

ВПЛИВ ЕФЕКТИВНОЇ ДОВЖИНИ МІНІАТЮРНИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ НА ЇХНІ ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Д. т. н. В. Ю. Кравець, к. т. н. В. І. Коньшин, к. т. н. О. С. Алексеїк, Д. О. Крамаренко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, м. Київ
kravetz_kpi@ukr.net

Експериментально досліджено вплив ефективної довжини мініатюрних теплових труб (довжина 175 мм, діаметр 6 мм, теплоносій — вода) на їхню еквівалентну теплопровідність і максимальний тепловий потік. Дослідження проводилось при довільній орієнтації у просторі та різній довжині зони підведення теплоти. Показано, що ці фактори суттєво впливають на теплопередавальну здатність мініатюрних теплових труб.

Ключові слова: мініатюрна теплова труба, ефективна довжина, еквівалентна теплопровідність, тепловий потік.

Пошук шляхів зменшення масогабаритних характеристик сучасного електронного обладнання робить актуальною задачу підтримання заданого температурного режиму його роботи при підвищених функціональних можливостях. Це потребує ефективних систем охолодження малої ваги та габаритів. Ефективність таких систем полягає в тому, що вони мають відводити значні теплові навантаження при малих перепадах температури між ділянками підведення та відведення теплоти, причому в деяких випадках — на деяку відстань від охолоджувального приладу. На сьогодні існують такі автономні системи передачі теплоти з використанням випарувально-конденсаційного циклу (теплові труби) [1, 2]. Однією з важливих властивостей теплових труб є достатньо велика еквівалентна теплопровідність — в декілька разів більше ніж у матеріалів, що існують у природі (мідь, срібло, алмаз по оптичній вісі). Однак еквівалентна теплопровідність теплових труб залежить від багатьох факторів, однією з яких є її ефективна довжина, що визначається як відстань між середніми ділянками зон нагріву та конденсації. Це дослідження присвячене визначенню впливу ефективної довжини мініатюрних теплових труб l_{ef} на їхні теплопередавальні характеристики, в першу чергу на еквівалентну теплопровідність $\lambda_{екв}$, а також максимальний тепловий потік Q_{max} .

Досліджуваними об'єктами були дві мідних мініатюрних теплових труби (МТТ) довжиною 175 мм і діаметром 6 мм. Довжина зони конденсації складала 60 мм, зони нагріву змінювалася від 20 до 60 мм. Ефективна довжина МТТ змінювалася від 115 до 135 мм. Досліджувалися МТТ з металоволокнистою капілярною структурою пористістю 75% та 82% з діаметром парового простору 4 мм. Теплоносій — дистильована вода. Дослідження проводилося при трьох варіантах розташування МТТ у просторі: горизонтальному ($\varphi = 0^\circ$) та двох вертикальних — коли зона підведення тепла знаходилася нижче зони конденсації ($\varphi = +90^\circ$) і навпаки ($\varphi = -90^\circ$). Температура по всій довжині вимірювалася за допомогою мідь-константанових термопар, припаяних до зовнішньої стінки МТТ. Сигнал від термопар подавався на аналогово-цифровий перетворювач і далі на персональний комп'ютер. Система опитування показань термопар дозволяла фіксувати температуру в реальному часі з частотою 1 Гц.

Критерієм ефективності теплопередавальної спроможності МТТ можна вважати еквівалентну теплопровідність $\lambda_{екв}$, яка залежить від теплового потоку Q , що передається, від ефективної довжини l_{ef} , зовнішнього діаметра, перепаду температури між зонами нагріву та конденсації, а також теплофізичних властивостей теплоносіїв. Експериментально вона визначалася як

$$\lambda_{екв} = \frac{Q l_{ef}}{F_{МТТ} (\bar{t}_{зн} - \bar{t}_{зк})},$$

де $F_{МТТ}$ — площа перерізу МТТ; $\bar{t}_{зн}$, $\bar{t}_{зк}$ — середні температури зон нагріву та конденсації відповідно.

Дослідження показало, що на $\lambda_{екв}$ суттєво впливає орієнтація МТТ у просторі. З рис. 1 видно, що при вертикальному положенні, коли $\varphi = +90^\circ$, МТТ можуть передавати значно більші теплові по-

токи ніж при горизонтальному та при $\varphi = -90^\circ$. З рис. 2, можна побачити, що при збільшенні ефективної довжини $l_{\text{еф}}$ максимальний тепловий потік Q_{max} зменшується, при цьому спостерігається значний вплив пористості Π капілярної структури. В діапазоні величини теплового потоку до $Q = 130$ Вт еквівалентна теплопровідність МТТ при $l_{\text{еф}} = 135$ мм приблизно на 60% вища, ніж при $l_{\text{еф}} = 115$ мм (рис.3). На рис. 4 видна тенденція $\lambda_{\text{екв}}$ до збільшення разом з $l_{\text{еф}}$ при фіксованих значеннях теплового потоку.

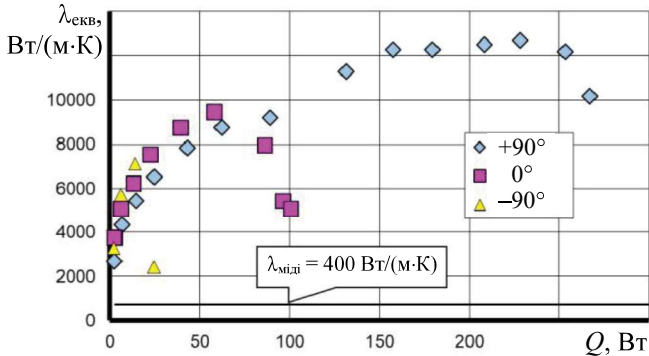


Рис. 1. Залежність $\lambda_{\text{екв}}$ від теплового потоку при різній орієнтації МТТ у просторі ($l_{\text{еф}} = 115$ мм)

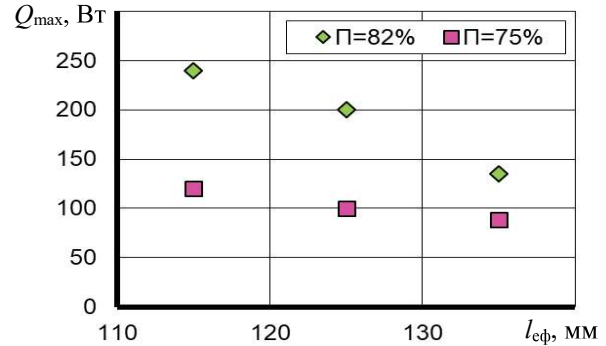


Рис. 2. Залежність максимального теплового потоку від ефективної довжини МТТ при різній пористості ($\varphi = +90^\circ$)

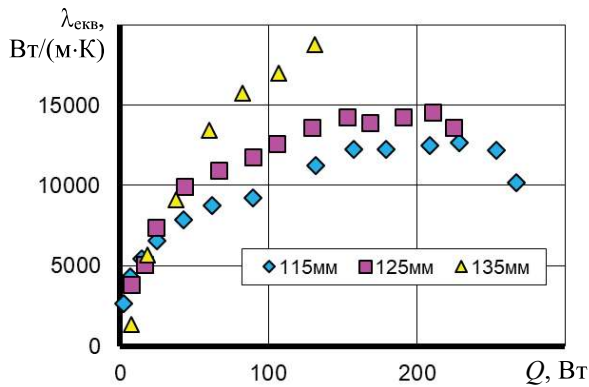


Рис. 3. Залежність $\lambda_{\text{екв}}$ від теплового потоку Q при різних значеннях $l_{\text{еф}}$ ($\Pi = 82\%$, $\varphi = +90^\circ$)

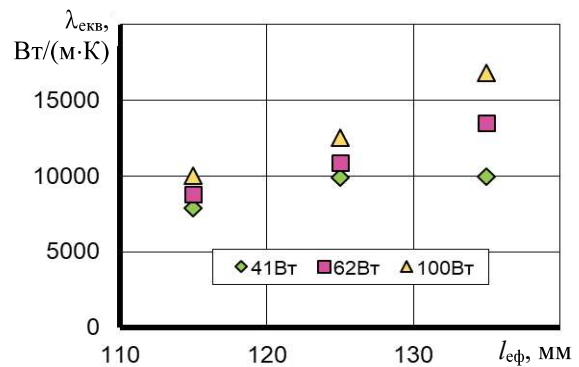


Рис. 4. Залежність $\lambda_{\text{екв}}$ від ефективної довжини МТТ при різних значеннях Q ($\Pi = 82\%$, $\varphi = +90^\circ$)

Таким чином, дослідження показало, що при збільшенні ефективної довжини $l_{\text{еф}}$ еквівалентна теплопровідність зростає, а максимальний тепловий потік зменшується. Тому якщо необхідно підтримувати заданий температурний режим електронного обладнання при невеликих теплових потоках, можна орієнтуватися на збільшенні $l_{\text{еф}}$ — тоді система охолодження буде ефективнішою, а перепад температури між зонами нагріву та конденсації буде мінімальним. Якщо ж необхідно передавати значні теплові потоки, то необхідно зменшувати $l_{\text{еф}}$, але в цьому випадку температурний режим приладу буде залежати від співвідношення довжин зон нагріву та конденсації.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Reay D., Kew P., McGlen R. *Heat Pipes Theory, Design and Applications*. USA. Published by Elsevier Ltd. 2014.
2. Семена М.Г., Гершуни А.Н., Зарипов В.К. *Тепловые трубы с металловолокнистыми капиллярными структурами*. Киев, Вища школа, 1984.

V. Yu. Kravets, V. I. Konshyn, O. S. Alekseik, D. O. Kramarenko

Influence of effective length of miniature heat pipes on their heat transmission characteristics

The paper presents experimental data on the influence of the effective length of miniature heat pipes with a length of 175 mm and a diameter of 6 mm (with water as heat carrier) on their equivalent thermal conductivity and maximum heat flux. The heat pipes are studied at an arbitrary orientation in space and for different lengths of the heat supply zone. The study demonstrates that these factors significantly affect the heat transfer capacity of miniature heat pipes.

Keywords: miniature heat pipe, effective length, equivalent thermal conductivity, heat flux.