

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.

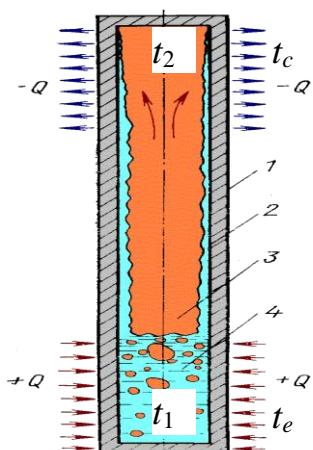


Рисунок 1 – Термосифон:
1 – стенка; 2 – конденсат;
3 – пар;
4 – кипящая жидкость

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

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

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 горячemu за счет силы тяжести (рис. 1).

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

нагрева и испарения рабочего вещества выше, чем его конденсация. Это приводит к снижению тепловой мощности термосифона вследствие большого 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 трубы 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. Стекание в данном случае пленки конденсата происходит только под действием сил тяготения. При капельной конденсации или устройстве микро оребренои (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 трубы 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 δ/λ , 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.

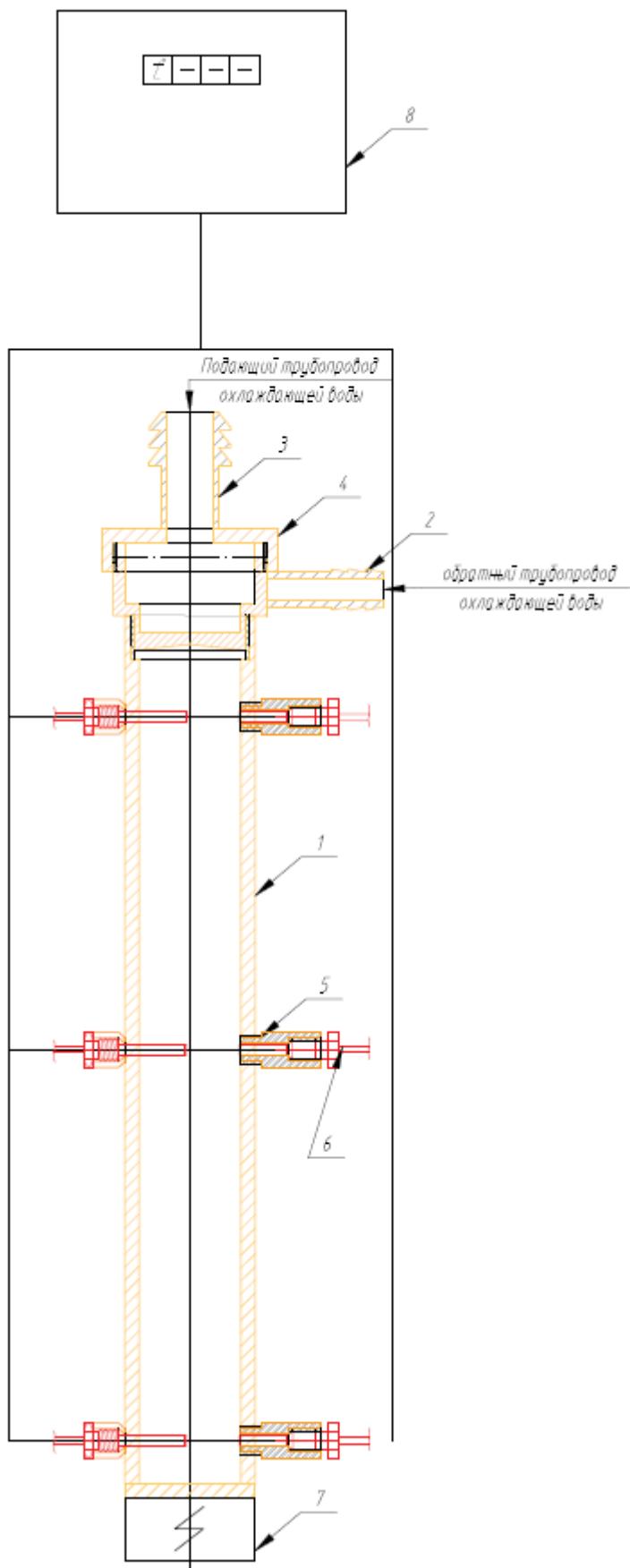


Рисунок 2 – Рабочий участок термосифона:

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 объема, 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 замеряется температура входящей и выходящей воды, а также её расход. Подвод и отвод теплоты осуществляется через торцевые участок 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-utiлизатор// 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.