальними результатами, спрямованими на удосконалення енергетичних, режимних і екологічних характеристик системи, з урахуванням потреб споживачів.

4. Рекомендації з використання та практична значимість отриманих результатів дослідження

Практична значимість отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблені в дисертаційній роботі моделі і методи можуть бути використані для широкої низки практичних застосувань в галузі теплоенергетики. Розроблено інструментарій визначення доцільності використанням різнорідних низькопотенційних джерел енергії для теплонасосних систем, які відрізняються ефективністю за екологічністю. Результати дисертаційної роботи впроваджені в Науковому парку «Одеської політехніки» для надання освітньо-консультативних послуг здобувачам при підготовці кваліфікаційних робіт бакалаврів і магістрів, а також впроваджені в навчальних дисциплінах «Інноваційні технології відновлюваної енергетики», «Моделювання теплових процесів в енергокомплексах» на кафедрі теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики «Одеської політехніки».

5. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

В опублікованих працях здобувача достатньо повно викладені основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи. Дисертація написана відповідно вимог до науково-технічних текстів. Висновки відповідають основному змісту дослідження.

Дисертаційна робота здобувача Іванова Павла Олександровича відповідає Стандарту освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії зі спеціальності 144 «Теплоенергетика», галузі знань 14 «Електрична інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти «Теплоенергетика».

Основні результати дисертації представлено в 14 публікаціях, в т.ч. 1 стаття в наукометричній базі Scopus, 5 статей у наукових фахових виданнях України, 8 публікації – апробаційного характеру: тези доповідей в збірниках праць міжнародних науково-практичних конференцій. Наукові публікації здобувача відповідають профілю дисертаційної роботи, охоплюють її основні положення та містять повне представлення теоретичних та прикладних результатів дослідження. Публікації охоплюють всі розділи дисертації та досить повно відображають зміст і результати досліджень, наведених в роботі.

Дисертаційна робота побудована логічно і послідовно, має чітку структуру, виклад матеріалу є зрозумілим, поданим українською мовою з використанням коректної науково-технічної термінології та інформативними таблицями та рисунками. Обсяг тексту є достатнім для повного розкриття теми.

Дисертація містить результати власних досліджень автора. Аналіз публікацій та особистого внеску в них здобувача показує, що всі наукові положення та висновки, які виносяться на захист дисертації, отримані здобувачем самостійно в період навчання в аспірантурі і узагальнені при оформленні дисертації.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело. Фактів порушення академічної доброчесності в матеріалах дисертації здобувача не виявлено.

5. Значення роботи для науки та практики

Результати наукових досліджень здобувача є практично значимими, а розроблений інструментарій математичного моделювання теплових процесів, спрямованого на удосконалення режимів роботи системи з недопущенням фазового переходу в шарах ґрунту при відводі теплоти до випарника теплового насосу від ґрунтового зонду, від ґрунтових вод зі свердловини та від скидних вод побутового і промислового призначення, може бути рекомендований для низки практичних застосувань в галузі теплоенергетики. Запропонований інструментарій визначення доцільності практичної реалізації теплонасосних систем, на базі трьох низькопотенційних джерел енергії: ґрунту, ґрунтових та скидних вод, які мають переваги за низкою енергетичних, технологічних, режимних і екологічних показників, спрямований на підвищення надійності системи і покращення стану довкілля, що відповідає вимогам сталого розвитку.

Наведені в дисертації результати досліджень дозволяють зробити висновок про наукову значимість роботи, що підтверджується модельними експериментами для обґрунтування шляхів та методів удосконалення ефективності запропонованих рішень.

Теоретичне і практичне значення наукових положень можна оцінити як досить високе, що відкриває перспективи для галузі теплоенергетики. Рекомендації щодо удосконалення системи, які базуються на теоретичних і експериментальних результатах, мають практичну цінність для енергозберігаючих технологій.

6. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

1. В роботі не вказано при якому співвідношенні тарифів на електроенергію і теплоту робота теплонасосної системи стає економічно вигідною.

2. В розрахунках ТНУ не враховано максимальне навантаження ТН, яке вибирається по розрахунковій температурі довкілля.

3. На думку опонента спрямування на вибір площі поверхонь ґрунтових теплообмінників по максимальній величині коефіцієнта заміщення не є правильною, бо при коефіцієнті заміщення більше 0,5 відбувається зростання вартості системи.

4. На думку опонента варто було перенести в Додатки технічний потенціал трьох низькопотенційних альтернативних джерел енергії для визначення впливу теплового насоса на ефективність генерації теплоти.

5. При прийнятті рішень щодо використання енергії ґрунту, ґрунтових вод та скидної теплоти в теплонасосній системі чи доцільним є залучення інших джерел енергії, наприклад, геліосистем?

6. Бажано було б надати оцінку тривалості періодів часу, протягом яких доцільно використовувати ґрунтову теплоту в якості низькопотенційного джерела для теплового насосу.

7. На думку опонента варто було проаналізувати дії, які необхідно вжити для адаптації запропонованого інструментарію підвищення ефективності системи при довготривалій експлуатації для об'єктів теплозабезпечення різного типу.

Вказані зауваження не є визначальними і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, яка є завершеним науково-практичним дослідженням.

7. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

В цілому можна констатувати, що дисертаційна робота ІВАНОВА Павла Олександровича «Підвищення ефективності альтернативного теплопостачання за рахунок енергії ґрунту, ґрунтових та стічних вод» є завершеним науковим дослідженням, яке має науково-прикладне значення, тема і зміст якого відповідає спеціальності 144 «Теплоенергетика».

Зважаючи на актуальність теми дисертації, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертації, їхньої новизни, практичної цінності, повноти викладення в наукових публікаціях, відсутності порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація відповідає вимогам «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 року №44, а її автор, ІВАНОВ Павло Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор, в.о. директора навчально-наукового
інституту атомної та теплової енергетики
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»

Ольга ЧЕРНОУСЕНКО