

В І Д Г У К
офіційного опонента
кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри енергозбереження
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Суходуб Ірини Олегівни
на дисертаційну роботу Лисака Олега Віталійовича
на тему: «Енергоефективне опалення приміщень повітряними
природно-примусовими електротеплоакумуляційними обігрівачами з
магнетитовою цеглою»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

І. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Підвищення повноти використання виробленої електроенергії є актуальною для сьогодення задачею, яка вирішується у дисертаційній роботі О. В. Лисака. Особливо чутливим аспектом цієї проблеми стали розбіжності між потужністю, яку надає в мережу виробник електроенергії, та потужністю, яка в конкретний період часу потрібна споживачам. За нестачі потужності від виробника виникають аварійні режими, що створюють небезпеку для життя людей, ризик значних матеріальних збитків (пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції), порушення складних технологічних процесів, неправильне функціонування важливих промислових та громадських об'єктів. Тому, як правило, в мережах підтримується режим деякого перевищення виробленої потужності над потужністю, яку потенційно може використати споживач. Однак, цей надлишок потужності по суті є енергією, що розсіюється до навколишнього середовища. Слід вжити заходів для її раціональної утилізації. Частково проблему надлишкової потужності в мережах вирішує її акумулювання споживачами для подальшого використання в період пікових потреб в електроенергії. Зокрема, це досягається системами електротеплоакумуляційного опалення, які споживають надлишково вироблену електроенергію під час провалів енергоспоживання та/або перевиробництва відновлюваними джерелами.

Одним з типів систем електротеплоакумуляційного опалення є електротеплоакумуляційні обігрівачі. Принцип дії електротеплоакумуляційних обігрівачів полягає в нагріванні теплоакумуляційного матеріалу електричними нагрівачами, розташованими безпосередньо в конструкції самого обігрівача. Електричні нагрівачі вмикаються в період дії низького тарифу на електроенергію та забезпечують в теплоакумуляційному матеріалі накопичення теплоти, якої має вистачити на опалення приміщення протягом іншого періоду доби.

Існують різні матеріали, які застосовують у процесі акумулювання. Як правило, теплоакумуляційним матеріалом є переважно вогнетривкі матеріали у вигляді цегли, максимальною температурою розігріву до 1023,15 K (750 °C). Найбільш поширеним матеріалом цегли для обігрівачів запропонованого автором типу є магнетит.

На підставі виконаного аналізу модельних рядів обігрівачів різних виробників автор запропонував модифіковану конструкцію енергоощадного обігрівача, яка забезпечує широкий діапазон регулювання та економію енергії, шляхом використання в одному приладі двох режимів роботи: природного та примусового (з використання вентилятора) руху повітря через прорізи в шарі магнезитової цегли. Перевагою природного руху є відсутність вентилятора, а недоліком – менший діапазон регулювання приладу. Відповідно, за примусового руху повітря можливий більший діапазон регулювання, але його здатність забезпечувати тепловіддачу залежить від надійності вентилятора, робота якого призводить до додаткових витрат електроенергії. Поєднання переваг природного та примусового руху повітря є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана згідно з Державною "Програмою підтримки енергоефективності в Україні" і безпосередньо пов'язана з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури на замовлення Міністерства освіти і науки України (№ держаної реєстрації 0120U101132).

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є створення приладів, які б ефективно акумулювали надлишки електроенергії для потреб опалення приміщень. Вирішення задачі передбачає розроблення конструкції повітряних природно-примусових електротеплоакумуляційних обігрівачів з магнезитовою цеглою та виявлення факторів, які б забезпечили їхнє максимально ефективне застосування.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких завдань:

- провести аналіз наявних систем, приладів та теплоакумуляційних матеріалів електротеплоакумуляційного опалення, їхнього впливу на енергоефективність комплексу генерація-постачання-споживання енергії;
- розробити повітряний природно-примусовий електротеплоакумуляційний обігрівач з магнезитовою цеглою, щоб поєднати переваги як природного, так і примусового руху повітря повітряними каналами електротеплоакумуляційних обігрівачів для енергоефективного опалення приміщень;
- розробити фізичну концептуальну модель теплообмінних процесів і втрат тиску в повітряних каналах повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача з магнезитовою цеглою;
- на підставі розробленої фізичної концептуальної моделі вдосконалити математичну модель процесів для визначення доцільної конструкції вказаних каналів;
- провести експериментальне дослідження теплообмінних процесів та втрат тиску в повітряних каналах повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача з магнезитовою цеглою;
- дослідити в натурних умовах роботу повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача з магнезитовою цеглою залежно від температури в обслуговуваному приміщенні;

– на основі наукового аналізу теоретичних та експериментальних даних розробити методіку інженерного розрахунку повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача з магnezитовою цеглою та виконати техніко-економічне обґрунтування його доцільності.

Об'єкт дослідження.

Акумуляційне електроопалення з використанням електротеплоакумуляційних обігрівачів, що забезпечує підвищення енергоефективності комплексу виробництво-постачання-споживання електроенергії шляхом використання виробленої енергії в години провалу енергоспоживання.

Предмет дослідження.

Тепломасообмінні процеси в повітряному природно-примусовому електротеплоакумуляційному обігрівачі за природного і примусового руху повітря через П-подібні канали з паралельними перемичками.

Методи дослідження.

Лабораторні та промислові експериментальні дослідження з використанням сучасної вимірювальної техніки та методик виконання теплотехнічного експерименту з застосуванням статистичних методів планування й обробки результатів цих дослідів, математичне моделювання теплообмінних процесів та втрат тиску в повітряному природно-примусовому електротеплоакумуляційному обігрівачі на підставі як відомих емпіричних залежностей для визначення тепловіддачі та втрат тиску, так і за допомогою методів обчислювальної гідродинаміки (CFD) з використанням рівняння Нав'є-Стокса для ламінарних течій та $k-\epsilon$ моделі для турбулентних течій.

Наукова новизна отриманих результатів.

Уперше:

– отримано залежності для тепловіддачі та втрат тиску в П-подібних каналах з паралельними перемичками повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача від розмірів цих каналів, температури теплоакумуляційного матеріалу та витрати повітря за природного й примусового руху повітря;

Удосконалено:

– фізичну концептуальну модель теплообмінних процесів і втрат тиску в повітряних каналах повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача з магnezитовою цеглою, що дає уявлення про тепломасообмін у П-подібних каналах з паралельними перемичками.

Набула подальшого розвитку:

– математична модель тепловіддачі та втрат тиску у повітряних каналах для повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача при різних розмірах, що дозволила отримати залежності тепловіддачі від розмірів, температури поверхні та витрати повітря за природного й примусового руху.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено повітряний природно-примусовий електротеплоакумуляційний обігрівач з магнезитовою цеглою, що поєднує переваги як природного, так і примусового руху повітря. Такий прилад дозволяє знизити витрати електроенергії в комплексі виробництво-постачання-споживання завдяки використанню запасу енергії акумуляованої під час провалів споживання та перевиробництва від відновлюваних джерел. Отримані розрахункові залежності для визначення доцільної конструкції повітряних каналів повітряних природно-примусових електротеплоакумуляційних обігрівачів з магнезитовою цеглою дозволили розробити інженерну методику підбору таких приладів задля використання більш енергоефективних режимів опалення залежно від необхідної кількості теплоти та зниження експлуатаційних витрат.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в приміщенні підприємства ТОВ «Столичний пекарний дім».

Особистий внесок здобувача.

Автор було теоретично обґрунтував та самостійно дослідив на експериментальному стенді робочі режими повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача з магнезитовою цеглою. Даний прилад забезпечує широкий діапазон регулювання тепловіддачі за примусового руху повітря (з використанням вентилятора) та за природного руху повітря (внаслідок різниці густини повітря). Автор виявив фактори, які впливали на тепловіддачу та втрати тиску в зазначеному приладі і отримав залежності, на підставі яких можливо виконати раціональний вибір характеристик обігрівача. Правильність отриманих залежностей перевірено експериментальним шляхом. Також автор сформував модельний ряд та надав методику практичного вибору моделі розроблених у дисертації обігрівачів за різних умов експлуатації.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати досліджень та окремі розділи дисертації доповідалися на: науково-практичних конференціях Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, 2010-2015 р.); міжнародних науково-практичних конференціях «Енергоінтеграція» (м. Київ, 2014-2017 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Буд-Майстер-Клас» (м. Київ, 2015-2016 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Будівництво з оптимальним енергетичним потенціалом» (м. Ченстохова, Польща, 2014 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення" (м. Рівне, 2015 р.); міжнародній науково-практичній конференції "Енергоефективний університет" (м. Київ, 2015-2016 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування» (м. Харків, 2016-2017 р.); міжнародній науково-технічній конференції «ЕкоКомфорт» (м. Львів, 2016 р.); міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті» (м. Київ, 2015-2016, 2018, 2021); міжнародній

науково-практичній конференції «Проблеми сучасної теплоенергетики» (м. Київ, 2020 р.).

Мова та стиль роботи.

Дисертаційну роботу та автореферат написано грамотно. Стиль і виклад послідовний, логічний та відповідає вимогам до друкованих праць. Текст роботи повністю відтворює результати наукових досліджень. При викладенні тексту застосовується, в основному, сучасна наукова та лексична термінологія.

Публікації.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано у 14 друкованих роботах, з них у 11 фахових виданнях, 2 у міжнародному виданні та 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу та п'яти розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел зі 167 найменувань та двох додатків, викладена на 196 сторінках друкованого тексту, серед яких 160 сторінок основного тексту містить 46 рисунків та 25 таблиць.

II. АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Загальна характеристика роботи.

У *вступі* дисертаційної роботи наведено обґрунтування актуальності роботи, визначено мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також наведено відомості про публікації автора за темою дисертації. Обсяг і форма вступу відповідають загальноприйнятим вимогам до кандидатських дисертацій та достатні для ознайомлення з вихідними передумовами й змістом положень, що винесено автором на захист.

У *першому розділі* обговорено тему актуальності енергоефективних систем опалення приміщень та надано інформацію щодо основних типів систем акумуляційного електроопалення, на підставі якої зроблено висновок про переваги вибору твердих теплоаккумуляційних матеріалів для електротеплоаккумуляційних обігрівачів (ЕТАО). Далі виконано огляд наявних на ринку конструкцій ЕТАО та їхніх характеристик з пошуком можливих шляхів покращення енергоефективності.

Оскільки на ринку представлені ЕТАО лише з природним або лише з примусовим рухом повітря каналами, було розглянуто роботу обох варіантів і зроблено висновки щодо наявності режимів, у яких вказані системи не забезпечують ефективну тепловіддачу. Зазначений недолік у дисертаційній роботі запропоновано подолати шляхом поєднання природного та примусового руху повітря через канали в одному приладі, який має забезпечувати більшу надійність роботи та зменшувати витрати електроенергії на роботу вентилятора за рахунок використання режиму з природним рухом повітря.

На основі теоретичного вивчення літературних джерел сформульовано завдання та напрямки досліджень, а також намічено шляхи вирішення поставлених задач.

У *другому розділі* розглянуто питання вибору твердого теплоакмулюючого матеріалу з характеристиками, які б забезпечили найбільшу ефективність акумуляції.

Для цього виконано аналіз масової та об'ємної теплоємності, густини, допустимої температура нагріву та спроможності накопичення теплоти за масою та об'ємом. Серед проаналізованих матеріалів найбільш відповідним визнано магнезит. Розглянуто основні принципи побудови повітряного природно-примусового електротеплоакумуляційного обігрівача з магнезитовою цеглою (ЗП-ЕТАО), які б забезпечили зміну режимів природного і примусового протікання повітря в каналах без суттєвих змін в конструкції самого ЕТАО. Для оцінювання ефективності прийнятих рішень було розраховано показники тепловіддачі за трьох різних режимів: нерегульована, регульована в режимі з примусовим рухом повітря та регульована в режимі з природним рухом повітря. Також розглянуто питання втрат тиску в режимі з примусовим рухом повітря. Розрахунком отримано числові значення тепловіддачі, густини теплоакумуляування та відстані між стінками повітряних каналів, які б забезпечили ефективну роботу ЗП-ЕТАО в обох режимах руху повітря.

У *третьому розділі* виконано перевірку отриманих теоретично даних щодо тепловіддачі ЗП-ЕТАО за природного й примусового руху повітря. За результатами експериментальних досліджень було підтверджено допустимість застосування отриманих даних. Також автором було проведено промислові дослідження на об'єктах підприємства ТОВ «Столичний пекарний дім», які продемонстрували зміну градієнта температури повітря в приміщенні залежно від значення температури в ньому.

Четвертий розділ присвячено розгляду питань підбору ЗП-ЕТАО, який ґрунтується на визначенні середнього добового теплоспоживання приміщення, та методику підбору приладів у приміщенні.

У *п'ятому розділі* проведено техніко-економічне порівняння розробленого в дисертаційній роботі ЗП-ЕТАО з іншими способами опалення. Виявлено умови, у яких використання ЗП-ЕТАО є доцільним і матиме економічний зиск для споживачів. Також продемонстровано, яку економію можливо отримати за застосування додаткового денного «зарядження» приладу.

У *висновках* до роботи викладено отримані автором наукові й прикладні результати та перспективи їхнього використання.

ІІІ. ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА ПОБАЖАННЯ

1. У дисертації доцільно було б обґрунтувати розміри використаних цеглин, а саме $180 \times 180 \times 70$ мм, з точки зору тепломасообмінних процесів.
2. У дисертації доцільним було б обґрунтувати використання радіального або діаметрального вентилятора у розробленій конструкції опалювального приладу.
3. На рис. 2.8 доцільним було б окремо продемонструвати тепломасообмінні процеси за природної та примусової спонуки руху повітря, а на рис. 3.1 – показати принципові схеми експериментальних досліджень окремо для цих способів спонуки.
4. При проведенні підбору приладів ЗП-ЕТАО доцільним було б показати, як прилад працює за проміжних випадків: середньої температури найхолоднішого місяця та перехідного періоду.
5. У дисертації виявлено окремі друкарські помилки та неточності. Зокрема, на рис. 2.1 розміри варто було показати безпосередньо на рисунку, а не в підписі під ним.
6. Недостатньо детально описаний процес CFD моделювання, а саме геометрія, розрахункова сітка, допущення, верифікація моделі, порівняння з дослідженнями.

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, що захищаються дисертантом, і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

IV. ВИСНОВКИ ОПОНЕНТА

Дисертаційна робота Лисака Олега Віталійовича є завершеним науковим дослідженням.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки й рекомендації достатньо обґрунтовані, а їхня достовірність і новизна не викликають сумніву.

Оформлення та стиль викладення матеріалу дисертаційної роботи доступний для сприйняття і відповідає сучасним вимогам до наукових праць.

Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, що містяться в них, ідентичні.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації роботи адекватно відображено в публікаціях автора у науково-технічних виданнях визначених Міністерством освіти і науки України. Матеріали дисертації були в достатній мірі представлені на конференціях державного та міжнародного рівня.

За напрямком обраних і вирішених задач дисертація повністю відповідає спеціальності 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

На підставі вище наведеного вважаю, що дисертаційна робота здобувача Лисака О. В. відповідає вимогам до кандидатських дисертацій п.п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 року (зі змінами та доповненнями), а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри теплотехніки та енергозбереження
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»

Суходуб І.О.

Підпис кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри теплотехніки та енергозбереження
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»

Засвідчую

Вчений секретар
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»



Холяvко В.В.