

ВИБІР РОБОЧОЇ РІДИНИ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ ПУЛЬСАЦІЙНИХ ТЕПЛОВИХ ТРУБ

К. т. н. Д. В. Козак¹, д. т. н. Ю. Є. Ніколаєнко¹, д. т. н. В. Ю. Кравець¹,
Р. С. Мельник¹, Ph.D. Д. В. Пекур²

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

²Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України

Україна, м. Київ

yunikola@ukr.net, dk.kpi.hp@gmail.com

Представлено дані для вибору максимального та мінімального значень внутрішнього діаметра пульсаційної теплової труби, які визначають умови її роботи в системі охолодження при температурах насичення 60 та 100 °С. Як робочі рідини використовувалися R113, R600a, R10, н-пентан, метанол, етанол, ацетон, аміак, FC-72, тосол А-65, вода.

Ключові слова: система охолодження, пульсаційна тепла труба, робоча рідина, діаметр.

При розробці систем охолодження прийнятно-передавальних модулів антенних систем радіолокаційних станцій на основі теплових труб (ТТ) важливим питанням є правильний вибір робочої рідини та конструктивних характеристик ТТ. Вибір робочої рідини визначається в основному температурним діапазоном роботи, теплофізичними властивостями, значеннями теплових потоків і хімічною інертністю до матеріалу корпусу ТТ. На відміну від традиційних ТТ при розробці систем охолодження на основі пульсаційних теплових труб (ПТТ) визначальним фактором є мінімальний і максимальний внутрішній діаметр корпусу теплової труби, оскільки пульсуючий рух парових снарядів і рідинних пробок в ПТТ здійснюється через перепад тиску в зоні підведення і відведення теплоти при утворенні парової фази. У зв'язку з цим, актуальним завданням є визначення внутрішнього діаметра ПТТ для найбільш поширених видів робочої рідини, що забезпечують працездатність ПТТ при заданих значеннях тиску насичення.

Метою даної роботи є побудова графічних залежностей, за допомогою яких можна було б при проектуванні системи охолодження прийнятно-передавальних модулів швидко визначити діапазон значень внутрішнього діаметра ПТТ для обраної робочої рідини.

Пульсаційний режим руху парорідинної суміші в ПТТ можна описати за допомогою критерію Бонда Bo . З фізичної точки зору він характеризує співвідношення гравітаційних і капілярних сил і визначається як

$$Bo = \frac{g(\rho_p - \rho_n) \cdot D^2}{\sigma}, \quad (1)$$

де g — прискорення вільного падіння;

ρ_p, ρ_n — щільність рідини і пари на лінії насичення відповідно;

σ — коефіцієнт поверхневого натягу;

D — внутрішній діаметр капілярної трубки.

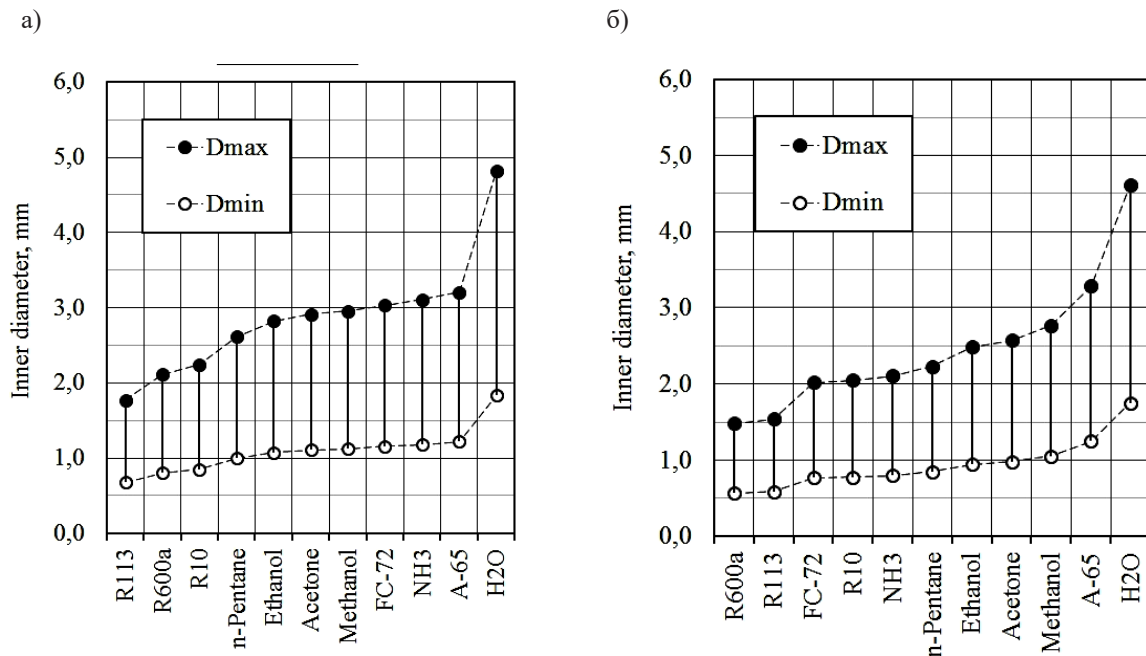
Аналіз експериментальних робіт [1, 2] з дослідження двофазних течій більшості робочих рідин для підтримки снарядного режиму в ПТТ показує, що при цьому максимальне значення критерію Bo лежить в діапазоні значень від 3,39 до 4, а мінімальне — від 0,36 до 0,49. Враховуючи рівняння (1) та експериментальні дані по критерію Бонда, можна визначити надійні межі внутрішнього діаметра D капілярної трубки для ефективної роботи ПТТ в системі охолодження прийнятно-передавального модуля ($Bo_{\max} = 3,39$; $Bo_{\min} = 0,49$):

$$D_{\min} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_p - \rho_n)}} \leq D \leq D_{\max} = 1,84 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_p - \rho_n)}}. \quad (2)$$

Для дотримання умов роботи ПТТ з конкретною робочою рідиною необхідно вибирати і відповідні межі внутрішнього діаметра ПТТ. При цьому необхідно враховувати температурні режими роботи ПТТ, оскільки

теплофізичні властивості (коефіцієнт поверхневого натягу та щільність рідини й пари) істотно залежать від температури.

На рисунку представлено отримані графічні залежності зміни внутрішнього діаметра ПТТ при двох значеннях температури насичення для 11 поширених робочих рідин — R113, R600a, R10, n-пентан, метанол, етанол, ацетон, аміак, FC-72, тосол А-65, вода.



Діапазон зміни внутрішнього діаметра ПТТ для різних робочих рідин за температури насичення 60°C (а) та 100°C (б)

Наведені дані показують, що теплофізичні властивості робочої рідини істотно впливають на вибір внутрішнього діаметра ПТТ для системи охолодження приймально-передавального модуля. Представлені межі внутрішнього діаметра визначають основну умову роботи ПТТ і є найважливішим і першочерговим фактором при розробці таких теплопередавальних пристроїв. При проєктуванні ПТТ необхідно враховувати, що пульсаційний режим роботи ПТТ з підвищеними значеннями температури насичення робочої рідини забезпечується при менших значеннях внутрішнього діаметра ПТТ. Отримані залежності зручні для практичного застосування.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Taft B.S., Williams A.D, Drolen B.L. Review of Pulsating Heat Pipe Working Fluid Selection, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 2012, 26(4), p. 651–656.
2. Mamei M., Manno V., Filippeschi S., Marengo M. Effect of gravity on the thermal instability of a closed loop pulsating heat pipe. *8th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*. 2013, Lisbon, Portugal.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проєкт № 2020.02/0357) та Міністерства освіти і науки України (проєкт № 2407).

D. V. Kozak, Yu. E. Nikolaenko, V. Yu. Kravets, E. S. Melnyk, D. V. Pekur

Choosing working fluid and geometric characteristics for efficient operation of pulsating heat pipes

The paper presents the data needed to choose internal maximum and minimum diameters of the pulsating heat pipe (PHP), which determine the operating conditions of the PHPs in the cooling system at saturation temperatures 60 and 100 °C. R113, R600a, R10, n-pentane, methanol, ethanol, acetone, ammonia, FC-72, tosol A65, and water were used as heat carriers.

Keywords: cooling system, pulsating heat pipe, working fluid, diameter.