

ВПЛИВ ТЕПЛОНОСІЯ ТА ДОВЖИНИ ЗОНИ НАГРІВУ ПУЛЬСАЦІЙНОЇ ТЕПЛОВОЇ ТРУБИ НА МЕЖІ ОСНОВНИХ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ЗА РІЗНИХ КУТІВ ЇЇ НАХИЛУ

К. т. н. Є. С. Алексеїк, К. В. Мане

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

Експериментально досліджено вплив довжини зони нагріву та кута нахилу на температуру та густину теплового потоку, що відповідають запуску та переходу до пульсаційного режиму мідної 5-виткової пульсаційної теплової труби, заправленої водою та метанолом. З'ясовано, що збільшення довжини зони нагріву призводить до зниження указаних характеристик. Вплив кута нахилу залежить від використаного теплоносія, але в цілому для метанолу характеристики гірші, ніж для води.

Ключові слова: пульсаційна тепла труба, пускові характеристики, пульсаційний режим, температура, густина теплового потоку, кут нахилу.

Сучасні тенденції розвитку електронних компонентів, направлені на їх мініатюризацію з одночасним збільшенням потужності, вимагають використання нових систем охолодження, здатних відводити теплові потоки значної густини. Зараз для цього широко використовуються двофазні теплопередавальні системи, серед яких одним з найбільш перспективних рішень можуть бути пульсаційні теплові труби (ПТТ).

Важливими характеристиками ПТТ є її пускові характеристики, тобто значення густини теплового потоку та середньої температури зони нагріву (ЗН), за яких починається постійний пульсаційний рух теплоносія, що забезпечує найкращі характеристики ПТТ (низький перепад температур по довжині ПТТ та термічний опір) і, відповідно, найефективніше охолодження електронних компонентів. Впливу на пускові характеристики ПТТ різноманітних параметрів присвячується низка досліджень, наприклад [1–3], але при цьому мало уваги приділяється впливу довжини зон ПТТ, особливо в комбінації із властивостями теплоносія та кутом її нахилу. Крім того, наші попередні дослідження [4] показали, що процеси у ПТТ протікають в межах таких основних режимів: передача теплоти теплопровідністю, термосифонний, пульсаційний. При цьому саме в останньому режимі теплопередавальні характеристики ПТТ є найкращими, тому для практичного застосування важливо знати межі цього режиму.

У цій роботі досліджувався вплив властивостей теплоносія та довжини зони нагріву на межі основних режимів роботи ПТТ за різних кутів її нахилу.

Для проведення досліджень було виготовлено експериментальний зразок мідної ПТТ з такими параметрами: зовнішній/внутрішній діаметр 2,1/1,1 мм; довжина зони нагріву 10, 30, 50 мм; довжина зони конденсації 100 мм; загальна довжина ПТТ 150 мм; кількість витків 5; коефіцієнт заповнення $K_z = 50 \pm 0,5\%$. Теплоносієм слугували вода та метанол. ПТТ досліджувалась за різних кутів β її нахилу до горизонту: $+90^\circ$, $+45^\circ$, 0° , -45° , -90° (знак "+" відповідає такому розташуванню ПТТ, коли зона конденсації знаходиться вище зони нагріву, знак "-" — коли навпаки). Підведення теплоти до ПТТ відбувалось за допомогою ніхромового нагрівача. ПТТ охолоджувалась водою, температура (22°C) та витрата (5,4–5,5 г/с) якої підтримувались постійними. Для вимірювання температури використовувалось 8 мідь-константанових термопар, рівномірно розподілених на зовнішній поверхні ПТТ. Сигнали від термопар через модуль збору даних передавались на персональний комп'ютер, де вони відображались і записувались у режимі реального часу.

Результати експериментів представлені на рисунку. Слід зазначити, що досліджувана ПТТ не запускалась при від'ємних кутах нахилу, а в горизонтальному положенні ($\beta = 0^\circ$) ПТТ з метанолом запускалась лише при довжині зони нагріву 10 мм.

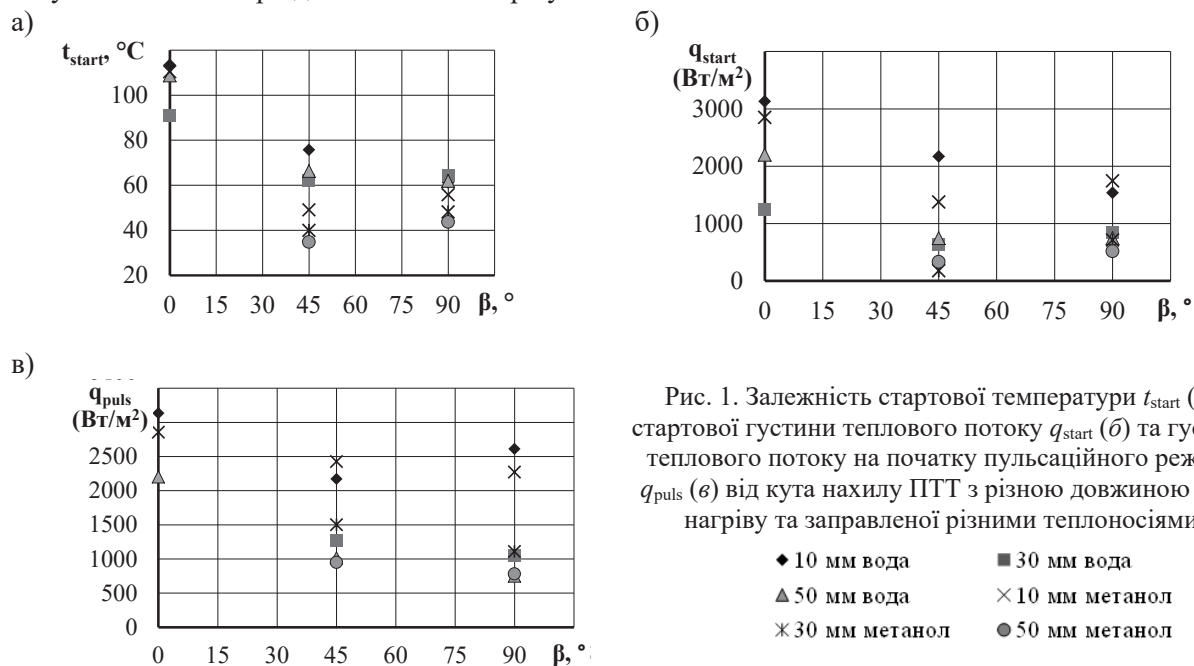


Рис. 1. Залежність start-up температури t_{start} (а), start-up густини теплового потоку q_{start} (б) та густини теплового потоку на початку пульсаційного режиму q_{puls} (в) від кута нахилу ПТТ з різною довжиною зони нагріву та заправленої різними теплоносіями:

З отриманих результатів можна зробити висновки, що збільшення довжини зони нагріву від 10 до 50 мм призводить до зниження значень указаних параметрів запуску та переходу до пульсаційного режиму t_{start} , q_{start} , q_{puls} . Найнижчі їхні значення при використанні води як теплоносія були зафіксовані при куті нахилу $\beta = +90^\circ$, а для метанолу при $\beta = +45^\circ$. При цьому величини t_{start} , q_{start} , q_{puls} для метанолу нижчі, тому для практичного застосування можна рекомендувати використовувати ПТТ з метанолом та довжиною зони нагріву 50 мм, оскільки вона запускається та переходить в пульсаційний режим при низьких значеннях температури та густини теплового потоку. Однак для роботи в горизонтальному положенні краще застосовувати воду.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Xiangdong Liu, Yongping Chen, Mingheng Shi. Dynamic performance analysis on start-up of closed-loop pulsating heat pipes (CLPHPs). *International Journal of Thermal Sciences*, 2013, vol. 65, p. 224–233.
2. Dongwei Zhang, Zhuantao He, Erhui Jiang et al. A review on start-up characteristics of the pulsating heat pipe. *Heat and Mass Transfer*, 2021, vol. 57, p. 723–735.
3. Est Dev Patel, Subrata Kumar. Thermal performance of a single loop pulsating heat pipe with asymmetric adiabatic channel. *Applied Thermal Engineering*, 2023, vol. 219, part B, art. no 119541.
4. Алексеик Е.С., Кравец В.Ю. Картины движения теплоносителя в основных режимах работы пульсационных тепловых труб. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2012, №4/8(58), с.36–42.

A Ye. S.lekseik, K. V. Mane

Influence of the heat carrier and the length of the heating zone of a pulsating heat pipe on the limits of the main operating modes at different inclination angles

The authors experimentally studied the influence of the heating zone length and inclination angle on the temperature and heat flux density corresponding to the startup and transition to the pulsation mode of a copper 5-turn pulsating heat pipe with water and methanol as a heat carrier. It was found that an increase in the heating zone length leads to a decrease in these characteristics. The effect of the inclination angle depends on the heat carrier used, but in general, the characteristics for methanol are lower than for water.

Keywords: pulsating heat pipe, start-up characteristics, pulsating regime, temperature, heat flux density, inclination angle.