

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОННЫХ УСТРОЙСТВ

А.В. Шаповалов, Н.М. Кидун, Т.Н. Никулина, П.А. Адаменко

УО «Гомельский государственный технический университет им.
П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В статье авторы предлагают варианты применения теплообменных аппаратов с термосифонами на ТЭЦ и в котельных. В последнее время, многие иностранные компании начали разрабатывать свои теплообменники с использованием замкнутых двухфазных теплопередающих устройств, термосифонов. В теплообменниках, изготовленных на базе термосифонов, достигается передача больших тепловых потоков, так как скрытая теплота парообразования теплоносителя, направленного в устройство, велика, и даже при малой разности температур между концами теплообменного аппарата он может передавать значительное количество теплоты. Несмотря на простоту идеи, исполнение теплообменников может быть крайне разнообразным и зависит от условий применения, используемых сред и других факторов. При определенных условиях теплообменный аппарат с термосифонами можно использовать вместо привычных теплообменников, так как они будут обладать некоторыми преимуществами.

В статье рассматриваются схемы использования теплообменных аппаратов с термосифонами в качестве масло- и воздухоохладителя газотурбинной установки и двухступенчатого воздухоподогревателя. Анализ описанных схем показывает, что их применение позволяет решать проблему загрязнения окружающей среды, повышает надежность работы газотурбинной установки, упрощенная конструкция устройства позволяет сократить эксплуатационные расходы а так же дает возможность использования низкопотенциального тепла.

Ключевые слова: термосифон, теплообменник, маслоохладитель, охлаждение воздуха, компрессор, газотурбинная установка.

Введение. Утилизация тепла с помощью тепловых труб и термосифонов представляет определенный интерес. Некоторые иностранные компании начали разрабатывать свои теплообменники с использованием замкнутых двухфазных теплопередающих устройств, термосифонов. Термосифоны — герметично запаянные трубки с теплоносителем внутри, который закипает у нагретой поверхности трубки и конденсируется у охлажденной. Одной из таких компаний является итальянская компания Cominter, которая производит фреоновые рекуперативные теплообменники (RCD) — аппараты, разделенные на две части, через одну из которых осуществляется вход воздуха, через другую — выход. [1]

В теплообменниках, изготовленных на базе термосифонов, достигается передача больших тепловых потоков, так как скрытая теплота парообразования теплоносителя, заправленного в устройство, велика, и даже при малой разности температур между концами теплообменного аппарата он может передавать значительное количество теплоты. Несмотря на простоту идеи, исполнение теплообменников может быть крайне разнообразным и зависит от условий применения, используемых сред и других факторов.

При определенных условиях теплообменный аппарат с термосифонами можно использовать вместо кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменников, так как они обладают следующими преимуществами:

- 1) высокий коэффициент теплоотдачи с внутренней поверхности термосифона (за счет фазовых переходов теплоносителя в термосифоне) и высокий коэффициент теплопередачи от испарителя к конденсатору устройства.

- 2) способность быстро выходить на рабочий режим.

- 3) термосифон способен работать при малом градиенте температур.

Основная часть. Одной из возможных областей применения теплообменных аппаратов с термосифонами является использование их в качестве маслоохладителей газотурбинной установки. На тепловых электростанциях кроме тепловых загрязнений, серьезной проблемой является загрязнение воды, почвы, воздушного бассейна нефте- и нефтепродуктами. В связи с этим требуется разработка и исследование устройств для охлаждения масла в турбоустановках. Такие устройства должны обеспечивать высокие теплотехнические показатели и исключать загрязнения водного бассейна нефте- и нефтепродуктами, а также попадание воды в масло. Присутствие воды в масле будет резко ухудшать его характеристики и тем самым создавать опасность возникновения чрезвычайных ситуаций. Поэтому согласно правилам техники безопасности давление масла в системе

должно превышать давление охлаждающей воды [2].

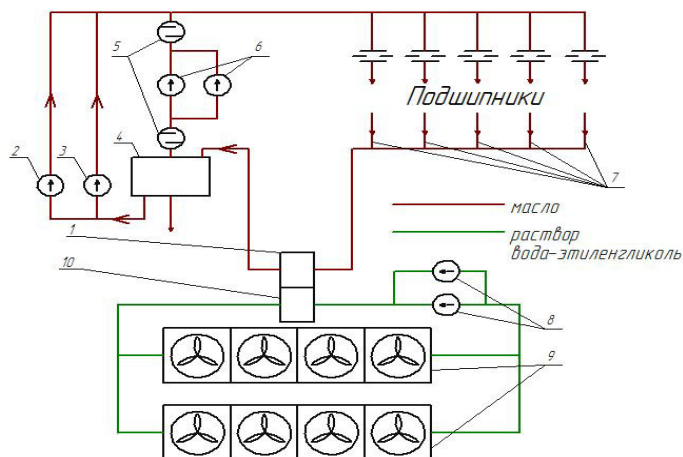
На Гомельской ТЭЦ-1 филиала «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго» после реконструкции установлена газотурбинная установка мощностью 25 МВт производства Mitsubishi Hitachi Power Systems. Рассмотрим применение теплообменного аппарата на основе термосифона в качестве маслоохладителя газотурбинной установки.

Смазочное масло в турбоагрегатах используется для смазки подшипников турбин, агрегатов, подшипников редуктора и боковых подшипников. Некоторое количество смазочного масла передается в систему управления и управляющее устройство.

Температура слива масла с подшипников турбины составляет 60-70°C, а температура слива масла из редуктора составляет 75-80°C, что позволяет использовать в теплообменных аппаратах с термосифонами в качестве внутреннего теплоносителя не только фреон, но и дистиллированную воду при создании достаточного уровня разрежения при заправке термосифона.

В качестве охлаждающей среды, поступающей на конденсатор теплообменника с термосифонами, можно использовать 50% раствор вода-этиленгликоль, который затем подается на «сухие» вентиляторные градирни для охлаждения. Добавление этиленгликоля в охлаждающую среду позволяет избежать возникновения ледяных пробок в зимнее время в наружных циркуляционных трубопроводах контура охлаждения турбины. А принимая во внимание, что использование вентиляторных градирен позволяет создать замкнутую систему без доступа атмосферного воздуха, при добавлении ингибиторов коррозии при первичной заправке системы, это позволит значительно снизить коррозионную активность и продлить срок службы оборудования.

Возможная схема применения маслоохладителя газовой турбины с термосифонами приведена на рисунке 1.



1 – испаритель маслоохладителя с термосифонами; 2 – вспомогательный масляный насос; 3 – аварийный масляный насос; 4 – маслобак газовой турбины; 5 – масляные фильтры; 6 – масляные насосы; 7 – сливы масла с подшипников газовой турбины и из редуктора; 8 – насосы контуров градирен ГТУ; 9 – градирни контура ГТУ; 10 – конденсатор маслоохладителя с термосифонами.

Рисунок 1 – Схема маслоохладителя газовой турбины – теплообменника с термосифонами

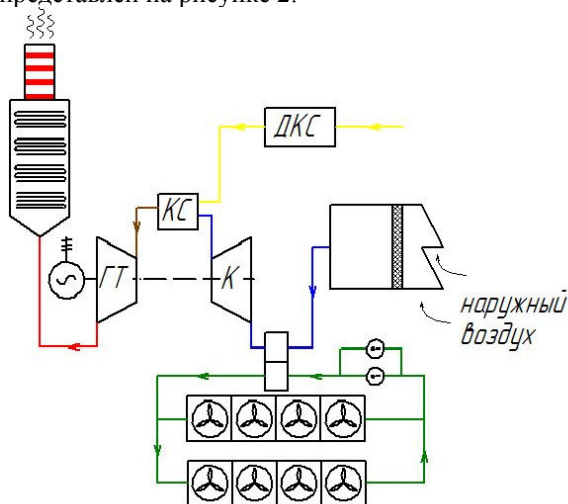
Предлагаемая схема охлаждения на основе теплообменника с термосифонами исключает попадание нефтепродуктов в источник водоснабжения, а охлаждающей жидкости – в систему маслоснабжения. При этом будет сохраняться высокий коэффициент теплоотдачи со стороны хладоносителя (раствора вода-этиленгликоль) и увеличиваться со стороны теплоносителя (масла). Равномерность температурного поля испарителя термосифонного элемента позволит стабилизировать температуру масла, и при этом будет сокращаться объем оборотного хладоносителя. Техническое решение данной конструкции обеспечивает простоту, надежность, ее унификацию.

Испаритель термосифона активно отбирает тепло горячего масла и по транспортной зоне передает его в конденсационную часть, где происходит передача теплоты охлаждающему раствору вода-этиленгликоль. Раствор направляется на сухие вентиляторные градирни для охлаждения, а в общем случае тепло, переданное воде, может утилизироваться.

Таким образом, представленная схема позволяет решать

проблему загрязнения окружающей среды вследствие очистки водного бассейна и почвы от загрязнения маслопродуктами, а также использования низкопотенциального тепла.

Еще один пример использования теплообменных аппаратов с термосифонами представлен на рисунке 2.



ГТ – газовая турбина, КС – камера сгорания, К – компрессор,
ДКС – дожимная компрессорная станция

Рисунок 2 – Схема воздухоохлаждителя газовой турбины с термосифонами

При снижении температуры воздуха, поступающего на всас компрессора ГТУ, увеличивается плотность воздуха и затрачивается меньше энергии на его сжатие. Так как ГТУ имеет одновальное исполнение, то есть компрессор, и генератор ГТУ установлены на одном валу, повышается выработка электроэнергии генератором. При повышении температуры воздуха на всасывании в ГТУ вырабатываемая электрическая мощность снижается, а объем потребления топлива повышается.

Существуют различные технические схемы охлаждения воздуха, поступающего в газовую турбину, одной из которых может являться схема применения теплообменных аппаратов с термосифонами.

Для решения проблемы снижения вырабатываемой ГТУ электрической мощности при повышенных температурах наружного воздуха, предлагается установить теплообменник, который служит для

охлаждения приточного воздуха на входе в ГТУ до $+15 - +20^{\circ}\text{C}$.

Применение классических кожухотрубчатых или пластинчатых теплообменников не так эффективно, так как температурный напор между теплоносителями невысок.

Наружный воздух поступает на компрессор газотурбинной установки через комплексную воздухоочистительную установку, в которой установлен блок входных фильтров. После воздух подается на испаритель теплообменного аппарата с термосифонами, в котором за счет испарения внутреннего теплоносителя (фреона) в термосифонах охлаждается. Охлажденный воздух поступает на всас компрессора ГТУ, где происходит сжатие воздуха перед подачей его в камеру сгорания. Конденсатор воздухоохладителя может охлаждаться при использовании циркуляционного контура раствора вода-этиленгликоль и вентиляторных градирен.

Необходимо учитывать, что любое дополнительное сопротивление на входе воздуха в ГТУ негативно сказывается на основных показателях работы установки. При охлаждении воздуха в теплообменнике при определенных условиях может образовываться конденсат, для предотвращения уноса конденсата в турбину необходимо предусмотреть каплеуловитель.

На рисунках 3 и 4 приведены графики зависимости электрической и тепловой мощности ГТУ от температуры воздуха, на входе в ГТУ.

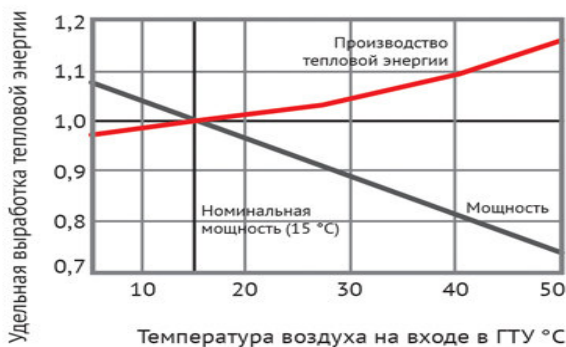


Рисунок 3 – Изменение электрической и тепловой мощности газовой турбины в зависимости от температуры воздуха на входе

Рассмотрим схему применения двухступенчатого воздухоподогревателя, в современных котельных агрегатах. Воздухоподогреватель состоит из двух секций: обычного трубчатого рекуператора и теплообменника, с двухфазными термосифонами.

Воздухоподогреватель с термосифонами обеспечивает предварительный подогрев воздуха и защиту основного трубчатого воздухоподогревателя от низкотемпературной коррозии.

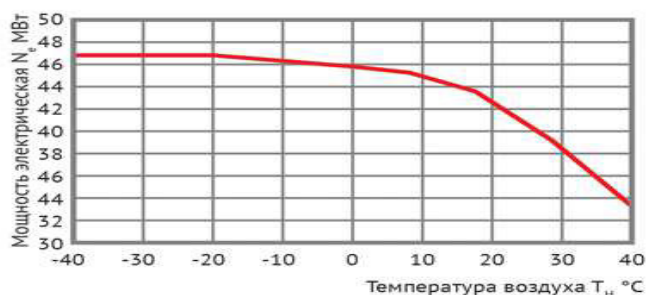
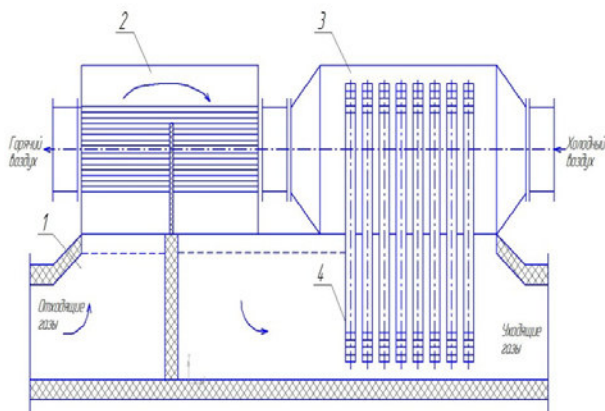


Рисунок 4 – Пример зависимости мощности ГТУ от температуры наружного воздуха

В данной конструкции обеспечивается развитая поверхность теплообмена за счет возможности оребрения труб, как со стороны отходящих газов, так и со стороны воздуха, а также удобная компоновка воздухоподогревателя в хвостовой части конвективной шахты с ранее неиспользуемой теплотой отходящих газов.



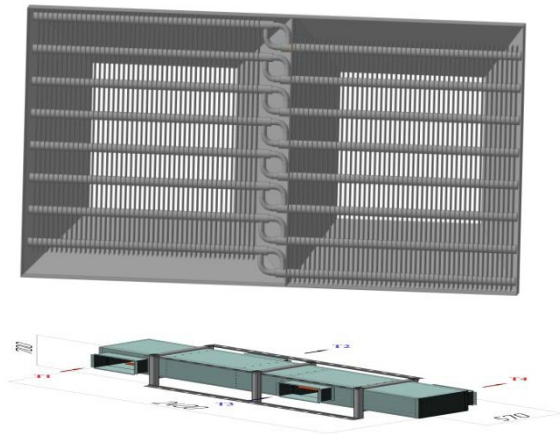
1 — конвективная шахта; 2 — трубчатый рекуператор; 3 — теплообменник на двухфазных термосифонах; 4 — термосифон

Рисунок 5 – Схема двухступенчатого воздухоподогревателя [3]

Возможны следующие схемы утилизации тепла с помощью рекуператоров с термосифонами:

1. Греющая среда – воздух, нагреваемая среда – воздух (рисунок 6).

Такая схема может быть применена в системах вентиляции воздуха, где с помощью вытяжного воздуха можно подогреть приточный воздух. Также, в качестве нагреваемой среды могут выступать дымовые газы. Для увеличения поверхности теплообмена участки термосифонов в зонах испарения и конденсации должны быть оребрены.



T1 – вход греющего теплоносителя; T2 – выход греющего теплоносителя; T3 – вход нагреваемого теплоносителя; T4 – выход нагреваемого теплоносителя

Рисунок 6 – Рекуператор со схемой работы «воздух»-«воздух» (предназначен для установки в системах вентиляции)

2. Греющая среда – воздух, нагреваемая среда – жидкость.

Данная схема может быть реализована в случае, если необходимо подогреть небольшое количество жидкости по сравнению с объемом выбрасываемых газов. Либо в случае, когда жидкость выступает в качестве аккумулятора тепла.

3. Греющая среда – жидкость, нагреваемая среда – жидкость (рисунок 7).

Может быть реализована, когда в качестве нагреваемой среды используются сточные воды, либо жидкость после технологических процессов, а нагреваемая жидкость – в качестве низкопотенциального источника обогрева.

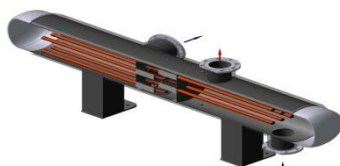


Рисунок 7 – Рекуператор со схемой работы «жидкость»-«жидкость»

4. Греющая среда – жидкость, нагреваемая среда – воздух.

Такая схема возможна, но трудно реализуема. Примером может служить утилизация тепла сточных вод для дальнейшего нагрева воздуха, подаваемого на сгорание топлива.

Некоторые примеры теплообменных аппаратов представлены в работе [4].

Выводы.

1. Использование теплообменников на основе высокоэффективных замкнутых двухфазных теплопередающих устройств позволит снизить затраты энергии для привода компрессора в газотурбинной установке, обеспечить защиту основного трубчатого воздухоподогревателя котлоагрегата от низкотемпературной коррозии.

2. С технической точки зрения, такие установки можно оценить как надежные устройства, которые легко очищать от загрязнений в условиях производства. Упрощение конструкции устройства (нет сложных элементов), позволит сократить эксплуатационные расходы, а, следовательно, повысится надежность и срок службы теплообменного аппарата

Список использованных источников:

1. Cominter//[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.comintersrl.com>. – Дата доступа: 08.06.2019.
2. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. - М.: МЭИ, 2002 – 540 с.
3. 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.
4. Васильев Л.Л., Журавлёв А.С., Шаповалов А.В., Родин А.В. Использование теплообменников на тепловых трубах для кондиционирования, в области пищевой промышленности и холодильной техники // Весці НАН Беларусі. Сер. фізіка-тэхнічных навук. 2014. N 3. – С. 85–90.
5. Чи С. Тепловая труба: Теория и практика / С. Чи // пер. с

англ. В.Я. Сидорова – М.: Машиностроение, 1981 – 207 с.

6. Родин, А.В. Экспериментальный стенд для получения характеристик пародинамического термосифона / А.В. Родин // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 24-25 апр. 2014 г. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2013. – с.204-207

А.В. Шаповалов, к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», a_v_shapovalov@gstu.by

Н.М. Кидун, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», nkidun@ya.ru

Т.Н. Никулина, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», aqua-tn@tut.by

П.А. Адаменко, магистрант, Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», pauladams@bk.ru

PRACTICAL USE OF HIGH-PERFORMANCE TWO-PHASE TERMOSIPHON DEVICES

A.V. Shapovalov, N.M. Kidun, T.N. Nikulina, P.A. Adamenko,

Abstract. In the article, the authors offer options for the use of heat exchangers with thermosiphons in electric power plants and in boiler stations. Recently, many foreign companies have begun to develop their heat exchangers using closed two-phase heat transfer devices, thermosiphons. In heat exchangers made on the basis of thermosiphons, the transfer of large heat flows is achieved, since the latent heat of vaporization of the coolant tucked into the device is large, and even with a small temperature difference between the ends of the heat exchanger, it can transfer a significant amount of heat. Despite the simplicity of the idea, the design of heat exchangers can be extremely diverse and depends on the conditions of application, the media used and other factors. Under certain conditions, the heat exchanger with thermosiphons can be used instead of the usual heat exchangers, as they will have some advantages.

The schemes of using such heat exchangers as oil coolers and air coolers of a gas turbine installation are considered. Analysis of the described schemes shows that their use allows to solve the problem of environmental pollution, increases the reliability of the gas turbine installation, the simplified design of the device reduces operating costs and also allows the use of low-grade heat.

Key words: thermosphone, heat exchanger, oil cooling, compressor, gas turbine unit.

A.V.Shapovalov, ph.d., assistant professor of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, a_v_shapovalov@gstu.by

N.M. Kidun, senior teacher of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, nkidun@ya.ru

T.N. Nikulina, senior teacher of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, aqua-tn@tut.by

P.A. Adamenko, Master of Arts, the Republic of Belarus, Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, pauladams@bk.ru