

**Болотських М.С., Болотських М.М.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури (ХНУБА)*

*(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна. E-mail: [tgvtver@gmail.com](mailto:tgvtver@gmail.com),*

*orcid/org/0000-0003-0756-7264, orcid/org/0000-0002-7756-6550)*

**НАНО-ТЕНИ ДЛЯ НАГРІВА РІДИН**

У статті: наведено аналіз металевих трубчастих електричних нагрівачів (ТЕНів), які використовуються для нагріву різноманітних рідин; вказані їх переваги та недоліки; докладно описана новітня розробка в галузі нагріву рідин – нано-нагрівач трубчастий (нано - ТЕН), який забезпечує високу енергоефективність і швидкість нагріву, володіє антикорозійними властивостями, високою кислотостійкістю і лужостійкістю, а також довговічністю; надано рекомендації щодо його широкому застосуванню для нагріву рідин в Україні.

**Ключові слова:** трубчастий електричний нагрівач, гріюча частина трубки, нано-нагрівач, нагрів агресивних рідин.

**Вступ.** У багатьох країнах світу в промислових і побутових цілях для підігріву рідких середовищ використовуються різні електричні нагрівачі [1, 2, 3, 4, 5, 6]. У більшості таких нагрівачів у якості гріючого елемента використовується дріт або спіраль, виготовлені з високорезистивних матеріалів [7]. Ці гріючі елементи розміщені в спеціальних металевих [1] або склопластикових трубках [4], або в різних керамічних оболонках [3, 8, 9]. Одними з найпопулярніших таких приладів для нагрівання рідин є металеві трубчасті електричні нагрівачі (ТЕНи) [10, 11]. Вони використовуються в водонагрівачах, гальванічних ваннах, пральних машинах, бойлерах, чайниках і інших приладах і пристроях. З їх допомогою нагрівають воду, різні масла, слабкі розчини кислот і лугів і інші рідини.

Багаторічна практика експлуатації металевих ТЕНів підтвердила простоту їх конструкції, зручність в монтажі та експлуатації. Такі ТЕНи забезпечують необхідні параметри нагріву рідин. Разом з тим, практика показала і те, що такі трубчасті нагрівачі потребують подальшого вдосконалення в напрямку підвищення їх енергоефективності та довговічності.

В останні роки розроблена новітня технологія нагріву різних рідин за допомогою трубчастих нано-нагрівачів [12]. Вони енергоефективні, довговічні й антикорозійні. З їх допомогою здійснюється нагрів також і агресивних кислотних і лужних розчинів.

Представляє безперечний науковий і практичний інтерес в проведенні глибокого аналізу конструкцій і досвіду застосування різних трубчастих приладів, використовуваних для нагріву різних рідин, і розробці науково-обґрунтованих рекомендацій щодо їх ефективного подальшого застосування. Ця стаття і присвячується проведенню такого аналізу і розробці необхідних рекомендацій.

**Метою даного дослідження** є підвищення енергоефективності та довговічності трубчастих електричних нагрівачів, які використовуються для нагріву різних рідин.

**Основний зміст.** Металеві трубчасті електричні нагрівачі мають наступний пристрій. Одним з основних елементів їх конструкції є металева трубка. Всередині цієї трубки розташована нагрівальна спіраль, виготовлена з високорезистивного дроту [7]. З боків спіраль намотана на контактні металеві стержні [1]. Всередині трубки зі спіраллю розміщується пресований електроізолятор. На кінцях нагрівального елемента проводиться повна герметизація виводів і ізоляція контактних стержнів діелектриком. Таким чином, в ТЕНах повністю виключається вплив рідин на нагрівальну спіраль. Контактні металеві стержні зазвичай занурюються в трубку на довжину, яка називається закладенням ТЕНа (від кінця трубки до початку відмотування). Величина цієї закладки дуже важлива у випадках, коли необхідно створити холодну зону на кінцях нагрівача.

У різних моделях ТЕНів застосовуються трубки діаметром від 6 мм (мінімальний) до 18 мм (максимальний). Максимальна її довжина становить 6000 мм. Трубка виготовляється зазвичай з трьох типів матеріалів: для менш потужних нагрівачів найчастіше

застосовується вуглецева сталь; для більш потужних - нержавіюча жароміцна сталь; для нагрівачів, які використовуються для нагріву води, може бути також використана мідь.

Залежно від призначення ТЕНа і поставленої задачі нагріву форма трубки може бути як типовою, передбаченою компанією - виробником в випускаючих стандартних моделях нагрівачів, так і абсолютно будь-який (під замовлення за потрібними характеристиками). При максимальній довжині трубки 6000 мм є можливість виготовляти великі ТЕНи з безліччю вигинів. На рис.1, для прикладу, наведено кілька загальних видів стандартних моделей ТЕНів, що мають різні профілі нагрівальної трубки [1].

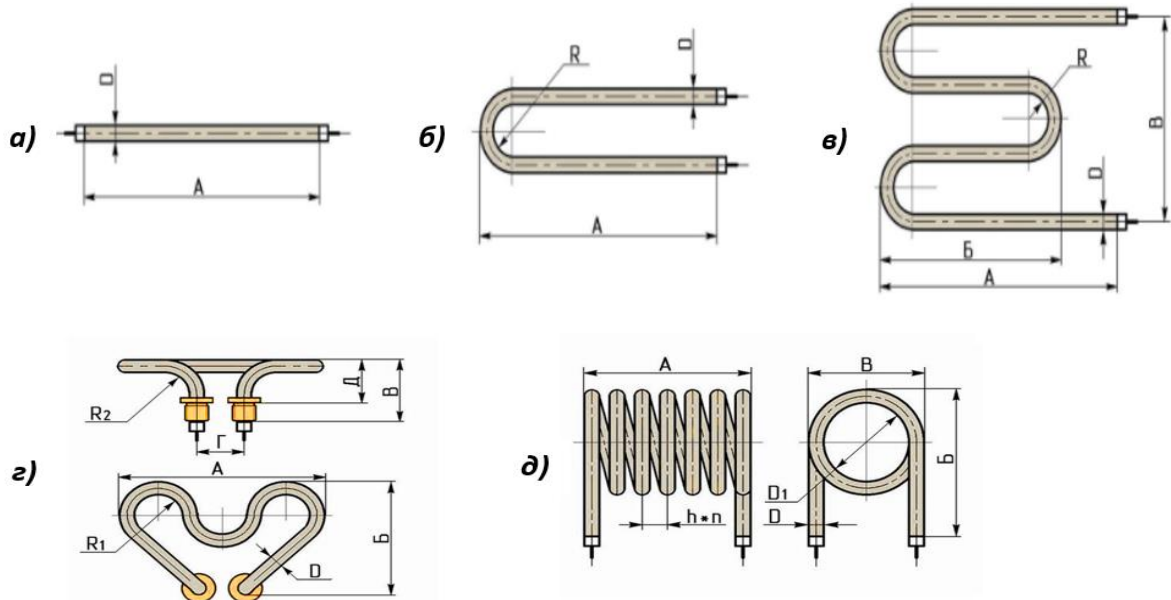


Рис. 1. Креслення загальних видів стандартних моделей ТЕНів, що мають різний профіль нагрівальної трубки:

а) – лінійний; б) – U-образний; в) – M-образний; г) – фігурний; д) – спіральний.

З наведених на рис.1 найбільш популярними формами нагрівальних трубок є прості U- або M-образні.

Для забезпечення надійного кріплення ТЕНа використовуються різні варіанти їх підключення (Рис. 2) [1]. Найпоширенішим варіантом їх підключення є різьбовий.

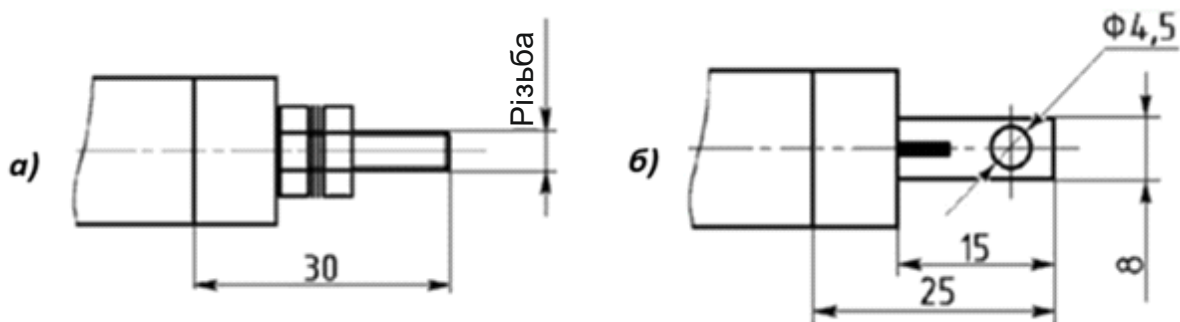


Рис. 2. Варіанти підключення трубчастих нагрівачів за допомогою:

а) – стержень з різьбою; б) – гніт «під гвинт»

Випуск ТЕНів в даний час здійснює ряд провідних світових і вітчизняних компаній. В Україні найбільш потужним виробником і постачальником ТЕНів є компанія «ТЕН 24» (м. Одеса) [11]. Потужність ТЕНів, що випускаються цією компанією, різна. Вона залежить від багатьох параметрів. Найголовнішими параметрами є їх довжина і діаметри.

Довжиною при цьому вважається розмір гріючої частини трубки без шпильок і ізолятора. Питома потужність цих нагрівачів не більше  $15 \text{ Вт} / \text{см}^2$ . ТЕНи, що випускаються компанією «ТЕН 24», працюють від мережі електричного живлення з напругою 220, 380, 110, 48, 36, 24 і 12 В.

У випадках, коли потрібна підвищена потужність, застосовуються блоки ТЕНів [13, 14]. На рис. 3, для прикладу, наведені креслення загальних видів двох різних моделей блоків ТЕНів.

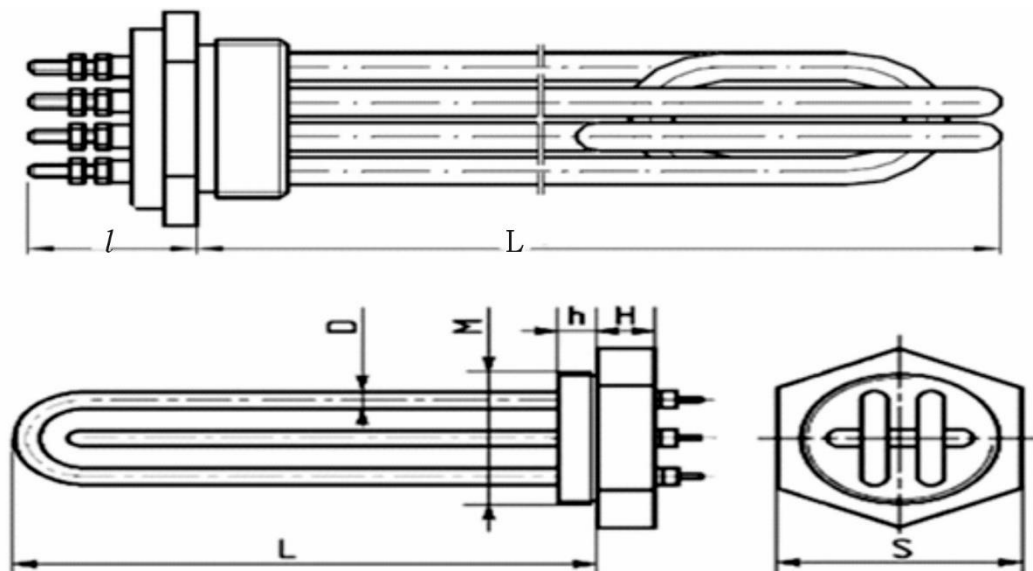


Рис. 3. Креслення загальних видів двох різних моделей блоків ТЕНів.

У наведених на цьому рисунку конструкціях блоків ТЕНів на фланцях закріплені кілька трубчастих електронагрівачів, які можуть бути однаковою або різною потужністю. У різних конструкціях блоків використовується декілька типів підключення та схем розташування ТЕНів. Деякі моделі стандартних блоків ТЕНів оснащуються вбудованими терморегуляторами. Трубки ТЕНів в блоках виготовляються з вуглецевої сталі або при великих потужностях зі спеціальної жароміцної сталі (нержавійки). Кількість ТЕНів в блоці - від 1 до 6 шт. Блоки ТЕНів для бойлера (наприклад) складаються з одного ТЕНа і трубки для термодатчика на загальному фланці. Питома теплова потужність ТЕНів становить до  $15 \text{ Вт} / \text{см}^2$ . Більшість стандартних моделей блоків мають малу довжину ТЕНа при їх великій потужності. Тому при їх експлуатації потрібно застосування додаткової циркуляції рідин, наприклад, за допомогою насосів. Це необхідно для того, щоб при потужності понад  $15 \text{ Вт} / \text{см}^2$  не виникало закипання рідини коло ТЕНа. Блоки ТЕНів дуже затребувані в умовах з обмеженим простором для установки нагрівальних елементів. Їх широко використовують для нагрівання не тільки води, але і різних масел або слабких розчинів кислот в водонагрівачах, бойлерах, парогенераторах і багатьох інших промислових або побутових нагрівальних приладах і установках.

Описані вище трубчасті електричні нагрівальні прилади (ТЕНи і блоки ТЕНів), які використовуються для нагріву різних рідин, не складні по конструкції, зручні в монтажі та експлуатації, забезпечують необхідні параметри нагріву, мають широку сферу застосування в промисловості і багатьох побутових приладах і установках. Однак, проведений аналіз їх конструкцій і досвіду їх застосування дозволив зробити висновок про те, що трубчасті нагрівачі рідин потребують подальшого вдосконалення. Це вдосконалення має вестися насамперед в напрямку підвищення їх енергоефективності, зниження витрат електроенергії і збільшення їх термінів служби. В даний час електричні трубчасті ТЕНи мають середній термін служби близько 3000 годин. Тому існує проблема заміни деталей особливо

в постійно діючих промислових системах нагріву рідин. При використанні металевих ТЕНів для нагріву агресивних рідин термін їх експлуатації істотно зменшується. Крім того, при їх експлуатації утворюється накип.

Одним з перспективних напрямків усунення цих недоліків є використання новітніх технологій нагріву різних рідин за допомогою трубчастих нано-нагрівачів. На рис. 4 представлений загальний вид нано-трубчастих нагрівачів рідин [12].



Рис. 4. Загальний вигляд нано-трубчастих нагрівачів, що випускаються компанією «ТЕН24»

Нано-нагрівач має наступну конструкцію. Його нагрівальний елемент складається з термостійкої скляної трубки, покритої зсередини особливим електричним провідником, який отриманий з суміші різних мінералів шляхом наномолекулярного випаровування. У середині скляної трубки нано-матеріал утворює прозору термопластичну плівку. Електроди, прикріплені до трубки з плівкою з внутрішньої сторони, забезпечують подачу електрики на нано-матеріал. При проходженні через нього струму електрична енергія перетворюється в теплову. Ефективність такого перетворення в нано-нагрівачах становить 99% [14].

Нано-ТЕНи є альтернативою металевим трубчастим електричним нагрівачам. Скляна трубка нано-ТЕНа абсолютно не схильна до корозії. Вона може застосовуватися для нагрівання не тільки води і масла, а й для більш агресивних кислотних і лужних розчинів. Нано-ТЕНи забезпечують дуже швидке нагрівання рідин. Для них характерно мале споживання електроенергії і висока ефективність. У порівнянні з металевими ТЕНами нано-ТЕНи дозволяють економити до 30 - 40% електроенергії [12]. Нано-ТЕНи в багато разів довговічніші в порівнянні з металевими ТЕНами. Електрична скляна теплова трубка на основі нано-матеріалів має термін служби більше 20000 годин (у металевих ТЕНів він дорівнює 3000 годин). Тому при експлуатації нано-ТЕНів значно рідше збої в їхній роботі. За рахунок зменшення витрат, пов'язаних із заміною деталей, зменшуються експлуатаційні витрати. Завдяки тому, що нано-ТЕНи не схильні до корозії, вони можуть стабільно працювати в агресивних рідких середовищах протягом 5-10 років. Таким чином, нано-ТЕНам властиві: висока енергоефективність і швидкість нагріву, довговічність, антикорозійність, висока кислотостійкість і лугостійкість, відсутність накипу при їх експлуатації.

Компанія «ТЕН24» в даний час випускає 6 моделей нано-трубчастих нагрівачів. Нагрівачі моделей НН – 01, НН – 02 і НН – 03 мають потужності, відповідно, 1, 2 і 3 кВт і розміри: діаметр – 35 мм і довжину – 350 мм. Нагрівачі моделей НН – 04, НН – 05 і НН – 06 мають потужності, відповідно, 4, 5 і 6 кВт і розміри: діаметр – 45 мм і довжину – 390



мм. Всі ці нагрівачі мають підключення довжиною 47 мм. Напруга електричної мережі – 220 В. Нано-ТЕНи моделей НН – 01 ... НН – 06 призначені переважно для нагріву кислотних і лужних розчинів.

Накопичений досвід експлуатації нано-ТЕНів переконливо підтвердив перспективність їх подальшого застосування для нагріву різних рідин, особливо агресивних.

**Висновки:** 1. У промисловості і побуті в приладах і пристроях для нагріву різних рідин в даний час в світовій практиці отримали велику популярність і широке поширення металеві трубчасті електричні нагрівачі (ТЕНа). Вони прості за конструкцією, зручні в монтажі та експлуатації. У більшості випадків вони забезпечують необхідний тепловий режим нагріву рідин. Однак, їх енергоефективність і термін служби при нагріванні рідин, особливо агресивних, потребують суттєвого підвищення.

2. Альтернативою металевим ТЕНам для нагріву рідин є трубчасті електричні нано-нагрівачі (нано-ТЕНи), у яких нагрівальний елемент являє собою термостійку скляну трубку, покриту зсередини особливим електричним провідником, який отриманий з суміші різних мінералів шляхом наномолекулярного випаровування.

3. Нано-ТЕНи в порівнянні з металевими трубчастими нагрівачами мають високу швидкість нагріву, антикорозійність, високу кислото- і лугостійкість. Їх гарантійний термін експлуатації приблизно в 7 разів вище, ніж у металевих. При нагріванні агресивних рідких середовищ їх стабільний термін експлуатації становить 5 - 10 років. Нано-ТЕНи мають високу ефективність, з їх застосуванням економія електроенергії становить 30 - 40% (в порівнянні з металевими ТЕНами).

4. Область застосування нано-ТЕНів в Україні доцільно суттєво розширювати як в промисловості, так і в побуті для нагріву різних рідин, в першу чергу агресивних. Це дозволить значно знизити витрати електроенергії на нагрів рідин і підвищити надійність і довговічність таких нагрівальних систем.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. ТЭНы для воды и воздуха. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/eletronagrevateli-teny/teny-dlya-vody-i-vozdukha/>, 2020. 2с.
2. ТЭН погружной с терморегулятором. URL: <https://ten24.od.ua/catalog/trubchatye-nagrevateli-teny/>, 2020. 5с.
3. Болотских Н.Н. Промышленные керамические инфракрасные электрические патронные нагреватели жидкостей и газов. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2019. т. 97. № 3. с. 81-85.
4. Болотских Н.С., Болотских Н.Н. Эффективное оборудование для подогрева нефтепродуктов в резервуарах. *Науковий вісник будівництва*, Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2020. т. 99. № 1. с. 35-42.
5. Сухие ТЭНы. ДП «ИНТМАКС». URL: <http://www.elcer.com.ua/products/keramicheskie-teny/keramicheskiy-ten/>, 2018. 5 с.
6. Керамические ТЭНы. ДП «ИНТМАКС». URL: <https://elcer.com.ua/products/keramicheskie-teny/>, 2019. 5 с.
7. Резистивные элементы. ДП «ИНТМАКС». URL: <http://www.elcer.com.ua/quality-and-materials/nagrev-prov.php/>, 2018. 9 с.
8. *Техническая керамика*. ДП «ИНТМАКС». URL: [https://elcer.com.ua/products/komplektyushie/tekhnicheskaya-ker./](https://elcer.com.ua/products/komplektyushie/tekhnicheskaya-ker/), 2019. 5 с.
9. *Керамические материалы*. ДП «ИНТМАКС». URL: <http://www.elcer.com.ua/quality-and-materials/ceramic-materials.php/>, 2018. 5 с.
10. *Металлические трубчатые нагреватели*. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/eletronagrevateli-teny/>, 2020. 3 с.
11. *Трубчатые нагреватели (ТЭНы)*. URL: <https://ten24.od.ua/catalog/trubchatye-nagrevateli-teny/>, 2020. 5 с.
12. *Нано-трубчатый нагреватель антикоррозийный для кислотных и щелочных растворов*. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/nano-nagrevateli/nano-trubchatyy-nagrevatel/>, 2020. 4 с.
13. *Блоки ТЭНов для воды и воздуха*. URL: <https://ten24.od.ua/catalog/trubchatye-nagrevateli-teny/>, 2020. 3 с.
14. *Блок ТЭН для воды*. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/eletronagrevateli-teny/bloki-ten-dlya-vody/>, 2020. 2 с.

#### REFERENCES:

1. *TENY dlya vody i vozdukha*. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/eletronagrevateli-teny/teny-dlya-vody-i-vozdukha/>, 2020, 2 s.

2. *TEN pogruzhnoy s termoregulyatorom*. URL: <https://ten24.od.ua/catalog/trubchatye-nagrevateli-teny/>, 2020, 5 s.
3. Bolotskikh N.N. Promyshlennye keramicheskie infrakrasnye elektricheskie patronnye nagrevateli zhidkostey i gazov. *Naukoviy visnik budivnytstva*, Kharkiv: KHNUBA, KHOTV ABU, 2019. T. 97. № 3. s. 81-85.
4. Bolotskikh N.S., Bolotskikh N.N. Effektivnoe oborudovanie dlya podogreva nefteproduktov v rezervuarakh. *Naukoviy visnik budivnytstva*, Kharkiv: KHNUBA, KHOTV ABU, 2019. T. 99. № 1. s. 35-42.
5. *Sukhie TENy*. DP. "INTMAKS". URL: <http://www.elcer.com.ua/products/keramicheskie-teny/keramicheskiy-ten/>, 2018. 5 s.
6. *Keramicheskie TENy*. DP. "INTMAKS". URL: <https://elcer.com.ua/products/keramicheskie-teny/>, 2019. 5 s.
7. *Resistivnye elementy*. DP. "INTMAKS". URL: <http://www.elcer.com.ua/quality-and-materials/nagrev-prov.php/>, 2018. 9 s.
8. *Tekhnicheskaya keramika*. DP. "INTMAKS". URL: <https://elcer.com.ua/products/komplektuyushie/tekhnicheskaya-ker/>, 2019. 5 s.
9. *Keramicheskie materialy*. DP. "INTMAKS". URL: <http://www.elcer.com.ua/quality-and-materials/ceramic-materials.php/>, 2018. 5 s.
10. *Metallicheskie trubchatye nagrevateli*. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/eletronagrevateli-teny/>, 2020. 3 s.
11. *Trubchatye nagrevateli (TENy)*. URL: <https://ten24.od.ua/catalog/trubchatye-nagrevateli-teny/>, 2020. 5 s.
12. *Nano-trubchatyy nagrevatel anticorrosivnyy dlya kislotnykh i shelochnykh rastvorov*. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/nano-nagrevateli/nano-trubchatyy-nagrevatel/>, 2020. 4 s.
13. *Bloki TENov dlya vody i vozdukh*. URL: <https://ten24.od.ua/catalog/trubchatye-nagrevateli-teny/>, 2020. 3 s.
14. *Blok TEN dlya vody*. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/eletronagrevateli-teny/bloki-ten-dlya-vody/>, 2020. 2 s.

**Bolotskykh N.N., Bolotskykh N.S. NANO-TENES FOR HEATING LIQUIDS.** The article: provides an analysis of metal tubular electric heaters (TENs) used to heat various liquids; their advantages and disadvantages are indicated; the latest development in the field of heating liquids is described in detail - a tubular nano-heater (nano-heating element), which provides high energy efficiency and heating rate, has anti-corrosion properties, high acid resistance and alkali resistance, as well as durability; recommendations on its wide application for heating liquids in Ukraine are given.

**Key words:** tubular electric heater, heating part of the tube, nano-heater, heating of corrosive liquids.

doi.org/10.29295/2311-7257-2020-102-4-173-181

УДК 697.4

### Болотських О.М.<sup>1</sup>, Болотських М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова  
(вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, [orcid.org/0000-0002-1929-3013](http://orcid.org/0000-0002-1929-3013))

<sup>2</sup>Харківський національний університет будівництва й архітектури  
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, E-mail: [tgvtver@gmail.com](mailto:tgvtver@gmail.com); [orcid.org/0000-0003-0756-7264](http://orcid.org/0000-0003-0756-7264))

## ИНФРАЧЕРВОНІ ЕЛЕКТРИЧНІ ПЛІВКОВІ ПІДЛОГОВІ СИСТЕМИ ОБІГРІВУ ЖИТЛОВИХ І ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Наведено сучасні інфрачервоні плівкові електричні підлогові обігрівачі, описано пристрій і дано їх технічні характеристики, наведено короткий аналіз інфрачервоних нагрівальних плівок, надано рекомендації щодо подальшого застосування плівкових підлогових електричних обігрівачів для опалення житлових та громадських приміщень в Україні з метою зниження витрат електроенергії.

**Ключові слова:** інфрачервоне опалення, плівкові обігрівачі, інфрачервона плівка, тепла підлога, нагрівальні елементи.

**Вступ.** Для обігріву житлових і суспільних приміщень у світовій практиці широко використовується інфрачервоний спосіб опалення [1, 2]. Це обумовлене тим, що використовувані для його реалізації інфрачервоні обігрівачі мають ряд гідностей, у першу чергу: можливість істотного скорочення витрат електроенергії на опалення ( до 45-50%);