

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 620.9

УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРОКРАПЕЛЬНИХ НАГРІВАЧІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ТА БУДІВЕЛЬ

І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, О.В. Попович, Є.Р. Доценко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. 504708, tdm@nung.edu.ua

Актуальність роботи зумовлена необхідністю створення енергоефективних систем опалення в умовах стрімкого підвищення цін на енергоносії. Проведено аналіз відомих систем опалення приміщень та будівель з вказанням їх переваг та недоліків. Обґрунтовано вибір системи опалення з використанням парокрапельних нагрівачів як найбільш енергоефективної з існуючих опалювальних систем. Наведено основні формули та проведено розрахунок оптимальних параметрів парокрапельного нагрівача для підвищення енергоефективності системи опалення. Описано конструкцію удосконаленого парокрапельного нагрівача. Вибрано профіль ребер з метою створення потужних конвективних потоків навколо теплової трубки та максимальної тепловіддачі випромінюванням. Досліджено роботу удосконаленого парокрапельного нагрівача. Для досліджень використано математичний аналіз та натурне моделювання. Проведено порівняльні дослідження енергоефективності запропонованого удосконаленого парокрапельного нагрівача та масляного електричного нагрівача і підтверджено, що енергоефективність нагрівача на теплових трубках є вищою.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, системи опалення, тепла трубка, парокрапельний нагрівач

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания энергоэффективных систем отопления в условиях резкого повышения цен на энергоносители. Проведен анализ известных систем отопления помещений и домов с указанием их преимуществ и недостатков. Обоснован выбор системы отопления с использованием парокрапельных нагревателей как наиболее энергоэффективной из существующих отопительных систем. Приведены основные формулы и проведен расчет оптимальных параметров парокрапельного нагревателя для повышения энергоэффективности системы отопления. Описаны конструкции усовершенствованного парокрапельного нагревателя. Выбран профиль ребер с целью создания мощных конвективных потоков вокруг тепловой трубки и максимальной теплоотдачи излучением. Исследована работа усовершенствованного парокрапельного нагревателя. Для исследований использован математический анализ и натурное моделирование. Проведены сравнительные исследования энергоэффективности предложенного усовершенствованного парокрапельного нагревателя и масляного электрического нагревателя и подтверждено, что энергоэффективность нагревателя на тепловых трубках есть выше энергоэффективность масляного нагревателя.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, системы отопления, тепловая трубка, парокрапельный нагреватель

The relevance of work is conditioned by the necessity of creating energy-efficient heating systems in the conditions of rapid increase of energy prices. The analysis of well-known heating systems of premises and buildings with an indication of their advantages and disadvantages is carried out. The choice of the heating system using steam-dustable heaters as the most energy-efficient from existing heating systems is substantiated. The main formulas are given and the optimal parameters of the steam-collector heater are calculated for energy efficiency improvement of the heating system. The construction of an advanced steam-dip heater is described. The edge profile has been selected in order to create powerful convective flows around the heat pipe and maximize the heat output of the radiation. The work of the advanced steam-dip heater is investigated. For research, mathematical analysis and field modeling are used. The comparative studies of energy efficiency of the proposed improved steam evaporator and oil electric heater

have been carried out and it has been verified that the energy efficiency of the heater on the heat pipes is higher than the energy efficiency of the oil heater.

Key words: energy efficiency, energy saving, heating systems, heat pipe, steam evaporation heater.

Вступ

Для нашої країни наявність опалення і потреба в ньому – не примха, а життєва необхідність.

Питання підвищення енергоефективності будівель стає особливо актуальним в опалювальний період, коли виникає гостра потреба забезпечення комфортних умов проживання та праці людей при мінімальних витратах енергоносіїв. Крім того, постійно зростаючі тарифи на енергоресурси спонукають впроваджувати технології, котрі дозволяють розумно використовувати енергію.

Шляхами підвищення рівня енергоефективності приміщень і будівель та створення комфортних умов є застосування сучасних технологій та матеріалів при проектуванні їх системи опалення.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

За способом встановлення системи опалення приміщень бувають підлоговими, стельовими та стінними.

Суть роботи системи підлогового опалення полягає у нагріванні поверхні підлоги, від якої тепло у приміщення передається шляхом як конвекції, так і випромінювання.

Системи підлогового опалення бувають таких видів: водяна та електрична. Водяна підлогова система опалення складається з трубок, прокладених під поверхнею підлоги, по яких циркулює теплоносій. Електрична система схожа на водяну, тільки у ній замість трубок використовуються електричні кабелі, що нагріваються від дії електричного струму.

Перевагою підлогового опалення є те, що джерело тепла знаходиться в нижній частині приміщення, внаслідок чого тепловий комфорт у приміщенні досягається вже при температурі 18-20°C.

Недоліками систем підлогового опалення є їхні значна вартість та енергоспоживання і низька ремонтпридатність.

Інфрачервоне стельове опалення є ефективним способом обігріву приміщення у випадку, якщо потужність основної системи опалення є недостатня для підтримки комфортної температури.

Принцип дії системи стельового опалення полягає у нагріванні шляхом випромінювання поверхонь предметів у приміщенні за допомогою підвищених до стелі нагрівачів, які працюють в інфрачервоному спектрі.

Недоліками систем стельового опалення є значна витрата електроенергії, високий рівень електро- та пожежобезпеки і обмеження можливості дизайнерських рішень з оформлення стелі.

Стінне опалення буває зовнішнім та внутрішнім. До зовнішнього стінного опалення відносяться класична радіаторна система (з використанням як теплоносія підігрітої води), газові і електричні конвектори (з використанням як теплоносія нагрітого повітря) та опалення парокрапельними нагрівачами.

Система опалення парокрапельними нагрівачами (термосифонами) складається з певної кількості термосифонів, об'єднаних колектором – трубкою, по якій рухається теплоносій. Термосифон представляє собою тонку трубку з невеликою кількістю теплоносія. З трубки викачується повітря і вона герметизується. Нижні кінці термосифонів заведені в колектор, завдяки чому відбувається нагрівання теплоносія в їх середині. При цьому теплоносій в термосифоні випаровується, а пар рухається до верхнього холодного кінця термосифону, де він конденсується. Конденсат під дією сили тяжіння повертається до гарячого кінця і процес повторюється. Внаслідок того, що прихована теплота пароутворення є доволі значною, температура поверхні термосифона по його довжині змінюється дуже мало. Завдяки цьому досягається рівномірність розподілу температури по всій поверхні нагрівача за доволі короткий час [1]. Це дозволяє економити теплову енергію, оскільки інші види нагрівачів (рідинні чи електричні) вимагають значного часу для розігріву своєї поверхні, а рівномірність розподілу температури по поверхні нагрівача у них є набагато гіршою.

Термосифони вмонтовуються у нижній частині стіни, де забезпечується хороший тепловий контакт з колектором. У системі з термосифонами у колекторі циркулює у 5-8 разів менше води, ніж у системах опалення іншого типу, тому вона легше піддається управлінню.

Недоліками цієї системи опалення є необхідність у підігріві та циркуляції теплоносія, а також необхідність у строго вертикальному положенні термосифонів, в яких зона конденсації обов'язково повинна бути вища за зону випаровування [1]. При відхиленні положення термосифонів від вертикального їхня тепловіддача різко знижується і ефективність

системи опалення зменшується.

Передача тепла у приміщення в системах зовнішнього стінного опалення здійснюється, здебільшого, за рахунок конвекції.

Недоліками систем зовнішнього стінного опалення є тривалий час розігріву приміщення і нерівномірний розподіл температури в ньому (у верхній частині приміщення температура вища, ніж у нижній), внаслідок чого тепловий комфорт у приміщенні досягається при температурі 21-23°C.

Суть роботи внутрішнього стінного опалення полягає у нагріванні саме поверхні стіни, при цьому тепло у приміщення передається майже виключно шляхом випромінювання. Завдяки цьому у приміщенні практично відсутня іонізація повітря та циркуляція порохи і алергенів. У приміщенні зі стінним опаленням тепловий комфорт досягається вже при температурі 17-20°C. З цього випливає, що з експлуатаційної точки зору внутрішнє стінне опалення є більш економічним рішенням. Його перевага полягає також у швидкому нагріванні поверхні стіни та легкому регулюванні температури.

Системи внутрішнього стінного опалення бувають таких видів: повітряна, водяна поверхнева, електрична.

Принцип дії повітряної стінної (гіпоакустичної) системи опалення полягає у тому, що тепле повітря, яке подається по трубах чи повітряних каналах (прокладених у стіні), нагріває стіну, а вона, в свою чергу, віддає тепло у приміщення. Повітря в такій системі опалення може нагріватись від котла, електричного тону або від труби з гарячим теплоносієм.

Недоліками системи повітряного опалення є доволі низька ефективність, оскільки нагрівання здійснюється здебільшого у нижній частині стіни, і необхідність у постійному підігріві та циркуляції теплоносія.

Система водяного поверхневого опалення схожа на повітряну систему з тією різницею, що труби з теплоносієм укладаються в товщу стіни, завдяки чому збільшується опалювана площа.

Недоліками системи водяного поверхневого опалення є необхідність у наявності потужного нагрівача і високопродуктивного насоса для постійного підігріву та циркуляції теплоносія.

Електрична стінна система опалення складається з електричних кабелів, вкладених у товщу стіни (під шар шпаклівки чи гіпсокартону), які нагріваються при пропусканні по них електричного струму. Тепло від кабелів передається поверхні стіни, а від неї випромінюється у приміщення.

Недоліками електричного опалення є значна витрата електроенергії і високий рівень електро- та пожежобезпеки. До того ж при електричному опаленні сильно осушується повітря, що негативно відбивається на самопочутті людей.

Висвітлення невіршених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується стаття.

З наведених систем опалення найбільш енергоефективною є система з парокрапельними нагрівачами, тому, що термосифон передає більше 90% теплової енергії з зони випаровування в зону конденсації.

Однак, як видно з проведеного аналізу, не існує системи опалення, яка була б одночасно енергоефективною, екологічною, і створювала б тепловий комфорт у приміщенні при мінімально можливих температурах.

Тому, проектуючи систему опалення приміщення слід прийняти до уваги не тільки затрати на її встановлення та експлуатацію, але також можливість дизайнерських рішень і турботу про здоров'я і комфорт людей, що перебувають у приміщенні.

Висвітлення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням одержаних наукових результатів.

На основі вищенаведеного пропонується створення енергоефективної системи опалення на основі парокрапельних нагрівачів.

Для усунення недоліків термосифонів пропонується замість них застосувати удосконалені теплові трубки.

Стандартна тепла (випарна) трубка представляє собою тонкостінний металевий стержень 1 (рисунок 1), внутрішні стінки якого покриті пористим фітилем 2. Фітиль має здатність насичуватись робочою рідиною і володіє капілярним ефектом. В ненагрітому стані фітиль просочений робочою рідиною (водою, метиловим спиртом, фреоном і т. ін.).

При розігріві нижнього кінця трубки робоча рідина починає випаровуватись. Пари робочої рідини 3 внутрішнім каналом будуть переміщуватись до холодного кінця трубки – зони конденсації. Тут здійснюється конденсація пари, яка віддає своє тепло на стінки холодного кінця трубки, а потім це тепло передається в оточуюче середовище.

Конденсована рідина просочується назад у фітиль і внаслідок дії сили тяжіння та капілярного ефекту повертається до гарячого кінця трубки. Далі процес повторюється [2].

Перевагою теплової трубки з фітилем є те, що її можна розмішувати горизонтально без

суттєвої втрати ефективності [2].

Недоліком описаної трубки є те, що висока стабільність процесу пароутворення досягається при незначних діаметрах самої трубки.

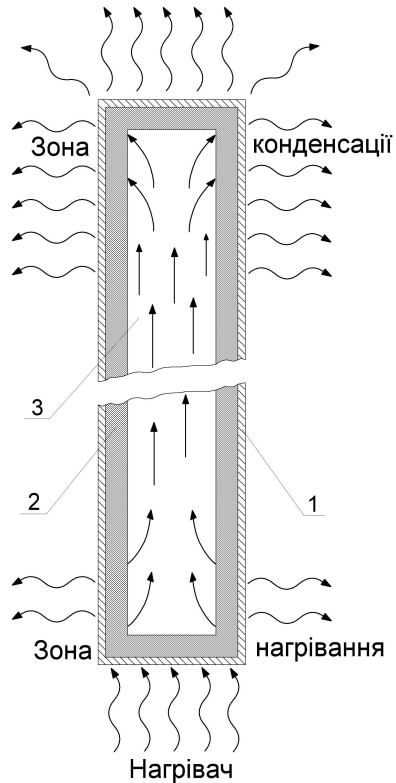


Рисунок 1 - Теплова трубка

Оскільки потужність теплопередачі випромінюванням і конвекцією напряму залежать від площі нагрівача [3], то доцільним є збільшення площі поверхні теплової трубки. Однак, слід враховувати те, що довжина її для більшості опалюваних приміщень не може перевищувати 50 – 60 см.

Тому збільшення площі нагрівача можна досягнути тільки за рахунок збільшення діаметру. Але вже при діаметрі теплової трубки у кілька сантиметрів погіршується процес утворення стійкого парового потоку. Це відбувається внаслідок того, що нагрівач не може забезпечити рівномірного розподілу температури по всій площі внутрішньої поверхні зони нагрівання.

Для стабілізації процесу пароутворення всередині теплової трубки пропонується її удосконалити шляхом застосування спрямовувача з теплоізоляційного матеріалу, на якому буде розміщено фітиль. Як спрямовувач можна використати заглушену поліетиленову трубку з мінімальною теплопровідністю. Спрямовувач зменшить внутрішню площу

теплової трубки і “відтисне” струмінь пару у проміжок між намотаним на нього фітилем і внутрішньою стінкою трубки.

Для збільшення площі теплової трубки без суттєвого збільшення її діаметру пропонується зовнішню поверхню трубки виконати у виді профільованих ребер. Як варіант корпусу трубки вибрано профіль, який отримується литвом з алюмінію марки Д16.

Для підвищення надійності системи опалення і зручності та швидкості регулювання температури як елемент нагрівання теплоносія всередині трубки замість рідинного колектора пропонується використати електричний нагрівач (наприклад ніхромовий дріт), що живиться від джерела як змінного, так і постійного струму.

Парокрапельний нагрівач (випарна, або тепла трубка) у загальному виді передає енергію за рахунок прихованої теплоти пароутворення теплоносія, тому температура її поверхні по всій довжині змінюється дуже мало. Це основна перевага парокрапельних нагрівачів над нагрівачами інших видів. Також, безсумнівною перевагою парокрапельних нагрівачів є їхня висока теплова ефективність, що у сотні разів перевищує ефективність таких матеріалів як мідь та алюміній.

До недоліків випарних трубок слід віднести можливість витoku пари робочої рідини, внаслідок її значного надлишкового тиску усередині трубки при її роботі, певному збільшенню ваги і об'єму конструкції.

Також, певним недоліком випарних трубок є те, що вони повинні працювати у зоні бульбашкового кипіння. В цій зоні густина теплового потоку, який відводиться з поверхні парокрапельного нагрівача і температура його поверхні зростають лінійно. Тобто, практично усе тепло, що відводиться з поверхні нагрівача здійснюється парами теплоносія.

Однак, при підвищенні густини теплового потоку настає криза теплообміну – коли всередині нагрівача створюється струмінь насиченої пари, який відтягує тепло з поверхонь нагрівача. У цьому випадку, при зростанні температури у зоні нагріву парокрапельного нагрівача густина теплового потоку починає зменшуватись. Також суттєво зростає тиск всередині нагрівача. Такий режим роботи парокрапельного нагрівача є небезпечний, бо може призвести до виходу його з ладу.

Експерименти показали, що перепад тиску і температури гарячого і холодного кінців теплової трубки є незначними. Це дозволяє вважати, що поверхневий натяг, густина рідини, густина пари всередині трубки є постійними

величинами, а сама теплова трубка працює у зоні бульбашкового кипіння.

Ці допущення дещо знижують точність розрахунків, але значимо полегшують вивід основних співвідношень.

Перепад тиску по довжині тепловипромінюючої трубки з рідиною всередині можна отримати, використовуючи закон Пуазейля для ламінарної течії в'язкої рідини в циліндричній трубі:

$$p_1 - p_2 = \frac{32\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}}lG, \quad (1)$$

де ν_{Π} – кінематична в'язкість пари; F_{Π} – переріз парового каналу; d_{Π} – діаметр парового каналу; l – довжина трубки; G – витрата рідини.

За рахунок дії капілярних сил, тиск в рідині відрізняється від тиску пари над її поверхнею і складе в зоні випаровування:

$$p_1 - \frac{4\sigma}{d} \cos \theta_1, \quad (2)$$

в зоні кипіння:

$$p_2 - \frac{4\sigma}{d} \cos \theta_2, \quad (3)$$

де d – середній діаметр комірки фітіля; θ – крайовий кут меніска рідини в комірці фітіля; σ – поверхневий натяг рідини.

Як фітіль у теплових трубках використано мілку сітку з нержавіючої сталі.

Перепишемо перепад тиску всередині трубки з урахуванням зроблених зауважень:

$$(p_2 - \frac{4\sigma}{d} \cos \theta_2) - (p_1 - \frac{4\sigma}{d} \cos \theta_1) = \frac{32\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2}lG. \quad (4)$$

Термодинамічна рівновага між рідиною і паром всередині трубки визначається виразом:

$$p'_{\Pi}(T) = p_{\Pi}(T) - \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}} \frac{4\sigma \cos \theta}{4p_{\Pi 0}(T)}, \quad (5)$$

де $\gamma_{\Pi}, \gamma_{\Pi}$ – густина пари і рідини; $p'_{\Pi}(T)$ – тиск пари над меніском при даній температурі; $p_{\Pi}(T)$ – тиск пари над гладкою поверхнею рідини; $p_{\Pi 0}(T)$ – тиск пари на лінії насичення при даній температурі.

Із цього співвідношення можна знайти перепад тисків між зоною випаровування і зоною конденсації:

$$p_1 - p_2 = \Delta p - \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}} \frac{4\sigma}{d} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2). \quad (6)$$

На основі цього можна отримати такі вирази:

$$\Delta p - (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \frac{4\sigma}{d} \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}} = Gl \frac{32\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2}, \quad (7)$$

$$(\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \frac{4\sigma}{d} (1 + \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}}) - \Delta p = Gl \frac{32\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2}. \quad (8)$$

Вирішуючи цю систему і враховуючи, що тепловий потік, який проходить через трубку:

$$Q = rG, \quad (9)$$

де r – прихована теплота пароутворення, отримаємо:

$$Q = \frac{r\Delta p}{32l(\frac{\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2} + \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}} \frac{\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2})}, \quad (10)$$

де d – діаметр комірки фітіля.

Враховуючи, що $\gamma_{\Pi} \ll \gamma_{\Pi}$, і використовуючи рівняння стану для ідеального газу, можна отримати зв'язок між перепадом тиску Δp і перепадом температури Δt при робочій температурі t .

Підставимо це в формулу (10) і отримаємо значення теплового потоку теплової трубки:

$$Q = \frac{r^2\gamma_{\Pi}}{32l(\frac{\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2} + \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}} \frac{\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2})} \cdot \frac{\Delta t}{t}. \quad (11)$$

Граничний тепловий потік через трубку буде:

$$Q_{\max} = \frac{\sigma r}{8ld(\frac{\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2} + \frac{\nu_{\Pi}}{F_{\Pi}d_{\Pi}^2})}. \quad (12)$$

Звідси видно, що на величину максимального теплового потоку суттєво впливає діаметр парового каналу d_{Π} і середній діаметр комірки фітіля d .

Найвище значення теплового потоку може бути досягнуто тільки при певних співвідношеннях d_{Π} і d :

$$\left(\frac{d}{d_{\Pi}}\right)^2 = \frac{F_{\Pi}}{F_{\Pi}} \cdot \frac{\nu_{\Pi}}{\nu_{\Pi}}. \quad (13)$$

При цьому максимальна оптимальна величина теплового потоку теплової трубки буде:

$$Q_{\max.опт} = \frac{r\sigma F_{\Pi}d_{\Pi}^2}{16\nu_{\Pi}dl}, \quad (14)$$

а перепад температур по довжині теплової

трубки становитиме:

$$\Delta T_{omm} = \frac{2T\sigma}{r\gamma_{\Pi}d} \quad (15)$$

Із цього виразу бачимо, що на перепад температур холодного і гарячого кінців теплової трубки впливає тільки параметри теплоносія і діаметр комірки фітиля.

Тому, при розрахунку параметрів теплової трубки застосовується процедура знаходження оптимального співвідношення діаметра парового каналу і середнього діаметру комірки фітиля при забезпеченні максимально можливого значення теплового потоку і мінімального перепаду температур по її довжині.

За методикою, наведеною в [2], було розраховано основні параметри удосконаленої теплової трубки.

Розрахунок здійснювався з метою визначення робочого і максимального теплового потоку трубки, оптимального діаметру пор фітиля та перепаду температур по довжині теплової трубки.

Дані та результати розрахунків теплових параметрів трубки без спрямовувача парового потоку наведені в таблиці 1.

Дані та результати розрахунків теплових параметрів трубки з застосуванням спрямовувача наведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Основні вхідні дані та результати розрахунків теплових параметрів трубки з алюмінію Д16 без спрямовувача

Задані величини		
F_{Π}	$F_{ж}$	d_{Π}
0,001256	0,001256	0,04
$\square t$	t	l
1,9	80	0,5
Розраховані величини		
Q	0,9564	
117,5	238,7	
$\left(\frac{d}{d_{\Pi}}\right)^2$	ΔT_{omm}	
0,9564	3,85	

Як видно з отриманих розрахунків таблиць 1 та 2 тепла трубка без спрямовувача парового потоку має менше значення теплового потоку та максимального теплового потоку, ніж трубка без спрямовувача. Це пояснюється зменшенням внутрішнього об'єму трубки за рахунок встановлення спрямовувача.

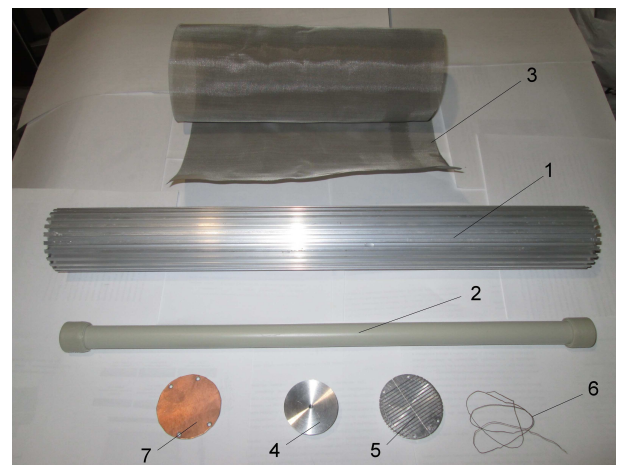
Таблиця 2 - Основні вхідні дані та результати розрахунків теплових параметрів трубки з алюмінію Д16 з спрямовувачем

Задані величини		
F_{Π}	$F_{ж}$	d_{Π}
0,000629	0,000629	0,0283
$\square t$	t	l
1,9	80	0,5
Розраховані величини		
Q	0,9564	
93,1	134,5	
$\left(\frac{d}{d_{\Pi}}\right)^2$	ΔT_{omm}	
0,9124	0,52	

Однак, температура вздовж поверхні трубки ΔT_{omm} у теплової трубки без спрямовувача є набагато вищою, ніж у трубки зі спрямовувачем, також у ній нижчий перепад тиску.

Розраховане максимальне значення теплового потоку трубки зі спрямовувачем 134,5 Вт є більшим за потужність нагрівача (125 Вт), отже трубка буде працювати нормально.

Елементи удосконаленої теплової трубки наведено на рисунку 2. У корпусі з профільованими ребрами 1 розміщується спрямовувач 2, на який намотується фітиль з металеві сітки 3. Зверху тепла трубка закривається кришкою з клапаном 4, а знизу – фрезерованою кришкою 5. У фрезерованих пазах кришки 5 розміщується ніхромовий дріт 6, який служить нагрівачем теплової трубки. Зовні нагрівач закривається кришкою 7, на якій розміщуються електричні клеми.



Рисунки 2 - Елементи удосконаленої теплової трубки

Корпус трубки з профільованими ребрами зображено на рисунку 3. Профіль ребер вибрано з метою створення потужних конвективних потоків навколо трубки та максимальної тепловіддачі випромінюванням. При довжині теплової трубки 50 см площа її зовнішньої поверхні разом з ребрами становить майже 2500 см²

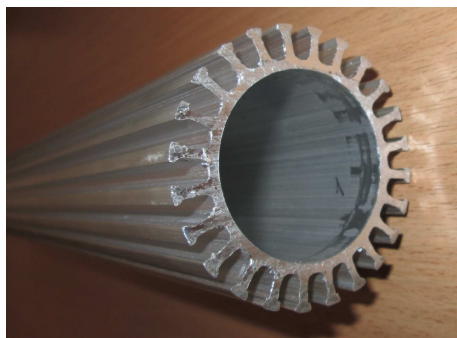


Рисунок 3 – Профіль ребер удосконаленої теплової трубки

У зимню пору року було проведено дослідження удосконаленої теплової трубки, де як теплоносій, застосовувалась дистильована вода.

Дослідна установка зображена на рисунку 4. Температура вимірювалась у верхній та нижній частинах теплової трубки, а також у приміщенні на відстані 0,5 м від поверхні трубки. Теплова трубка при підведеній потужності 125 Вт нагрівалась до температури 74°C за 26 хв. (при температурі у приміщенні 16°C).

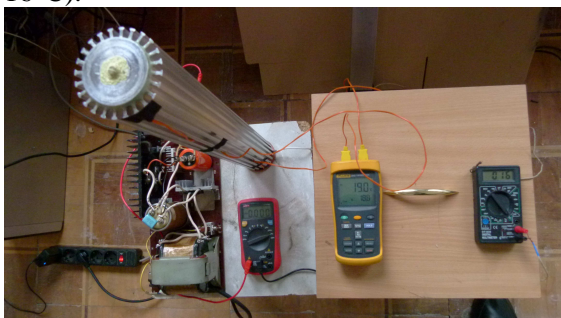


Рисунок 4 – Установка для дослідження удосконаленої теплової трубки

Після цього проводились порівняльні випробування з масляним електричним нагрівачем потужністю 500 Вт. Для випробувань використовувались 4 удосконалені теплові трубки, сумарною потужністю 500 Вт, об'єднані в єдину конструкцію. Приміщення, де проводились випробування, мало площу 7,2 м² при висоті стелі 2,6 м. Це приміщення по чергово нагрівалось електричним масляним нагрівачем і нагрівачем з тепловими трубками. За 6 годин роботи електричний масляний нагрівач піднімав температуру у приміщенні з 13 до 19,5°C. За такий же час нагрівач з тепловими трубками піднімав температуру у приміщенні з 13 до 21°C. З цього видно, що енергоефективність нагрівача на теплових трубках є вищою за енергоефективність масляного нагрівача.

ВИСНОВКИ

Запропонована енергоефективна система опалення за рахунок застосування як нагрівальних елементів парокрапельних нагрівачів. Перевагами є: економія теплоносія та електроенергії; висока надійність парокрапельних нагрівачів; порівняно низька вартість елементів системи опалення.

1. Дан П.Д. Тепловые трубы [пер. с англ.] / П.Д. Дан, Д.А. Рей. – М.: Энергия, 1979 г. – 272 с.
2. Гель П.П. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры / П.П. Гель, Н.К. Иванов. – Л.: «Энергия», 1972 г. – 232 с.
3. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: учеб. для радиотехнич. спец. вузов / А.П. Ненашев. – М.: Высш. шк., 1990. – 432 с.

Поступила в редакцію 16.10.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Райтер П. М., докт. техн. наук, проф. Олійник А. П.