

# **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАРОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕРМОСИФОНА С УДЛИНЕННЫМИ ЗОНАМИ ИСПАРЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ**

**А. В. Родин**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. В. Шаповалов

Целью работы является разработка расчета термического сопротивления пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в удлиненных зонах конденсации и испарения.

Методы определения термического сопротивления тепловых труб основаны на составлении схем замещения возможных термических сопротивлений участков устройства. Схемы замещения тепловых труб представлены в [1], [2]. Данный подход возможно применить для расчета термического сопротивления пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе, учитывая следующее:

- можно пренебречь сопротивлением, которое возникает в результате трения паровой и жидкой фазы теплоносителя внутри устройства, так как данные потоки разделены в полости термосифона и не оказывают никакого влияния друг на друга;
- необходимо учесть термические сопротивления фазовых переходов как в зоне испарения, так и в зоне конденсации устройства;
- не учитывается термическое сопротивление пористых структур, так как в данной конструкции термосифона они отсутствуют.

На рис. 1 показана конструкция пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в удлиненных зонах конденсации и испарения и зоны снижения температуры. Составленная схема замещения устройства с учетом возможных сопротивлений показана на рис. 2.

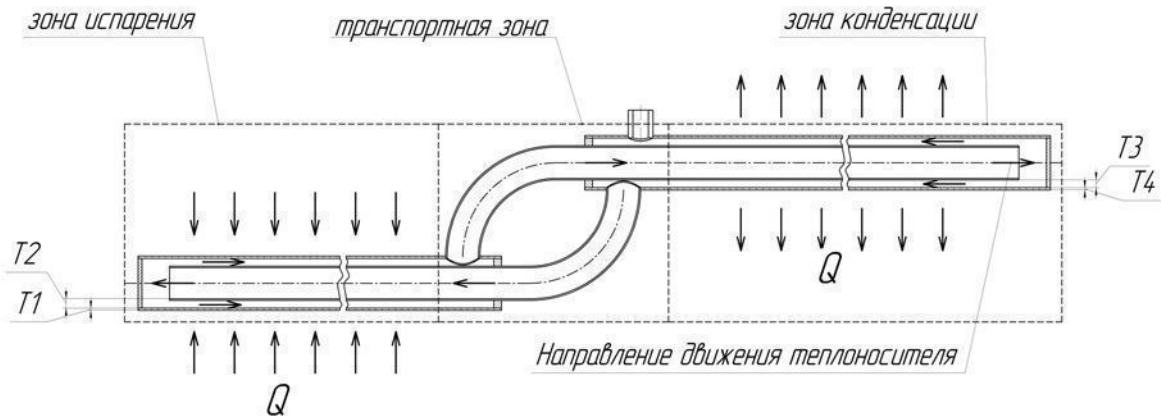


Рис. 1. Пародинамический термосифон и характерные разности температур, учитываемые при определении термического сопротивления устройства

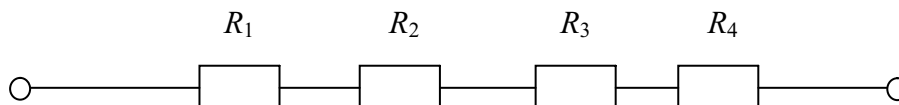


Рис. 2. Эквивалентные термические сопротивления в пародинамическом термосифоне:

$R_1$  и  $R_4$  – термическое сопротивление стенки испарителя и конденсатора пародинамического термосифона,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_2$  и  $R_3$  – термическое сопротивление фазового перехода в зоне испарения и зоне конденсации,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

Выражения для определения составляющих термического сопротивления представлены в таблице.

## Термические сопротивления пародинамического термосифона

№	Термическое сопротивление	Литература
1	$R_1 = \frac{D_2 \ln \frac{D_2}{D_1}}{2\pi\lambda}$	[3, ф-ла 2-42]
2	$R_2 = \frac{1}{\alpha_2} = \frac{X}{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{ж.нас}}} = \frac{1}{C_{sf}} \frac{\sqrt{\frac{\gamma}{g(\rho_{\text{ж.нас}} - \rho_{\text{пар}})}}}{\text{Re}_{\text{ж.нас}}^{0,67} \text{Pr}_{\text{ж.нас}}^{-0,7} \lambda_{\text{ж.нас}}}$ $\text{Re}_{\text{ж.нас}} = \frac{q_s \sqrt{\frac{\gamma}{g(\rho_{\text{ж.нас}} - \rho_{\text{пар}})}}}{\mu_{\text{ж.нас}} r_f} \quad \text{Pr}_{\text{ж.нас}} = \left( \frac{c_p \mu}{\lambda} \right)_{\text{ж.нас}}$	[4, табл. 5.2, п.2]
3	$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} = \frac{D_1}{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{ж.нас}}} =$ $= \frac{D_1}{0,555 \left[ \frac{D_1^3 \rho_{\text{ж.нас}} (\rho_{\text{ж.нас}} - \rho_{\text{пар}}) g}{\lambda_{\text{ж.нас}} \mu_{\text{ж.нас}} \Delta t} (r_g + 0,68 \cdot c_{p \text{ ж.нас}} \cdot \Delta t) \right]^{1/4}} \lambda_{\text{ж.нас}}$	[4, табл. 5.4, п.3]
4	$R_4 = \frac{D_2 \ln \frac{D_2}{D_1}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda}$	[3, ф-ла 2-42]

Обозначения:  $D_1$  – внутренний диаметр трубы термосифона, м;  $D_2$  – внешний диаметр трубы термосифона, м;  $\lambda$  – теплопроводность материала трубы термосифона, Вт/м · °С;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи при кипении, Вт/м<sup>2</sup> · °С;  $X$  – характеристическая длина, м; Nu – критерий Нусельта;  $\lambda_{\text{ж.нас}}$  – коэффициент теплопроводности насыщенной жидкости, Вт/м · °С;  $\gamma$  – поверхностное натяжение, Н/м;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_{\text{ж.нас}}$  – плотность насыщенной жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{пар}}$  – плотность пара, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{sf}$  – коэффициент в формуле теплоотдачи для пузырькового кипения [40, табл. 5.3]; Re – критерий Рейнольдса; Pr – критерий Прандтля;  $q_s$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $\mu_{\text{ж.нас}}$  – динамическая вязкость насыщенной жидкости, Н · с/м<sup>2</sup>;  $r_f$  – удельная теплота парообразования, Дж/кг;  $c_{p \text{ ж.нас}}$  – удельная теплоемкость насыщенной жидкости при постоянном давлении, Дж/кг · °С;  $\alpha_3$  – коэффициент теплоотдачи при конденсации, Вт/м<sup>2</sup> · °С;  $\Delta t$  – перепад температур между температурой стенки и температурой насыщения, °С;  $r_g$  – скрытая теплота конденсации, Дж/кг.

При расчете теплообменных аппаратов также необходимо учитывать термические сопротивления теплоотдачи от внешнего теплоносителя к поверхности испарителя термосифона и от стенки конденсатора термосифона к потоку нагреваемого теплоносителя.

Сравнение результатов расчета и полученных экспериментальных данных показано на рис. 3.

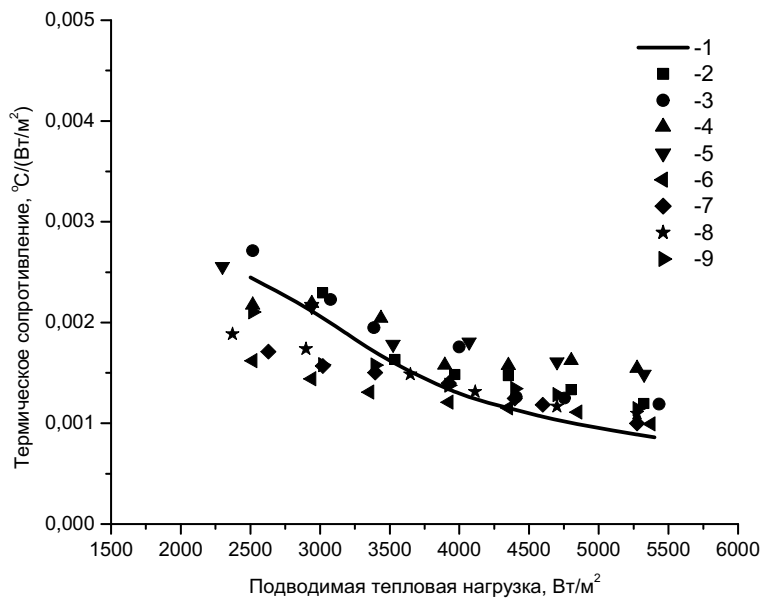


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных и результатов расчета (данные приведены для термосифона, заправленного водой):

- 1 – результаты расчета; 2 – эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 0°; 3 – эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 30°; 4 – эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 35°; 5 – эксперимент при объеме заправки 500 мл, угол наклона 40°; 6 – эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 0°; 7 – эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 30°; 8 – эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 35°; 9 – эксперимент при объеме заправки 250 мл, угол наклона 40°

**Вывод:** приведен расчет термического сопротивления пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в зонах конденсации и испарения, позволяющий учитывать величину подводимого теплового потока и род жидкости.

#### Литература

1. Чи, С. Тепловая труба: Теория и практика / С. Чи ; пер. с англ. В. Я. Сидорова. – М. : Машиностроение, 1981 – 207 с.
2. Дан, П. Д. Тепловые трубы ; пер. с англ. / П. Д. Дан, Д. А. Рей. – М. : Энергия, 1979. – 272 с.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача : учеб. для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.
4. Уонг, Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник ; пер. с англ. / Х. Уонг. – М. : Атомиздат, 1979. – 216 с.