

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника, головного наукового співробітника Інституту технічної теплофізики НАН України Давиденка Бориса Вікторовича на дисертаційну роботу Лисака Олега Віталійовича “ Енергоефективне опалення приміщень повітряними природно-примусовими електротеплоаккумуляційними обігрівачами з магнезитовою цеглою ”, що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

### **1.Актуальність теми дисертаційної роботи.**

У зв'язку з необхідністю зменшення залежності енергетичної системи України від імпорتنих енергоносіїв важливим стає питанням розробки нових систем опалення приміщень, які б замість газу або вугілля використовували електроенергію, що виробляється в години провалу енергоспоживання. Одним з варіантів таких альтернативних систем є системи акумуляційного електроопалення. Вони передбачають застосування теплоаккумуляційного матеріалу, який нагрівається електричними нагрівачами в період дії низького тарифу на електроенергію. Такі системи забезпечують тепlopостачання споживачів протягом доби. Їх перевага полягає в тому, що вони дозволяють більш повно використовувати вироблену надлишкову електроенергію, яка без акумулювання не була б спожита.

Висока ефективність електротеплоаккумуляційних обігрівачів може досягатися за умов оптимальних конструкційних та режимних параметрів цих пристроїв. Ці параметри можуть бути визначені за результатами наукових досліджень аеродинамічних та теплообмінних процесів в повітряних каналах електротеплоаккумуляційних обігрівачів. Зважаючи на це, тему дисертаційної роботи, мета якої полягає у науковому обґрунтуванні та розробленні енергоефективних електротеплоаккумуляційних обігрівачів, а також у визначенні їх доцільних конструкційних параметрів, слід вважати важливою та актуальною.

Про актуальність та важливість цієї роботи свідчить також її зв'язок з науковими програмами, планами і темами Київського національного університету будівництва і архітектури

### **2.Коротка характеристика змісту роботи**

Дисертація має структуру завершеної науково-дослідної роботи. Текст дисертації складається з анотації, вступу, 5 розділів основних результатів, загальних висновків, списку використаної літератури з 168 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складається з 196 сторінки машинописного тексту, що містить 160 сторінок основної текстової частини, 46 рисунків та 25 таблиць.

***В анотації*** стисло викладено основні положення дисертаційної роботи. Розглядаються принцип роботи дворежимного електротеплоаккумуляційного обігрівача, його загальна конструкція та теплоаккумуляційний матеріал, що в ньому застосовується. Надано основні результати CFD - моделювання

тепловіддачі для секції приладу, а також результати експериментів. Наведено наукову новизну, практичне застосування одержаних результатів, список опублікованих праць за темою дисертаційної роботи.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; вказано її зв'язок з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету роботи і задачі досліджень; визначено об'єкт, предмет і методи досліджень; наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів; надано інформацію щодо особистого внеску здобувача, дані про апробацію роботи, про наукові публікації та про структуру і обсяг роботи.

**У першому розділі** наведено результати аналізу характеристик місцевих опалювальних приладів, що застосовують принцип акумуляційного електроопалення. На основі аналізу літературних джерел визначаються проблеми, що пов'язані з розробкою цих приладів. Обґрунтовано доцільність теплозабезпечення приміщень будівель і споруд за рахунок систем акумуляційного електроопалення. Зазначається, що встановлення даних систем, які використовують електроенергію, що вироблена в період дії пільгового тарифу на електроенергію, дозволяє знизити витрати на опалення приміщень. При цьому акумуляційне електроопалення дозволяє використовувати надлишково вироблену електроенергію в період провалу графіка її споживання. Важливим при цьому є питання економічного заохочення щодо застосування даного принципу опалення приміщень.

Розглядаються типи систем акумуляційного електроопалення. По методу акумулювання теплоти розрізняються явний, фазовий та термохімічний методи. Наводяться переваги та недоліки цих методів. Надається характеристика, за якою порівнюється ефективність різних методів акумулювання теплової енергії. Розглядаються особливості теплових акумуляторів в залежності від прийнятого способу розподілу акумульованої енергії. За цим способом акумулятори поділяють на центральні та місцеві. Аналізуються описані в літературі конструктивні рішення щодо даних пристроїв. Відзначаються обігрівачі без регулювання тепловіддачі; з природнім рухом повітря та з примусовим рухом повітря. Проаналізовано основні режимні параметри роботи цих обігрівачів.

За результатами аналізу стану наукових розробок та практичного досвіду, що наведені в літературі, сформульовано задачі дослідження.

**У другому розділі** наведено результати аналітичних досліджень процесів теплообміну в дворезимному електротеплоакумуляційному обігрівачі та втрат тиску в цьому пристрої. Розглядається проблема вибору матеріалу для теплоакумуляційного нагрівача. Обґрунтовано застосування магнезиту, який за рядом характеристик можна вважати одним з найкращих теплоакумулюючих матеріалів. Визначено теплоакумуляційну здатність однієї стандартної цеглини з магнезиту та секції з цеглин. Зазначається, що доцільним є поєднання двох принципів роботи електротеплоакумуляційного обігрівача: як з використанням примусового, так і природного руху повітря. Розглядаються конструкційні особливості такого нагрівача і принцип його роботи. Наведено схему теплообмінних процесів та напрямки теплових

потоків в даному пристрої. Розроблено наближену теплофізичну модель цього обігрівача, яка складається з рівнянь теплового балансу. Ці рівняння після перетворень представляються в безрозмірному вигляді. Визначаються характерні особливості як нерегульованого режиму тепловіддачі від приладу так і регульованого режиму. Для нерегульованого режиму детально розглядаються рівняння тепловіддачі для природної конвекції і випромінювання з кожної поверхні цього пристрою. З аналізу результатів розрахунків за цими рівняннями випливає, що в діапазоні можливих температур зовнішньої поверхні обігрівача нерегульований тепловий потік не перевищуватиме задане значення необхідного теплового потоку від приладу.

Досліджується регульована тепловіддача від приладу в режимі примусового руху повітря. Коефіцієнти тепловіддачі для вимушеної течії повітря при регульованому режимі визначаються за результатами комп'ютерного моделювання гідродинаміки і теплообміну. Визначається залежність тепловіддачі в повітряних каналах від різних варіантів укладання теплоакумуючих цеглин та від відстані між стінками повітряного каналу. Окрім теплових характеристик пристрою визначаються його витратні характеристики та втрати тиску в повітряних каналах приладу. Розглядається залежність втрат тиску від різних варіантів укладання цегли, а також від ширини повітряних каналів. Розглядається також регульована тепловіддача приладу в режимі природного руху повітря. Наведено залежність коефіцієнта тепловіддачі в повітряному каналі від відстані між стінками повітряного каналу та від температури поверхні цього каналу.

**В третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень тепловіддачі повітряних каналів обігрівача. Розглядається принципова схема експериментальної установки та порядок проведення експериментів. Наведено основні характеристики приладів для вимірювання температури, швидкості повітря та інших величин. Визначається порядок розрахунку похибок експерименту. Обчислюються середньоквадратичні відхилення вимірювальних величин. Наведено результати планування експериментальних досліджень регульованої тепловіддачі приладу за примусового руху повітря. Приймається, що на тепловіддачу від внутрішніх каналів обігрівача впливають три фактори: витрата повітря на вході до обігрівача, температура акумуляційного матеріалу та ширина каналу. За результатами експериментальних досліджень визначається залежність числа Нуссельта від числа Рейнольдса в повітряному каналі та від відстані між стінками повітряного каналу.

Наведено також результати планування експериментальних досліджень втрат тиску в каналах. Функцією відгуку в цьому випадку є значення перепаду тиску на вході та на виході з блоку теплоакумуючого матеріалу. Представлено визначену з експерименту залежність перепаду тиску від числа Рейнольдса та витрати повітря в каналі. Розглядається також порядок планування експериментального дослідження тепловіддачі приладу за природного руху повітря. Вихідними параметрами у цьому випадку є температура акумулюючого матеріалу та ширина каналу.

Розглядаються результати промислових досліджень дворежимного електротеплоаккумуляційного обігрівача. Досліджується розподіл температури в приміщенні, що опалюється даним пристроєм. Наведено функціональну схему опалення приміщення за допомогою цього нагрівача. Описуються вимірвальні прилади, що використовуються для досліджень. Представлені графічні залежності температури в приміщенні при роботі нагрівача за увімкненого та вимкненого вентилятору. Виявлено вплив температури регулювання приладу на розподіл температури по висоті приміщення.

*Четвертий розділ* присвячено розробці інженерної методика підбору дворежимних електротеплоаккумуляційних обігрівачів. Ця методика передбачає вибір варіанту конфігурації цегли, з якої складається типовий блок опалювача, визначення габаритних розмірів цього приладу. Розглядається принцип розроблення типоряду цих приладів в залежності від їх потужності. За відомого значення періоду накопичення теплоти приладом з відомого типоряду обирається такий, який би задовольняв добову потребу в теплоспоживанні приміщення. Підбір дворежимних електротеплоаккумуляційних обігрівачів передбачає знаходження ряду параметрів, що визначають особливості його роботи в залежності від призначення обслуговуваного приміщення. Розроблена методика інженерного розрахунку дозволяє визначати необхідну кількість та потужність обігрівача в системі акумуляційного електроопалення. У вигляді блок-схеми відображено послідовні етапи підбору обігрівача.

В *п'ятому розділі* викладено результати техніко-економічного обґрунтування вибору дворежимних електротеплоаккумуляційних обігрівачів. Виконано оцінку вартості цих пристроїв за умови їх виробництва в Україні. Визначено термін їх окупності за стандартних умов накопичення теплоти під час зарядження. Проаналізовано доцільність переходу на системи електричного теплоаккумуляційного опалення. Для цього визначається можлива економія експлуатаційних коштів за використання запропонованої системи електричного теплоаккумуляційного опалення порівняно з альтернативними варіантами. Як альтернативні варіанти розглядаються система прямого електричного опалення; система центрального опалення; система газового опалення та система теплонасосного теплопостачання. Виконано уточнення терміну окупності дворежимних електротеплоаккумуляційних обігрівачів за наявності додаткового «зарядження». Показано, що застосування додаткового часу «зарядження» до 4 годин та тривалості нічного «зарядження» 7 годин дозволяє зменшити на третину потужність обігрівача та майже вдвічі зменшити його необхідну масу.

У *загальних висновках* наводиться перелік основних наукових і практичних результатів, одержаних у дисертаційній роботі.

### **3. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному**

- отримані нові наукові дані, що стосуються процесів перенесення теплоти в повітряних каналах електротеплоаккумуляційних обігрівачів. Ці

результати дозволили визначити доцільну конструкцію обігрівача даного типу.

- за результатами експериментальних досліджень встановлено нові залежності тепловіддачі в повітряних каналах від температури теплоакumuляційного матеріалу, витрати повітря та розмірів каналів;

- отримані нові дані стосовно втрат тиску в каналах обігрівача в залежності від витрати повітря та розмірів каналів;

- доведено ефективність впровадження дворезимного електротеплоакumuляційного обігрівача. Визначено термін його окупності при застосуванні в якості опалювального пристрою

#### **4. Практична цінність отриманих результатів.**

- розроблено ефективну конструкцію дворезимного електротеплоакumuляційного обігрівача, яка поєднує переваги як природного, так і примусового руху повітря в каналах цього пристрою. Обігрівачі, що працюють за даним принципом, у випадку їх застосування для опалення приміщень, дозволяють утилізувати електроенергію, що надлишково вироблена під час провалів енергоспоживання.

- створено типоряд і методику інженерного розрахунку основних параметрів дворезимного електротеплоакumuляційного обігрівача. Дана методика може забезпечити впровадження цих пристроїв, як обігрівачів. Це дозволить підвищити ефективність постачання теплоти в приміщення за рахунок використання електричної енергії під час провалів електроспоживання.

- визначено доцільний та ефективний матеріал для акумуляції теплової енергії в розробленому приладі.

Про практичну цінність роботи свідчить також патент на корисну модель дворезимного електротеплоакumuляційного обігрівача, який поєднує переваги приладів як з примусовим, так і з природним рухом повітря через теплоакumuляційний блок. Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «Столичний пекарний дім». Впровадження роботи дозволило підвищити ефективність енергоспоживання даним підприємством.

#### **5. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів.**

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та висновків підтверджується коректною постановкою задач аналітичних та чисельних досліджень, достатнім обґрунтуванням фізичних припущень, застосуванням надійного розрахункової програми OpenFOAM для проведення CFD моделювання.

#### **6. Повнота викладення наукових положень та висновків.**

Основні положення дисертаційної роботи та висновки викладені в 14 друкованих наукових працях. З них 11 статей опубліковано у фахових наукових виданнях; 2 статі - у міжнародних виданнях. Отримано також 1 патент України на корисну модель.

Автореферат дисертаційної роботи Лисака О. В. достатньо повно відображає зміст і суть результатів досліджень, викладених в дисертації.

#### **7. Оформлення дисертації**

Дисертація є закінченою науковою роботою, що виконана у вигляді підготовленого рукопису. Дисертаційна робота написана з використанням сучасної наукової термінології. Стиль викладення наукового матеріалу забезпечує його чітке та однозначне розуміння. Дисертація оформлена згідно прийнятих вимог до оформлення.

### **8. Зауваження до дисертації**

1. Обробку результатів дослідження залежності втрати тиску в каналах обігрівача від числа Рейнольдса та від відстані між стінками повітряного каналу було б доцільно проводити з застосуванням формули Дарсі - Вейсбаха. Ця формула враховує як швидкісний напір, так і ширину каналу. В цьому випадку від числа Рейнольдса залежав би лише коефіцієнт гідравлічного опору.

2. Результати, що наведені в підрозділі 2.5, одержані з застосуванням програми OpenFOAM, тобто вони одержані за даними чисельного моделювання течії та теплообміну при ламінарному або турбулентному режимі руху теплоносія. Але в роботі не наведено вихідну систему рівнянь, що чисельно розв'язується. Не наводиться також вигляд розрахункової області та граничні умови до системи рівнянь.

3. В підрозділі 2.3 рівняння теплового балансу (2.22) перетворюється до рівняння в безрозмірній формі (2.23). Його називають "*критеріальним рівнянням*". Далі наведено ще одне безрозмірне рівняння (2.28). Більше ці рівняння в тексті дисертації не згадуються і не використовуються для розрахунків або аналізу. Тому не зрозуміло, з якою метою вони представлені в дисертаційній роботі і яка від них користь.

4. В підрозділі 2.5 доцільно було б навести в графічному вигляді залежність температури повітря на виході з обігрівача від температури акумуляційного матеріалу та витрат повітря при примусовому русі повітря.

5. Автором не визначено тепловтрати на поверхні ЗП-ЕТАО залежно від умов експлуатації приладу. Значення нерегульованої тепловіддачі від зовнішньої поверхні розглянуто лише для умов найбільшого розігріву приладу.

6. В розділі 3 дуже докладно розглядається метод вимірювання основних досліджуваних величин, метод розрахунку похибок експерименту та порядок планування експерименту. Але результати досліджень температурного і гідравлічного режимів обігрівача представлено лише у вигляді рисунків, де відображено залежності коефіцієнту гідравлічного опору та числа Нуссельта від числа Рейнольдса в повітряному каналі, (або числа Релея при природній конвекції), та від відстані між стінками повітряного каналу. Бажано було б також навести результати вимірювання температури повітря на виході з обігрівача в залежності від згаданих вихідних параметрів.

7. В роботі наведено результати як розрахункових, так і експериментальних досліджень. Але порівняння цих результатів з метою верифікації розрахункової моделі не проводиться.



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

### ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Лисака Олега Віталійовича “Енергоефективне опалення приміщень повітряними природно-примусовими електротеплоакумуляційними обігрівачами з магnezитовою цеглою” є завершеною науковою працею, в якій містяться нові наукові результати, спрямовані на вирішення актуальної проблеми підвищення ефективності систем опалювання приміщень.

Робота виконана на сучасному науковому рівні, а одержані результати мають наукову новизну та практичну цінність. Сформульовані в роботі наукові висновки характеризуються високим ступенем обґрунтованості. За напрямком обраних та вирішених питань дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота Лисака Олега Віталійовича “Енергоефективне опалення приміщень повітряними природно-примусовими електротеплоакумуляційними обігрівачами з магnezитовою цеглою” відповідає вимогам до кандидатських дисертацій, а саме пунктам 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 р.), а її автор, Лисак Олег Віталійович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
головний науковий співробітник  
Інституту технічної теплофізики НАН України



Б.В.Давиденко

