



Рис. 2. Графическое представление статического и динамического сроков окупаемости:
1 – статистический срок окупаемости; 2 – динамический срок окупаемости

Динамический срок окупаемости:

$$T_{\text{дин}} = t - \frac{\text{ЧДД}_t}{\text{ЧДД}_{t+1} - \text{ЧДД}_t} = 15 - \frac{-13544,1}{10529,62 - (-13544,1)} = 15,56 \text{ лет.}$$

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- статический срок окупаемости составил порядка 7 лет (менее 10 лет), что говорит о целесообразности использования ГН;
- динамический срок окупаемости составил 15,5 лет;
- проект требует существенных инвестиционных затрат.

УДК 536.24

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДВУХФАЗНЫХ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ

Н. М. Кидун, Т. Н. Никулина

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

Научный руководитель А. В. Шаповалов

Представлен обзор современных теплоносителей, применяемых в замкнутых двухфазных термосифонах с организованной циркуляцией теплоносителя, рассмотрены теплофизические свойства отдельных теплоносителей.

Ключевые слова: термосифоны, кризис, циркуляция, промежуточный, максимальный, теплоноситель.

OVERVIEW OF MODERN HEAT CARRIERS USED IN TWO-PHASE CLOSED SYSTEMS

N. M. Kidun, T. N. Nikulina

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Science supervisor A. V. Shapovalov

The article presents an overview of modern heat carriers used in closed two-phase thermosiphons with organized circulation of the coolant, the thermophysical properties of individual heat carriers are considered.

Keywords: thermosiphons, crisis, circulation, intermediate, maximum, coolant.

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.

Критические параметры теплоносителя должны быть выше рабочей температуры термосифона. Давление паров теплоносителя при рабочих температурах должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить перенос большого количества теплоты. Однако следует учитывать, что чем выше давление, тем больше металлоемкость конструкции. При низких давлениях резко увеличиваются размеры паровых пузырей, что может привести к перекрытию поперечного сечения испарителя при запуске и к разрушению (прогару) его стенки.

Нижний предел рабочей температуры должен быть выше температуры фазового перехода из жидкого состояния в твердое. Это особенно важно для теплоносителей, у которых при фазовом переходе объем твердой фазы больше, чем жидкой, что может привести к разрушению корпуса термосифона.

Лучшим теплоносителем по многим параметрам является вода. Она обеспечивает наибольший теплоперенос из всех известных теплоносителей (за исключением жидких металлов), общедоступна, пожаро- и взрыво- безопасна. Однако, несмотря на значительные преимущества, вода как теплоноситель имеет следующие недостатки: высокую температуру плавления (замерзания), вступление в реакцию с некоторыми веществами (щелочными металлами) с выделением водорода, что при определенных условиях может привести к взрыву.

Кроме воды в качестве низкотемпературных теплоносителей можно использовать спирты, эфиры, фреоны. Недостатком таких теплоносителей, как эфиры, фреоны и некоторые другие органические жидкости является вредное воздействие на человека.

В качестве высокотемпературных можно применять кремнийорганические теплоносители. Они имеют относительно низкие критические давления, высокую критическую температуру и низкую температуру плавления. Однако длительные ресурсные испытания таких термосифонов не проводились. Поэтому нельзя сделать однозначный вывод о возможности применения кремнийорганических теплоносителей в широком интервале температур с достаточным ресурсом работы.

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 теплоно-

сителя, тем выше скорость роста пузырей в слое жидкости на нижней крышке термосифона и эффективнее процесс охлаждения (поглощение и отвод теплоты).

Выбор теплоносителя для конкретных условий работы термосифона должен производиться на основе совместного учета ряда факторов, определяющих принципиальную работоспособность замкнутых двухфазных теплопередающих устройств в заданных условиях: высокие эксплуатационные качества (надежность, долговечность, безопасность), стоимость и доступность. Работоспособность замкнутых двухфазных теплопередающих устройств в конкретных условиях практического применения прежде всего зависит от термодинамических и теплофизических свойств промежуточного теплоносителя. Конкретные рекомендации следуют из совместного анализа термодинамических и теплофизических свойств рабочих жидкостей.

На сегодняшний день насчитываются десятки видов низкотемпературных теплоносителей – фреонов. Однако в промышленности используют несколько. Чаще всего используются R134a, R404a, R410a и R407c.

Сравним основные теплофизические свойства R134a, R410a R407c и выберем теплоноситель для экспериментального исследования (см. таблицу).

Основные характеристики теплоносителей

Температура, °С	Скрытая теплота парообразования r , кДж/кг	Плотность жидкого теплоносителя ρ_l , кг/м ³	Вязкость жидкого теплоносителя μ_l , кг/(м · с)	Плотность пара ρ_v , кг/м ³	Поверхностное натяжение σ , Н/м	Показатель адiabаты k	Газовая постоянная R , Дж/(кг · К)
R134a							
-30	2260,2	1418,4	0,000282	4,42	0,01607	1,24	81,5
-20	2194,0	1387,7	0,000236	6,79	0,01451		
-10	2127,4	1357,2	0,0002	10,07	0,01302		
0	2058,7	1326,4	0,000171	14,17	0,01158		
10	1986,4	1294,7	0,000149	19,74	0,01020		
20	1908,9	1261,4	0,000132	27,24	0,00886		
30	1824,6	1226,0	0,000118	37,20	0,00757		
R410a							
-30	2556,05	1277,6	0,000239	10,10	0,01356	1,55	114,5
-20	2476,61	1244,9	0,000211	14,48	0,01189		
-10	2388,28	1210,3	0,000187	20,47	0,01027		
0	2286,50	1172,9	0,000166	28,56	0,00870		
10	2166,65	1131,7	0,000147	39,40	0,00719		
20	2024,17	1085,9	0,00013	53,72	0,00575		
30	1854,46	1034,6	0,000113	72,51	0,00440		
R407c							
-30	2381,66	1340,2	0,000307	6,08	0,01556	1,33	96,7
-20	2318,09	1308,5	0,000269	9,05	0,01391		
-10	2243,80	1274,4	0,000237	13,15	0,01229		
0	2158,79	1238,0	0,000209	18,75	0,01072		

Температура, °С	Скрытая теплота парообразования r , кДж/кг	Плотность жидкого теплоносителя ρ , кг/м ³	Вязкость жидкого теплоносителя μ , кг/(м · с)	Плотность пара ρ_v , кг/м ³	Поверхностное натяжение σ , Н/м	Показатель адиабаты k	Газовая постоянная R , Дж/(кг · К)
10	2063,05	1199,2	0,000186	26,18	0,00919		
20	1956,60	1158,1	0,000164	35,80	0,00770		
30	1839,43	1114,5	0,000142	47,97	0,00625		

Проанализировав теплофизические свойства представленных фреонов и изучив данные исследований, в качестве теплоносителя для экспериментального исследования был выбран фреон R410a. Он представляет собой синтетический хладагент, принадлежащий к хлорным углеводородам. R410a представляет собой азеотроп (смесь) 1 : 1 двух других хладагентов – R32 и R125. В настоящее время R410a является предпочтительным хладагентом. В отличие от R407c (зеотропной смеси), фазовые изменения в азеотропной смеси происходят при постоянной температуре в процессе конденсации/испарения. R410a обладает повышенной холодопроизводительностью, что позволяет уменьшать габаритные размеры основных элементов теплообменного оборудования. Вместе с этим R410a характеризуется более высокими значениями рабочих давлений в гидравлическом цикле.

Литература

1. Безродный, М. К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика / М. К. Безродный, И. Л. Пиоро, Т. О. Костюк. – Киев : Факт, 2005. – 704 с.
2. API. – Режим доступа: <http://www.spc-hvac.co.uk>. – Дата доступа: 11.04.2023.

УДК 536.24

ТЕПЛОБМЕН В ЗАМКНУТЫХ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

О. А. Кныш

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

Научный руководитель А. В. Шаповалов

Рассмотрены способы интенсификации теплообмена путем модификации двухфазного термосифона. Разработана и запатентована конструкция пародинамического термосифона с организованной циркуляцией теплоносителя. Создана экспериментальная установка для исследования эффективности работы замкнутых двухфазных теплопередающих устройств. Экспериментально исследован процесс теплообмена в замкнутых теплопередающих устройствах, заправленных дистиллированной водой, этиловым спиртом и озонобезопасными хладагентами.

Ключевые слова: термосифон, интенсификация теплообмена, тепломассообмен, рекуперация.