

Температура, °С	Скрытая теплота парообразования $r$ , кДж/кг	Плотность жидкого теплоносителя $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Вязкость жидкого теплоносителя $\mu$ , кг/(м · с)	Плотность пара $\rho_v$ , кг/м <sup>3</sup>	Поверхностное натяжение $\sigma$ , 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.

## HEAT EXCHANGE IN CLOSED HEAT TRANSFER DEVICES OF LOW-POTENTIAL HEAT RECOVERY SYSTEMS

O. A. Knysh

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisor A. V. Shapovalov

*Methods of intensification of heat exchange by modification of a two-phase thermosiphon are considered. The design of a periodical thermosiphon with an organized circulation of the coolant has been developed and patented. An experimental installation has been created to study the efficiency of closed two-phase heat transfer devices. The process of temperature exchange in closed heat-transmitting devices filled with distilled water, ethyl alcohol and ozone-safe refrigerants was experimentally investigated.*

**Keywords:** thermosiphon, intensification of heat exchange, heat and mass transfer, recovery.

Для успешной работы современного энергетического оборудования важное значение имеет отвод теплоты от отдельных тепловыделяющих элементов и поверхностей.

Замкнутые двухфазные термосифоны многими авторами рассматриваются как достаточно перспективные, высокоэффективные, надежные теплопередающие, теплообменные устройства за счет автономности, конструкционной гибкости, простоты изготовления, отсутствия движущихся частей, высокой интенсивности внутренних процессов теплопереноса, отсутствия насосов для перекачки теплоносителя и др. В связи с этим актуальным является исследование возможности применения термосифонов как основного элемента системы охлаждения приборов, устройств и оборудования.

Известны различные методы интенсификации теплообмена.

Способы интенсификации теплообмена путем модификации теплообменных поверхностей:

– применение коммерческих интенсифицирующих поверхностей и авторских поверхностей, полученных механической обработкой;

– интенсификация кипения и испарения с помощью проволочных покрытий. Развитие данного метода в современных экспериментальных работах позволяет добиваться результатов, сопоставимых с применением специализированных коммерческих поверхностей кипения или авторских микроструктурированных поверхностей, полученных более сложными методами;

– применение оребрения, изменение шероховатости, влияние материала. Исследовалось кипение хладона R134a на гладкой и микроорберенной поверхностях в диапазоне давлений 6,1–12,2 бар (рис. 1).

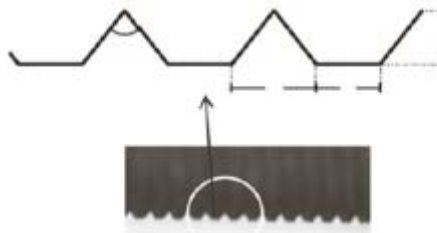


Рис. 1. Микроорберенная поверхность с канавками треугольной формы

Способы интенсификации теплообмена в стесненных условиях.

Экспериментально изучались теплогидродинамические характеристики при кипении воды R134a в мини-микроканалах с гидравлическим диаметром от 0,2 до 1 мм.

Процессы кипения хладагентов изучались в R134a, R410A и водовоздушных смесях в миниканалах с гидравлическим диаметром канала 1 мм.

На основании проведенного обзора существующих методов интенсификации теплообмена теплопередающих поверхностей были определены варианты модернизации экспериментальной установки, созданной на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого:

– в зоне конденсации выполнено наружное поперечное оребрение поверхности конденсатора (рис. 2, 3). Материал ребра – латунь, толщина – 15 мм. Количество ребер – 202, шаг оребрения – 2 мм, высота ребер – 16 мм;

– в зоне парообразования изменен кольцевой зазор за счет изменения диаметров внутренней трубки (материал трубки – медь, диаметр – 20 и 15 мм, длина – 1 м).

Посредством изменения ширины парового канала планируется увеличить теплообмен в зоне парообразования.



Рис. 2. Экспериментальный стенд



Рис. 3. Экспериментальный образец двухфазного замкнутого термосифона с улучшенными тепломассообменными характеристиками

На основании экспериментальных данных были проанализированы полученные термические сопротивления и использованы в подборе теплоутилизатора-нагревателя и теплоутилизатора-охладителя для центрального кондиционера ВЕРОСА-300, установленного в бизнес-центре «Славия» в Гомеле. Центральный кондиционер ВЕРОСА-300 установлен на бизнес-центр в качестве энергосберегающего мероприятия, направленного на уменьшение энергозатрат за счет рекуперации тепловой энергии вытяжного воздуха. Результаты расчетов приведены в таблице.

## Результаты расчета

Параметры	Результаты расчта
Тепловая мощность $Q_{i, \text{т.у}}$ , Гкал/ч	0,088
Общее количество сэкономленной тепловой энергии $\Delta Q$ , Гкал/год	57,44
Затраты электрической энергии $\Delta Э$ , тыс. кВт · ч	5,62
Экономия топлива в результате внедрения энергосберегающего мероприятия $\Delta B_m$ , т у. т.	8,72
Капиталовложения в мероприятие $\Delta K$ , руб.	25375
Статический срок окупаемости мероприятия $С_{\text{рок}}$ , лет	5,76
Динамический срок окупаемости мероприятия $T_{\text{ок.ст}}$ , лет	7,92

## Л и т е р а т у р а

1. Володин, В. С. Исследование эффективности утилизации теплоты в системах приточно-вытяжной вентиляции / В. С. Володин, С. В. Здитовецкая // Энергетика. – 2014. – № 2. – С. 91–96.
2. Васильев, Л. Л. Теплообменники на тепловых трубах / Л. Л. Васильев. – Минск : Наука и техника, 1981. – 143 с.
3. Практическое использование высокоэффективных двухфазных термосифонных устройств / А. В. Шаповалов [и др.] // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 3 (24). – С. 117–127.

УДК 658.261

**ТРИГЕНЕРАЦИОННАЯ ТУРБОУСТАНОВКА  
НА ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ СМЕСЕВЫХ ХЛАДАГЕНТАХ  
ПРИ ДОКРИТИЧЕСКИХ И СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ**

**Д. А. Волоткевич**

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

*Представлен расчет тригенерационной установки, работающей с однократным перегревом пара. Изучено влияние докритических и сверхкритических параметров на работу установки, работающей на органическом цикле Ренкина с НКРТ. Для исследуемой схемы построены циклы в P-h- и T-S-координатах. Изучено влияние критических параметров на коэффициент полезного действия тригенерационной установки. В качестве рабочего тела выбран фреон R410a. Данный хладагент служит альтернативой R22. Главным достоинством данного хладагента является высокая удельная холодопроизводительность. Данный хладагент имеет нулевой показатель разрушения озона ODP = 0. Потенциал глобального потепления HGWP = 0,45. Установлено, что с увеличением критического давления коэффициент полезного действия тригенерационной установки на органический цикл Ренкина значительно повышается.*

**Ключевые слова:** фреон, критическое давление, докритическое давление, цикл Ренкина, хладагент, вторичные энергетические ресурсы.