

УДК 536.423.4; 621.565.83

### Экспериментальная установка-теплообменник на основе двухфазного термосифона с модернизированной конденсационной поверхностью

Петерс А.Н., аспирант ТЭа-201, Темникова Е.Ю., доцент кафедры ТЭ, Богомолов А.Р., зав кафедрой ТЭ

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Тепловые трубы и их подвид – двухфазные термосифоны являются перспективным видом теплообменных аппаратов, выделяющихся простотой конструкции и автономностью работы. Основная особенность данного теплообменника, это перенос тепловой энергии рабочим веществом внутри тела термосифона (герметичной трубы с запаянными концами) без затрачивания электрической энергии или работы.

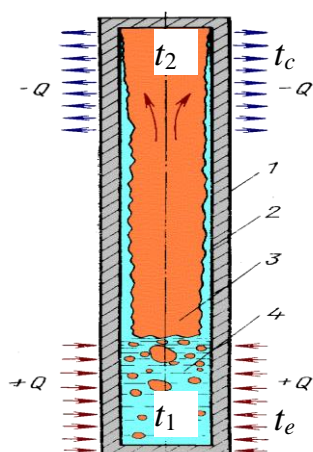


Рисунок 1 – Термосифон:  
1 – стенка; 2 – конденсат;  
3 – пар;  
4 – кипящая жидкость

Конструктивно теплообменник-термосифон – это герметично закрытый объем трубы, заполненный внутри специально подобранным легкокипящим рабочим веществом. Один конец трубы в горячем потоке нагревается, рабочее вещество в этом месте кипит и передает воспринятое тепло на другой конец трубы, обдуваемый холодным потоком. Здесь рабочее вещество внутри трубы конденсируется и передает тепло холодному потоку, который нагревается. В таких теплообменниках полностью исключены взаимное смешивание потоков, их загрязнение и передача запахов. Подвижных элементов нет, трубы в потоки помещают только вертикально либо под небольшим уклоном, чтобы рабочее вещество двигалось внутри труб от холодного конца к горячему за счет силы тяжести (рис. 1).

Данный вид теплообменников имеет множество факторов, влияющих на эффективность работы: Геометрия термосифона,

характеристики рабочего вещества, температурные условия охлаждаемой и охлаждающей среды и т.д.

Каждый фактор в меньшей или большей степени влияет на рабочие характеристики теплообменника. Ранее проведенные исследования показали [1], что правильная настройка параметров термосифона крайне важна для его работоспособности. Термосифон может эффективно работать в определенном диапазоне температур, которые зависят в первую очередь от рабочего вещества, а также от геометрических параметров термосифона и размеров испарительной и конденсационной части, относительно всего объема теплообменника. Ранее в [2] был сделан вывод, что «слабым местом» термосифона является конденсационная часть. Интенсивность

нагрева и испарения рабочего вещества выше, чем его конденсация. Это приводит к снижению тепловой мощности термосифона вследствие большего термического сопротивления в области конденсации теплообменника. В связи с этим в [3] рассмотрен вариант по увеличению площади поверхности конденсационной зоны за счёт нанесения оребрения на наружной поверхности трубки термосифона. Вследствие этого произошло увеличение количества отводимой тепловой энергии и интенсивности работы теплообменника.

В настоящее время рассматривают способы проработки условий, создающих капельную конденсацию на внутренней поверхности термосифона. Рабочее вещество при конденсации на внутренней стенке термосифона, должно интенсивно отводиться как под действием силы тяжести, так и за счет капиллярных сил в зону испарения для последующего нагрева и кипения. Таким образом осуществляется замкнутый цикл, осуществляющий тепло- массообменный перенос. При образовании конденсационной пленки рабочее вещество покрывает в условиях гидрофильности гладкую внутреннюю стенку термосифона. Стеkanie в данном случае пленки конденсата происходит только под действием сил тяготения. При капельной конденсации или устройстве микро оребренной (образование выступов и впадин определенной ориентации) гидрофильной поверхности коэффициент теплоотдачи значительно выше по сравнению с пленочной конденсацией на гладкой поверхности.

Для увеличения эффективности работы термосифона необходимо увеличить скорость образования капель. Сделать это можно несколькими способами, например, нанесением на внутреннюю стенку термосифона гидрофобного покрытия-лака или другого вещества, не вступающего в взаимодействие с рабочим веществом. Данный вариант отличается своей простотой, но его надёжность остаётся под вопросом, так как при работе термосифона, внутри трубки повышается температура и давление, что может просто разрушить гидрофобный слой. Наличие дополнительного вещества на стенке теплообменника увеличивает термическое сопротивление этой стенки, что приведёт к ухудшению работы теплообменника.

В альтернативе может служить замена материала термосифона на материал с необходимыми свойствами гидрофобности. В данном случае, стоит учитывать термическое сопротивление стенки  $\delta/\lambda$ , которое должно соответствовать наименьшему значению. В противном случае, термосифон будет ограничен по мощности теплопередачи.

Исходя из вышесказанного, полагаем, что необходимо вносить изменения в конструктивные и технологические элементы в термосифон в виде трубы. Согласно [4] такие изменения могут представляться в виде сферических углублений, либо в виде винтовой нарезки внутренней поверхности трубы. Именно этот способ модернизации конденсационной части теплообменника будет подвергнут исследованиям на рабочем участке экспериментальной установки.

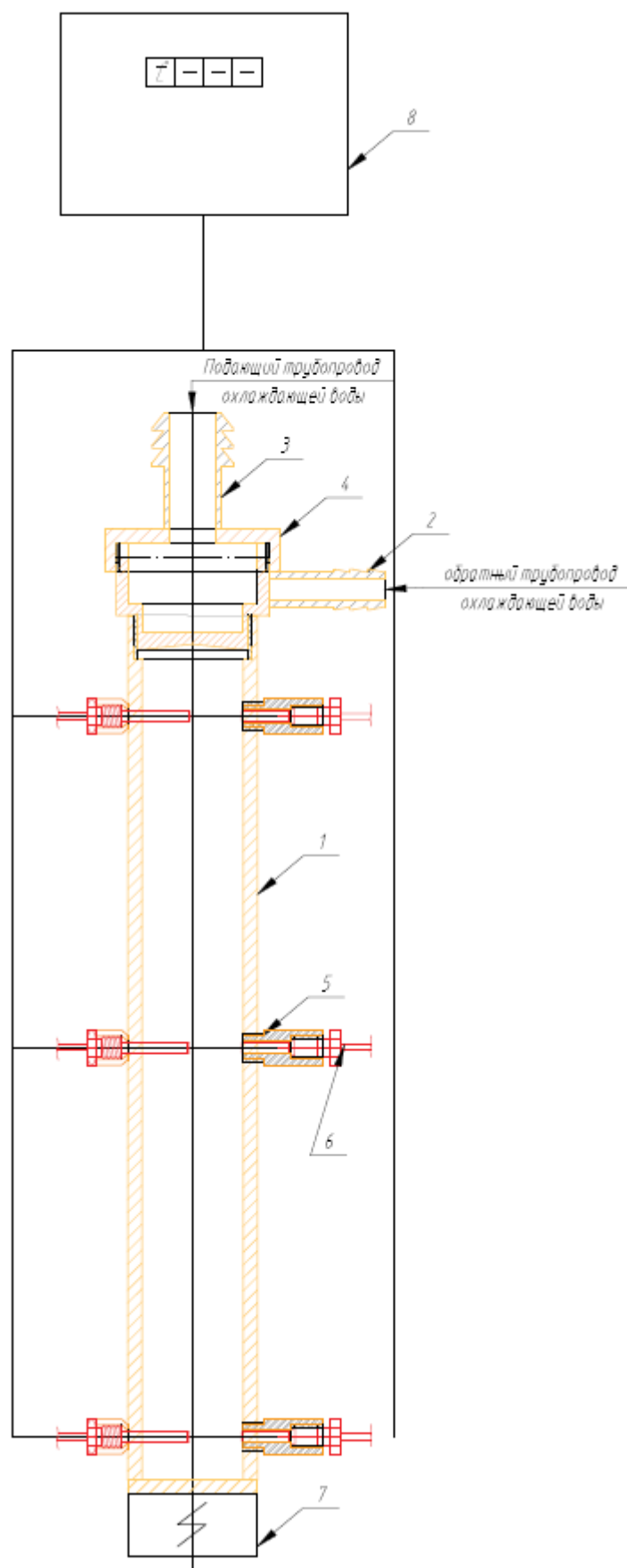


Рисунок 2 – Рабочий участок термосифона:  
 1 – корпус термосифона; 2 – патрубок охлаждающей воды;  
 3 – выход охлаждающей воды;

4 –охлаждающая камера; 5 –место установки термопар;  
6 – термопара; 7 – нагревательный элемент; 8 – измерительный комплекс.

Методика проведения эксперимента включает два этапа тестирования. Первый этап предназначен для исследования эффективности работы термосифона с гладкой внутренней стенкой. Внутренняя полость корпуса термосифона (1) заполняется рабочим веществом – водой или хладагентом на 30% от общего объёма, согласно [1]. В нижнем торце термосифона установлен нагревательный элемент в виде патронного ТЭНа, а к верхнему торцу на резьбовое соединение закреплена охлаждающая водяная камера с подачей и выходом охлаждающей воды через патрубки (2, 3). На патрубках измеряется температура входящей и выходящей воды, а также её расход. Подвод и отвод теплоты осуществляется через торцевые участки теплообменника. Термопары устанавливаются в тело термосифона таким образом, чтобы чувствительные элементы располагались на внутренней стенке и в центре термосифона, что позволит измерять температуры пара в центре и стекающего конденсата по стенке. После заполнения и герметизации внутренней полости теплообменника, подаётся электропитание на нагревательный элемент. При стабилизации процесса теплообмена производятся измерения температуры в точках расположения термопар и воды, а также ее расход. Производят изменение мощности нагрева.

Планом эксперимента предусмотрено изменение смачиваемости поверхности конденсации или профилирования для создания капиллярных структур, способствующих интенсификации теплообмена при конденсации пара с учетом отвода конденсата и уменьшение толщины пленки конденсата (снижение термического сопротивления пленки).

Наружная поверхность нижней части охлаждающей камеры имеет форму конуса для повышения интенсивности стекания (оттока) конденсата к стенкам термосифона и дальнейшей транспортировки в зону испарения.

Методика проведения измерения и обработка результатов остается прежними.

Ожидается, что наличие насечек или изменение свойств поверхности в зоне конденсации позволит увеличить эффективность конденсации и оттока теплоносителя в зону испарения, что создаст условия увеличить удельную тепловую мощность термосифона на единицу его площади теплопередачи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков К.Ю. Петерс А.Н. Зайцев А.П. Жданов А.В. Богомолов А.Р. Исследование зависимости температуры поверхности зоны конденсации от степени заполнения термосифонов рабочим веществом и температуры греющей среды // Сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием Россия молодая 2017г с. 21065
2. Петерс А.Н. Темникова Е.Ю. Богомолов А.Р. Направление исследований по интенсификации процессов переноса теплоты в термосифонах Безродный, М. К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика // Сборник материалов XIII всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая" апрель 2021г с. 21111.1-21111.5
3. Темникова Е.Ю. Григорьева Е.А. Петерс А.Н. Богомолов А.Р. Термосифонный теплообменник-утилизатор// Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции: «Энергетика и Энергосбережение: Теория и практика» декабрь 2018г, с. 172.1-172.4
4. А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов Москва 2011 с. 69-74.