

УДК 536.24

Н.М. КИДУН, старший преподаватель (УО ГГТУ им.П.О. Сухого)
Т.Н. НИКУЛИНА, старший преподаватель (УО ГГТУ им.П.О. Сухого)
г. Гомель, Республика Беларусь

ТЕПЛОНОСИТЕЛИ ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ ТЕРМОСИФОННЫХ УСТРОЙСТВ

Двухфазные теплопередающие устройства рассматриваются как перспективные, высокоэффективные, надежные теплопередающие теплообменные устройства. В связи с этим актуальным является исследование возможности применения термосифонов как основного элемента системы охлаждения приборов, устройств и оборудования [1-3].

Объектом исследования является процесс теплообмена в замкнутом двухфазном теплопередающем элементе - термосифоне.

Целью работы является:

- анализ и выявление наиболее существенных свойств теплоносителей для двухфазных теплопередающих устройств;
- выбор теплоносителя для экспериментальных исследований;
- экспериментальное исследование процесса теплообмена для создания эффективных теплообменных аппаратов с применением термосифонов.

Предметом исследования является модель теплообменника на основе термосифонных элементов с улучшенными характеристиками (рис.1).

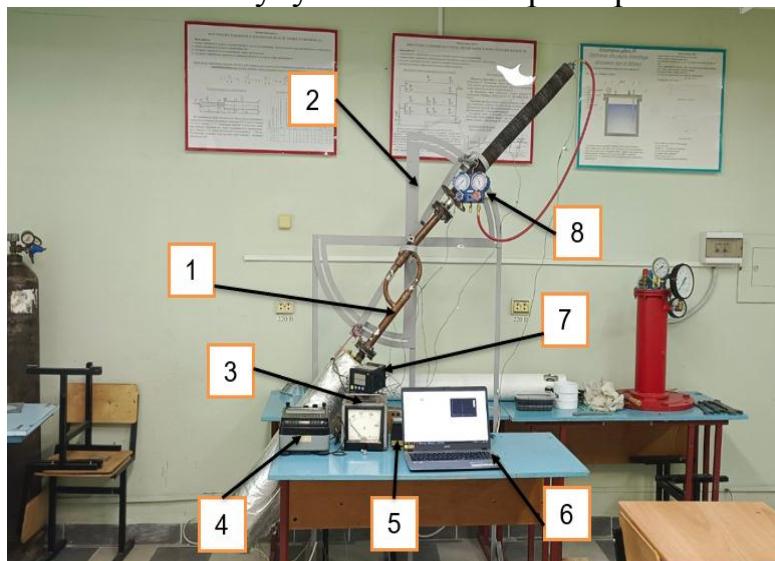


Рис.1. Экспериментальный стенд: 1 – термосифон; 2 – стойка; 3 – лабораторный автотрансформатор; 4 – амперметр; 5 – вольтметр; 6 – компьютер, для сбора данных; 7 – измеритель-регулятор Сосна-002; 8 – манометр

Анализ свойств теплоносителей применяемых в двухфазных теплопередающих устройствах

Тепловые характеристики термосифона зависят от типа рабочей жидкости – теплоносителя, степени заполнения (отношения объема жидкости к объему испарителя), геометрических размеров, угла наклона к горизонту, давления в полости термосифона, расхода и температуры охлаждающего теплоносителя.

При выборе теплоносителя необходимо учитывать следующие условия: рабочий диапазон температур и давлений; максимальный тепловой поток в испарителе термосифона; теплофизические свойства такие как температура кипения, плавления, критические параметры, теплота парообразования, плотность пара; токсичность; огне- и взрывоопасность; условия работы устройства в течение длительного времени.

Теоретически в качестве теплоносителей можно применять любые химические соединения и вещества, которые имеют жидкую и паровую фазы в рабочем диапазоне температур и давлений. На практике применяется весьма ограниченное количество жидкостей.

Лучшим теплоносителем по многим параметрам является вода. Она обеспечивает наибольший теплоперенос из всех известных теплоносителей, общедоступна, пожаро- и взрывобезопасна. Однако, несмотря на значительные преимущества, вода как теплоноситель для создания эффективных теплообменных аппаратов на основе термосифонов имеет существенный недостаток - высокую температуру фазового перехода, а следовательно большие тепловые потоки, которые необходимо подводить к испарителю замкнутого двухфазного теплопередающего устройства.

В качестве низкотемпературных теплоносителей можно использовать спирты, эфиры, фреоны. В данной статье особое внимание уделяется использованию озонобезопасных хладагентов – фреонов, что позволит в дальнейшем разработать теплообменный аппарат на основе термосифонов для утилизации тепла в современных промышленных системах передачи теплоты и использования тепла вторичных энергоресурсов.

На сегодняшний день насчитываются десятки видов фреонов, но в промышленности используют несколько - R134a, R404a, R410a и R407c. С 1 января 2020 года в ЕС вступил в силу запрет на новое стационарное холодильное оборудование, работающее на хладагентах с ПГП (потенциал глобального потепления) выше 2500, из-за чего придется отказаться от R404a, чей ПГП равен 3922.

Теплопередающая способность термосифона зависит от теплопроводности, теплоемкости, скрытой теплоты парообразования, вязкости, поверхностного натяжения теплоносителя.

Известно, что:

- чем больше теплопроводность и скрытая теплота парообразования жидкости, тем интенсивнее теплопередача;

- чем больше теплоемкость теплоносителя, тем выше скорость роста пузырей в слое жидкости на нижней крышке термосифона и эффективнее процесс охлаждения (поглощение и отвод теплоты).

Для выбора теплоносителя в [1, 4] рекомендуется использовать показатель качества FOM (figure of merit):

$$FOM = \left(r \quad \lambda_l^3 \quad \rho_l^2 \quad \mu_l^{-1} \right)^{0.25} \quad (1)$$

где r – теплота парообразования, Дж/кг; λ_l – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ρ_l – плотность, кг/м³; μ_l – динамический коэффициент вязкости, Па·с.

Расчет, произведенный по ф.1 на основании теплофизических свойств теплоносителей показал, что оптимальным теплоносителем является фреон R410a (рис. 2).

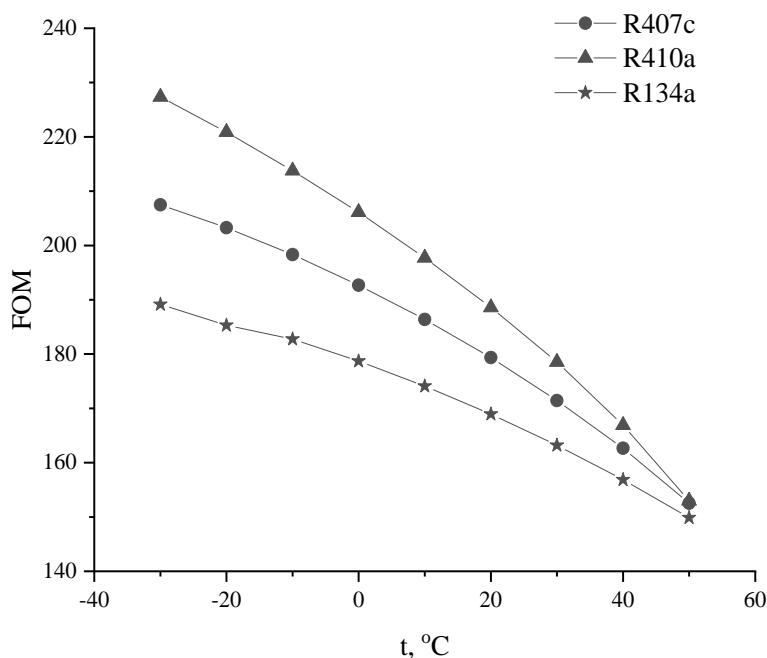


Рис.2. Определение показателя качества теплоносителя (FOM)

Экспериментальное исследование процесса теплообмена

Работа замкнутого двухфазного теплопередающего устройства подразумевает наличие фазовых переходов – испарение и конденсация. При определении FOM учитываются только теплофизические свойства теплоносителя в состоянии жидкости, что в полной мере не учитывает особенностей работы термосифона.

Для подтверждения результатов (рис.2) и возможности их применения на практике, в рамках данной работы было проведено экспериментальное исследование работы термосифона, заправленного различными теплоносителями.

Методика проведения экспериментов [5, 6] заключалась в ступенчатом увеличении теплового потока с определенной выдержкой между двумя приращениями тепловой нагрузки. Этот интервал во времени необходим для стабилизации изменяющихся параметров. Охлаждение зоны конденсации производилось за счет наружного оребрения конденсатора. Условия проводимых экспериментов:

- теплоноситель - R134a, R410a, R407c;
- объем заправки – 500 мл;
- угол наклона термосифона относительно горизонтальной плоскости – 0°, 90°.
- подводимая тепловая нагрузка к испарителю: 0-128 Вт;

Следует отметить, что наиболее значимой характеристикой работы термосифона является его термическое сопротивление.

Термическое сопротивление R , Вт/°C·m² определяется по формуле:

$$R = \frac{t_h - t_k}{q}, \frac{\text{°C}}{\text{Вт}} \cdot \frac{m^2}{\text{м}^2}, \quad (2)$$

где q – теплового поток, отнесенный к единице площади поверхности, Вт/°C·m²; t_h – температура в начале исследуемого участка термосифона, °C; t_k – температура в конце исследуемого участка термосифона, °C.

Результаты эксперимента представлены на рис.3.

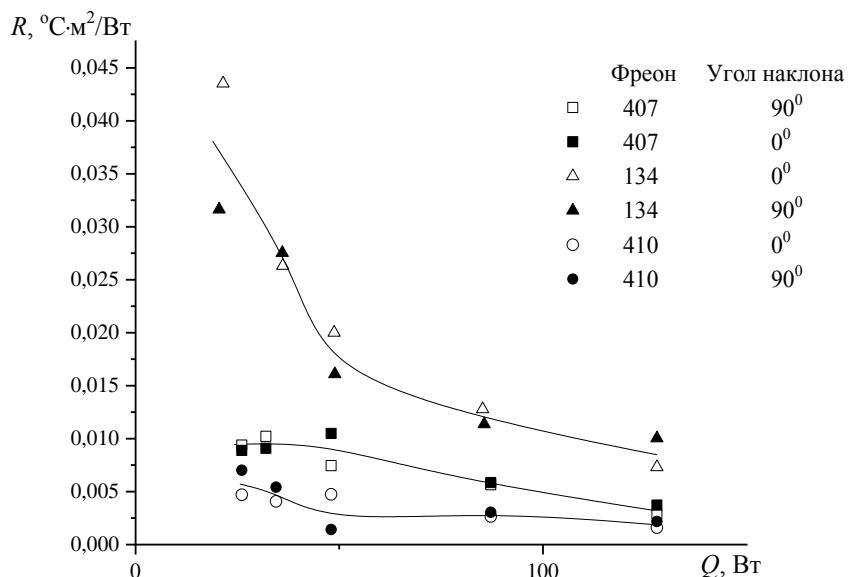


Рис.3. Зависимость термического сопротивления от подводимого теплового потока

Результаты расчета и экспериментальные данные совпадают, что позволяет сделать заключение о возможности использования показателя качества FOM для выбора теплоносителя для замкнутых двухфазных теплопередающих систем. По результатам данной работы в качестве рабочей жидкости для экспериментальных исследований в качестве предпочтительного выбран озонобезопасный фреон R410a.

Список литературы:

1. Jouhara H., Reay D., McGlen R., Kew P., McDonough J. Heat Pipes: Theory, Design and Applications. Butterworth Heinemann, Oxford, 7th Edition, 2023, 352 p.
2. Васильев Л. Л., Журавлёв А. С., Кузьмич М. А., Гракович Л. П., Рабецкий М. И., Драгун Л. А. Автономные устройства с испарительно-конденсационным циклом для терморегулирования теплонагруженной аппаратуры // Elektronnaya Obrabotka Materialov, EOM, 2024, vol. 60, no. 1, pp. 89-97. <https://doi.org/10.52577/eom.2024.60.1.089>.
3. Chilbule, P.V., Dhole, L.P. Heat pipe integrated solar thermal systems and applications: A review. Materials Today: Proceedings, Volume 60, Part 3, 2022, Pages 1491-1496.
4. Faghri A. Heat Pipe Science and Technology. Global Digital Press, Second Edition, 2016, 1056 p.
5. Шаповалов, А.В. Результаты экспериментального исследования пародинамического термосифона/ А.В. Шаповалов, А.В. Родин, Р.Н. Жихарев // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого, Гомель. – 2015. – № 3. – с.58-64.
6. Шаповалов, А.В. Результаты экспериментального исследования теплообмена в термосифонном элементе с оребренной поверхностью конденсатора при изменении условий расположения элемента в пространстве / А.В. Шаповалов, Т.Н. Никулина, Н.М. Кидун, В.В. Чернявская // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого, Гомель, 2022 г: научно-практический журнал. - 2022. – № 4. – С. 73-77.

Информация об авторах:

Кидун Наталья Михайловна, старший преподаватель УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь, nkidun@ya.ru

Никулина Татьяна Николаевна, старший преподаватель УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь. tanik_nik@gstu.by