

УДК 536.242: УДК 621.365

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРИЧНИХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Демченко В.Г., канд. техн. наук, Коники А.В., канд. техн. наук, Хоменко М.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, Україна, 03057

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2021.5>

Метою статті є проведення аналізу техніко-економічних характеристик і ефективності побутових електричних опалювальних приладів українського виробництва. Стаття містить результати експериментальних досліджень теплового потоку і теплоти випромінювання. Виконано порівняльний аналіз співвідношення теплових характеристик до вартості та ефективності приладів. Проведено порівняння якісних характеристик приладів за допомогою методу «центр мас», заснованого на показниках енергетичної та економічної ефективності.

Целью статьи является проведение анализа технико-экономических характеристик и эффективности бытовых электрических отопительных приборов украинского производства. Статья содержит результаты экспериментальных исследований теплового потока и теплоты излучения. Выполнен сравнительный анализ соотношения тепловых характеристик к стоимости и эффективности приборов. Проведено сравнение качественных характеристик приборов с помощью метода «центр масс», основанном на показателях энергетической и экономической эффективности.

The purpose of the article is to analyze the technical and economic characteristics and efficiency of household electric heating devices of Ukrainian production. The article contains experimental studies of the heat flux and radiation heat. A comparative analysis of the ratio of thermal characteristics to the cost and efficiency of devices has been carried out. The procedure for comparing the characteristics of devices using the "center of mass" method based on indicators of energy and economic efficiency has been carried out.

Бібл. 10, табл. 3, рис. 7.

Ключові слова: електричний опалювальний прилад, теплота, ефективність, метод «центр мас».

E , мВ – величина термоелектричного сигналу;
 I , А – сила струму;
 K , Вт/м²·мВ – коефіцієнт перетворення;
 K_1 – коефіцієнт теплової ефективності;
 K_2 – коефіцієнт теплової потужності;
 K_3 – коефіцієнт економічності;
 N , Вт – потужність приладу;
 Nu – критерій Нуссельта;

Pr – критерій Прандтля;
 Q_B , Вт – потужність теплового випромінювання;
 Q_{conv} , Вт – потужність конвективної складової;
 Q_{Σ} , Вт – сумарна тепла потужність;
 q , Вт/м² – густина теплового потоку;
 R , Ом – опір;
 Re – критерій Рейнольдса;
 U , В – напруга.

Вступ

За останні роки в Україні з'явилася тенденція переходу від газового опалення до електричного. Масове використання портативних електричних опалювальних приладів може зменшити споживання природного газу в країні на 25 %, за рахунок застосування відновлювальних джерел енергії. Електричний нагрів відрізняється доступністю, високим ККД перетворення електричної енергії в теплоту, низькими витратами монтажних робіт і технічного обслуговування, можливістю використання пільгових тарифів. Проте існує проблема його використання – це внутрішні і зовнішні електромережі, які побудовані, здебільшого, в часи, коли існувала повна заборона електричного опалення, що зумовлено пропускну здатністю електромереж.

Однак, наразі портативні електричні прилади для автономного опалення приміщень широко розповсюджені для малоповерхової забудови і в багатоповерхових будинках, як основне джерело тепла або як доповнення до центрального опалення [1].

У майбутньому електрика стане основним джерелом для опалення, оскільки її можна виробляти в Україні, забезпечуючи безперервність поставок за стабільною ціною збільшивши частку генерації з відновлюваних джерел енергії. Цьому сприяє державна політика та екологічне законодавство, яке регулює напрямок розвитку побутового опалення [2,3].

Електричні опалювальні прилади – це пристрої, що перетворюють електричний струм в теплову енергію. Як правило, вони складаються з нагрівального елемен-

ту та поверхні теплообміну. Для регулювання температури використовують терморегулятори. Асортимент електронагрівальних приладів різноманітний, кожному типу притаманні свої особливості, які передбачені в чинних стандартах [2,4]. За способом віддачі теплоти опалювальні прилади розділяють на радіаційні та конвекційні. Випромінювальні прилади для опалення (каміни, печі) виготовляють з нагрівальними елементами, що мають робочу температуру в межах 600...900 °С. Конвекційні опалювальні прилади виробляють з природною (конвектори, масляні електричні радіатори) і з примусовою конвекцією (електротепловентилятори) [5-7].

Мета та задачі дослідження

Метою досліджень є визначення та порівняння техніко-економічних характеристик, а саме теплової ефективності, теплової потужності й економічності популярних моделей електричних опалювальних приладів, робота яких ґрунтується на різних принципах дії. Для досягнення мети необхідно дослідити теплові характеристики опалювальних приладів, призначених для автономного обігріву приміщень, а саме вирішити наступні задачі:

- провести експериментальні дослідження обраних приладів, дослідити їх теплові характеристики;
- оцінити технічну, технологічну та економічну ефективність кожного з приладів;
- визначити оптимальні моделі шляхом співставлення основних характеристик.

Об'єкт досліджень – теплові характеристики побутових електронагрівачів.

Предмет досліджень – побутові електронагрівальні прилади.

Методики досліджень. Опис експериментального стенду

Методи випробувань ґрунтуються на регламентах, викладених в ДСТУ 3088-95 [8]. Густина теплового потоку визначено розрахунковим методом та порівняно з експериментальними даними. Складний теплообмін враховано розрахунком коефіцієнту тепловіддачі. Чисельно-експериментальне дослідження природного потоку конвекції в поєднанні з випромінюванням проводиться з кожним опалюваним приладом в лабораторному приміщенні. Порівняння якісних характеристик проведено авторським методом «центр мас».

Дослідження опалювальних приладів проводили в наступній послідовності:

1. Опалювальний прилад, що приєднаний до електричного лічильника, для виміру потужності приладу підключається до мережі 220 В. З часом відбувається повний та рівномірний прогрів для виходу в стабільний період роботи для реальної оцінки результатів.

2. Після стабілізації роботи досліджуваного приладу фіксується розподіл температур по його поверхні за допомогою тепловізора ULIRvisionTi160.

3. Фіксація температури поверхні приладу здійснюється за допомогою термопар через концентратор вимірів Triton 6004. За допомогою програмного забезпечення дані вимірів виводяться на комп'ютер. Для проведення досліджень створено експериментальний стенд представлений на рисунку 1.

4. Датчиками теплового потоку послідовно вимірюється термоЕРС по поверхні приладу.

5. Реєструються показники струму та напруги.

6. Проводяться заміри температури в приміщенні

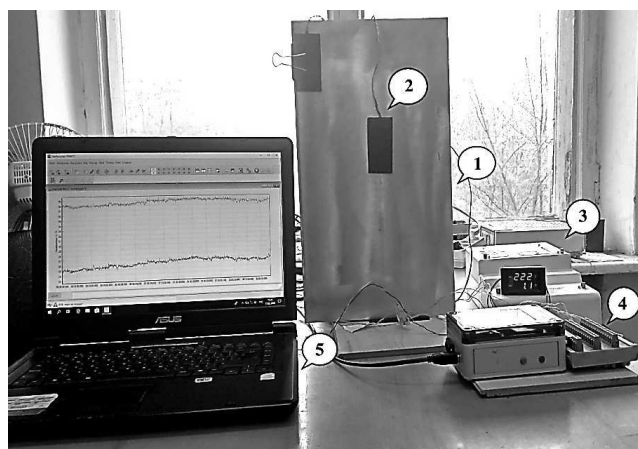


Рис. 1. Експериментальний стенд для дослідження опалювальних приладів:

1 – електричний опалювальний прилад; 2 – сенсори теплового потоку;

3 – електричний лічильник; 4 – концентратор вимірів Triton 6004; 5 – комп'ютер

протягом часу проведення досліджень, при цьому фіксуються зміни загальної температури від геометричного центру приладу на віддаленні 2,0 м та при висоті 1,5 метра від підлоги.

Дослідження проводилися за умов: номінальна напруга в 220 В, частота струму – 50 Гц, максимальна температура – 80 °С, режим роботи – періодичний, площа лабораторного приміщення 12,0 м², висота приміщення 3,2 м.

В результаті аналізу асортименту електричних опалювальних приладів, представлених на ринку України, було виділено та досліджено наступні конструкції:

1. Біо-конвектор Venesia – принцип роботи опалювального приладу, заснований на інфрачервоному випромінюванні. Такі прилади використовують для організації додаткового або основного опалення у

приміщеннях. Прилад потужністю 790 Вт з геометричними розмірами 0,6×0,6 м призначений для опалення площі до 7,7 м². Біо-конвектор Venesia представлено на рисунку 2.

2. Електричний конвектор марки UFO – принцип роботи якого ґрунтується на властивостях повітря. Оскільки холодне повітря має більшу щільність, то розташовується в нижній частині простору, звідки вентилятором затягується в конвектор і проходить через нагрівальний елемент, підігрівається і виводиться через спеціальну решітку. Таким чином, відбувається рівномірний нагрів всього повітря в приміщенні. Електричний конвектор марки UFO, потужністю 1,0 кВт з геометричними розмірами 0,45×0,89×0,11 м призначений для опалення площі до 10 м². Прилад представлено на рисунку 3.

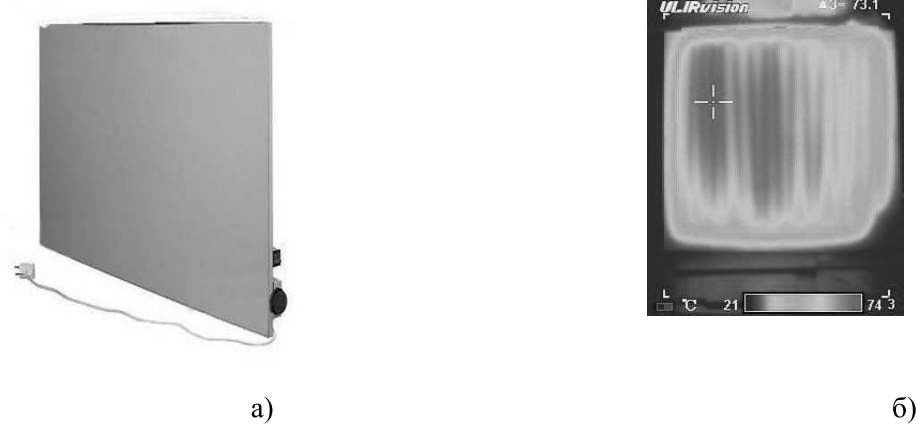


Рис. 2. Біо-конвектор Venesia: фото опалювального приладу (а), фото тепловізійної зйомки (б)



Рис. 3. Електричний конвектор марки UFO: фото опалювального приладу (а), фото тепловізійної зйомки (б)

3. Масляний радіатор WildWind – принцип роботи опалювального приладу, заснований на нагріванні металевого корпусу шляхом циркуляції нагрітого ТЕНОм масла всередині радіатора. Металевий корпус випромінює теплоту в навколишнє середовище і нагріває повітря. Масляний радіатор WildWind потужністю 500 Вт з геометричними розмірами 0,35×0,35 м призначений для опалення площі до 5,0 м², рисунок 4.

4. Теплоелектронагрівальна панель ALMAZ TERM–використовує принцип роботи нагрівача закритого типу: в плиту вмонтовано резистор, який нагрівається за рахунок проходження електричного струму, від нього через великий електричний опір нагрівається плита, від якої здійснюється конвекційний та радіаційний теплообмін. Теплоелектронагрівальна панель ALMAZ TERM потужністю 240 Вт з геометричними розмірами 0,45×0,26 м призначена для опалення площі до 2,7 м², представлена на рисунку 5.

Результати досліджень

1. Розподіл температури по площі теплообміну.

Дослідження розподілу температури по поверхні опалювальних приладів отримані за допомогою тепловізійної зйомки наведено на рисунках 2-5:

2. Вимірювання густини теплового потоку.

Перепад температури, пропорційний напрямку теплового потоку, перетворюється в термоЕРС термосенсорами, що розташовані на обігрівачі паралельно по тепловому потоку і з'єднані з вимірювальним приладом Triton 6004 по генеруючому сигналу.

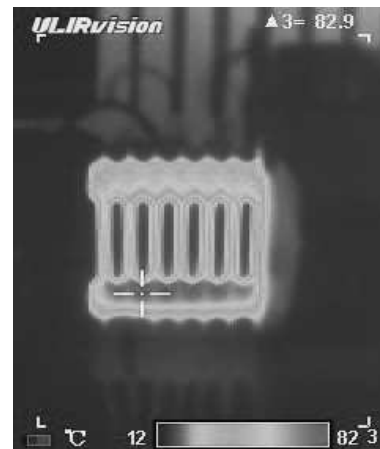
За результатами вимірювання термоЕРС розраховується густина теплового потоку. Величина визначається за формулою:

$$q = K \cdot E, \quad (1)$$

де q – густина теплового потоку, Вт/м²; K – коефіцієнт перетворення, Вт/м²•мВ; E – величина термоелектричного сигналу, мВ.



а)

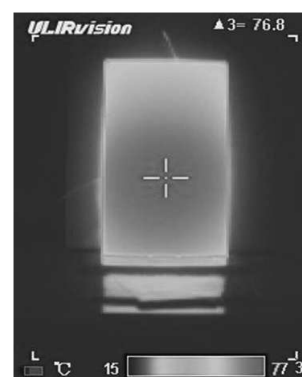


б)

Рис. 4. Масляний радіатор WildWind: фото опалювального приладу (а), фото тепловізійної зйомки (б)



а)



б)

Рис. 5. Панель ALMAZ TERM: фото опалювального приладу (а), фото тепловізійної зйомки (б)

Схема вимірювання густини теплового потоку зображена на рисунку 6.

У кожному з досліджуваних приладів – складний теплообмін, тому потрібно враховувати конвективну та випромінюючу складову. При примусовому обдуванні опалювального приладу додатковим вентилятором коефіцієнт тепловіддачі (α) від обігрівача досягає максимум 10 Вт/м²К.

$$Nu = 0,25 \cdot Re_{\alpha}^{0,6} \cdot Pr_{\alpha}^{0,38} \quad (2)$$

Результати дослідження обігрівачів наведені в таблиці 1.

3. Визначення коефіцієнта ефективності опалювальних приладів

Визначимо сумарну теплову потужність:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{конв}} + Q_{\text{конд}} \quad (3)$$

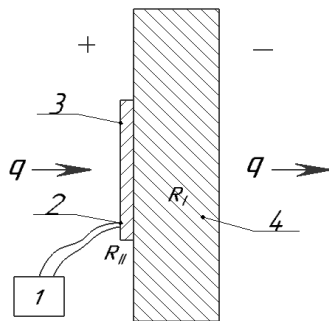


Рис. 6. Схема вимірювання густини теплового потоку:

- 1 – вимірювальний прилад (мультиметр постійного струму по ГОСТ 9245);
- 2 – приєднання вимірювального приладу до перетворювача теплового потоку;
- 3 – перетворювач теплового потоку;
- 4 – досліджувана пластина;
- q – густина теплового потоку.

Таблиця 1. Теплові характеристики опалювальних приладів

Параметр	Біо-конвектор Venecia	Електроконвектор UFO	Масляний радіатор WildWind	Панель ALMAZ TERM
Потужність приладу $N, \text{Вт}$	790	970	500	240
Тепловий потік $q, \text{Вт/м}^2$	691,5	785	611	731.2
Потужність теплового випромінювання $Q_{\text{в}}, \text{Вт}$	249	247	64,155	85,55

де $Q_{\text{в}}$, Вт – потужність теплового випромінювання; $Q_{\text{конв}}$, Вт – потужність конвективної складової; $Q_{\text{конд}}$, Вт – потужність кондуктивної складової. Враховуючи, що $Q_{\text{конд}} \rightarrow 0$, приймаємо

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{конв}} \quad (4)$$

Встановлений коефіцієнт ефективності опалювальних приладів визначаємо:

$$\eta_{\text{встан}} = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{конв}}}{N} = \frac{Q_{\Sigma}}{N} \quad (5)$$

де Q_{Σ} , Вт – сумарна теплова потужність; N , Вт – потужність приладу.

Проводимо розрахунки за представленою методикою для кожного опалювального приладу. Розрахунки ґрунтуються на попередньо проведених вимірюваннях, результати представлено в таблиці №2.

Аналіз результатів досліджень

Розроблено метод експериментальних досліджень, що дозволяє визначити теплофізичні параметри та розподіл температурного поля на поверхні досліджуваних опалювальних приладів. Встановлено, що комфортна температура в приміщенні при працюючому опалювальному приладі фіксується на відстані від нього в межах 3,0...4,0 метри. Встановлено, що максимальні значення температури поверхні досліджуваних приладів змінюються в інтервалі температур 74...96 °С.

Встановлено, що величина теплового потоку побутових електронагрівальних приладів в більшій мірі залежить від принципу дії та конструкції ніж від потужності опалювальних приладів. Найбільше значення притаманне панелі виробництва ALMAZ TERM, найменше – електричним конвекторам. Найбільшу теплову ефективність має електроконвектор, найменшу біо-конвектор Venecia. найдешевші опалювальні прилади на українському ринку – біо-конвектори типу Venecia, найдорожчі – теплоелектронагрівальні панелі ALMAZ TERM.

Необхідно відзначити, що підвищити ефективність електричних опалювальних приладів можливо шляхом: зміни випромінювальної здатності поверхні приладу, збільшенням поверхні теплообміну, підвищенням однорідності температурного поля випромінювальної поверхні та додатковим оснащенням конструкції приладів тепловим акумулятором.

Для проведення якісної оцінки та визначення рейтингу кожного опалювального приладу було проведено порівняння їх показників авторським методом «центрів мас» за допомогою коефіцієнтів вагомості K_1 , K_2 , K_3 , які відповідають значенням теплового потоку, теплової потужності та економічності. Результати розрахунків техніко-економічних показників наведені в таблиці 3.

Найвище значення **коефіцієнта теплової ефективності (K_1)** – безрозмірного співвідношення кількості теплоти, що проходить через ізотермічну

поверхню за одиницю часу до потужності приладу, притаманні панелі ALMAZ TERM. Найнижчий показник K_1 має електроконвектор UFO. Найвищий показник **коефіцієнта теплової потужності (K_2)** – співвідношення теплоти випромінювання до максимальної потужності приладу має Електро-конвектор UFO, найнижчий – Біо-конвектор Venesia. Оптимальне співвідношення ціни приладу до потужності приладу – коефіцієнт економічності (K_3) має електроконвектор UFO, найгірше – панель ALMAZ TERM.

Отже, визначення оптимального приладу зводиться до вирішення багатокритеріальної задачі, тому скористаємося авторським методом графоаналітичного експрес-аналізу «центрів мас», який апробовано та детально описано в роботах [9,10]. Даний метод дозволяє отримати графічне відображення результату аналізу для визначення оптимального приладу. Запропонований

Таблиця 2. Результати експериментальних досліджень опалювальних приладів

Параметри, одиниця виміру	Біо-конвектор Venesia	Електроконвектор UFO	Масляний радіатор WildWind	Панель ALMAZ TERM
Потужність приладу N , Вт	790	970	500	240
Сила тока I , А	3,5	4,4	2,7	1,1
Напруга U , В	224	220	220	220
Опір R , Ом	64	50	97	200
Потужність теплового випромінювання Q_v , Вт	249	247	64,155	85,55
Потужність конвективної складової $Q_{конв}$, Вт	62,25	164,67	64,155	128,33
Співвідношення $Q_v / Q_{конв}$	80/20	60/40	50/50	80/20
Сумарна тепла потужність Q_s , Вт	211,25	428,14	128,31	94,106
Встановлений коефіцієнт ефективності $\eta_{встан}$, %	26,8	88,2	51,2	39,2

Таблиця 3. Характеристики електронагрівальних приладів

Параметр	Біо-конвектор Venesia	Електроконвектор UFO	Масляний радіатор Wild Wind	Панель ALMAZ TERM
Потужність приладу N , Вт	790	970	500	240
Тепловий потік q , Вт/м ²	691,5	785	611	731,2
Коефіцієнта теплової ефективності, K_1	0,875	0,809	1,222	3,047
Сумарне теплове навантаження Q_p , Вт	211,25	428,14	128,31	94,106
Коефіцієнта теплової потужності, K_2	0,268	0,882	0,512	0,392
Гуртова ціна C приладу, грн / \$ в поточному році*	1999 / 71,4	1751 / 62,5	1849 / 66,0	1484 / 53,0
Коефіцієнт економічності, K_3	0,09	0,065	0,13	0,22

* - для розрахунку приймали 1 \$ = 28 грн.

підхід базується на визначенні основних факторів впливу на об'єкт дослідження за допомогою трьох основних критеріїв – в даному випадку коефіцієнтів вагомості, а також визначення поля задовільних результатів та побудови трикутної критеріальної діаграми якості. Поле довірчих інтервалів будується по значенням середньозважених вагових коефіцієнтів з урахуванням того, що значення K_1 коливається в межах від 40 до 100%, K_2 від 50 до 100%, K_3 в межах від 30 до 100%. Використовуючи розрахункові дані обираються координатні точки для кожного приладу, за якими будується індивідуальний трикутник, на перехресті бісектрис якого знаходиться шукане положення центру мас. Результати дослідження приведені на рисунку 7.

Аналіз трикритеріальної діаграми наочно показує, що тільки панель ALMAZ TERM не відповідає заданим умовам, інші прилади відповідають вимогам якості.

Результати аналізу досліджуваних приладів можуть бути покладені в основу розробки нової конструкції якісних електричних опалювальних приладів з урахуванням вдосконалення дизайну та підвищення теплової ефективності, екологічності та конкурентоспроможності.

Висновки

1. Одним з найважливіших завдань сьогодення є розв'язання проблем теплопостачання та енергозбереження. Запровадження систем електричного опалення

є актуальним напрямком вирішення даного питання. Україна є потужним виробником електричної енергії, тому застосування систем електричного опалення для обігріву приміщень має значні перспективи.

2. Розглянуті електричні опалювальні прилади часто працюють при постійному навантаженні. Такий профіль застосування може бути використано, як в піковий період навантаження при підвищеному попиті на опалення, так і в нічний час – для підтримки сталого навантаження роботи електростанцій, що стимулюється пільговими тарифами.

3. Збільшити ефективність опалювальних приладів можливо шляхом підвищення однорідності температурного профілю, зміни коефіцієнта випромінювання, оптимізації площі поверхні теплообміну приладу, а також за допомогою інтеграції теплових акумуляторів, що дозволяє підвищити питому теплову здатність та поліпшити рівномірний розподіл температур по площі приладу.

4. Портативні опалювальні прилади можуть застосовуватися тільки для короточасного локального обігріву робочого місця і не вирішують проблеми опалення приміщень. Для довготривалого опалення приміщень найкращим варіантом може бути масляний радіатор, який буде підтримувати стабільний рівень комфортного опалення.

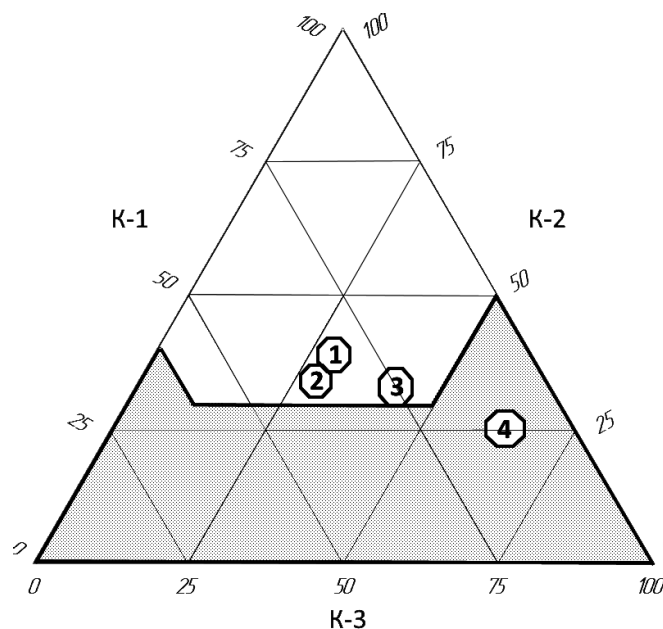


Рис. 7. Трикритеріальна діаграма порівняння якості електричних опалювальних приладів:

1 – Біо-конвектор Venesia, 2 – Електроконвектор UFO, 3 – Масляний радіатор Wild Wind, 4 – Панель ALMAZ TERM.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Исакович Г. А., Слуцкий Ю.Б.* Экономия топливно- энергетических ресурсов в строительстве.- М.: Стройиздат, 1988,- 214 с.
2. *ДСТУ Б А.2.4-41:2009.* Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря.
3. *СНиП 2.04.05-91.* Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
4. *ДСТУ 3425-96* Агрегати опалювально-вентиляційні. Загальні технічні умови.
5. *Baekhee Lee, Heecheon You,* A Case Study of Eco-Design for a Small-Size Electric Heater by Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments, Journal of Korean Institute of Industrial Engineers 40(2), April 2014, DOI: 10.7232/JKIE.2014.40.2.223.
6. *Cédric Hemmer, Guillaume Polidori, Catalin Popa,* Temperature optimization of an electric heater by emissivity variation of heating elements, Case Studies in Thermal Engineering 4(C), November 2014, DOI: 10.1016/j.csite.2014.10.001.
7. *Jörg Franke, Markus Michl,* SmartEco - An Approach Using Electric Storage Heaters for Demand Side Management, Advanced Engineering Forum, (Volume 19), October 2016, Pages: 27-34.
8. *ДСТУ 3088-95* Агрегати повітряно-опалювальні. Методи випробувань.
9. *Демченко В.Г., Трубачев А.С.* Експрес-аналіз доцільності проведення енергозберігаючих заходів, The scientific method, ISSN 2708-5341, (Warszawa, Poland), №20/ 2018, с.74-77.
10. *Демченко В.Г., Макаренко Л.А.* Поддержка принятия решений методом «центра масс» "Scientific discussion" journal. VOL 1, No 28, (2019). Прага, Чешская республика, с. 31-38.

RESEARCH OF THERMAL CHARACTERISTICS
ELECTRIC HEATING DEVICES

Demchenko V.G., Konyk A.V., Khomenko M.V.

*Institute of Technical Thermophysics the National Academy
of Sciences of Ukraine, M. Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine*<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2021.5>

In recent years, there has been a trend of transition from gas to electric heating, due to changes in the energy sector of the economy. Mass use of portable electric heaters allows to reduce fuel consumption by 25%, significantly reduce heat loss and negative impact on the environment. Electric heating is characterized by affordability, high efficiency, low costs of installation and maintenance, the ability to use preferential tariffs.

The purpose of the article is to analyze the technical and economic characteristics and efficiency of typical household electric heaters. The article contains an experimental study of the heat flux and heat of radiation of selected structures. The heat flux density was determined by the calculation method and in comparison with experimental data. Complex heat transfer is taken into account by calculating the heat transfer coefficient. Numerical and experimental study of the natural flow of convection in combination with radiation is carried out with each heated device in the laboratory.

A comparative analysis of the ratio of thermal characteristics to the cost and efficiency of devices. With the help of the author's method of "centers of mass" the comparison of qualitative characteristics of devices is carried out. As a result of the analysis it was established that the ALMAZ TERM Panel does not meet the set quality conditions, which requires further refinement of the design and technological indicators.

Studies show that it is possible to increase the efficiency of heating devices by increasing the consistency of the temperature profile, changing the radiation factor, optimizing the heat transfer surface of the device, as well as by integrating heat storages to store and improve heat distribution. In this case, the electrical energy is converted into heat and stored with subsequent use during peak hours.

References 10, figures 7, tables 3.

Keywords: electric heater, heat, efficiency, center of mass method.

1. *Isakovich G. A., Slutskiy Yu. B.* [Saving fuel and energy resources in construction], M.: [Stroyizdat], 1988, 214 p. (in Rus.)

2. *DSTU B A.2.4-41:2009* [Heating, ventilation and air conditioning] (in Ukr.)

3. *SNIP 2.04.05-91*. [Building codes and regulations. Heating, ventilation and air conditioning.] (in Rus.)

4. *DSTU 3425-96* [Heating and ventilation units. General technical conditions] (in Ukr.)

5. *Baekhee Lee, Heecheon You*, A Case Study of Eco-Design for a Small-Size Electric Heater by Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments, Journal of Korean Institute of Industrial Engineers 40(2), April 2014, DOI: 10.7232/JKIIIE.2014.40.2.223.

6. *Cédric Hemmer, Guillaume Polidori, Catalin Popa*, Temperature optimization of an electric heater by emissivity variation of heating elements, Case Studies in Thermal Engineering 4(C), November 2014, DOI: 10.1016/j.csite.2014.10.001.

7. *Jörg Franke, Markus Michl*, SmartEco - An Approach Using Electric Storage Heaters for Demand Side Management, Advanced Engineering Forum, (Volume 19), October 2016, Pages: 27-34.

8. *DSTU 3088-95* [Air-heating units. Test methods] (in Ukr.)

9. *Demchenko V.H., Trubachev A. S.*, [Express analysis of the feasibility of energy saving measures], The scientific method, ISSN 2708-5341, (Warszawa, Poland), №20/ 2018, p.74-77. (in Ukr.)

10. *Demchenko V.G., Makarenko L.A.* [Decision support by the "center of mass" method] "Scientific discussion" journal. VOL 1, No 28, (2019). Praga, Cheshskaya respublika, p. 31-38. (in Rus.)

Отримано 10.03.2021

Received 10.03.2021