

УДК 536.422

ТЕРМОСИФОНЫ И ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ В СИСТЕМАХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

**Л. Л. ВАСИЛЬЕВ¹, А. С. ЖУРАВЛЕВ¹, А. В. ШАПОВАЛОВ²,
А. В. РОДИН², В. А. ОЛЕХНОВИЧ¹, Л. А. ДРАГУН¹,
А. А. АРТЮХ¹, В. С. ЛАПКО¹, Н. М. КИДУН²**

¹*Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова
НАН Беларуси, г. Минск*

²*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: термосифон, тепловая труба, низкопотенциальные источники тепла, энергосберегающая технология.

Введение

Одним из путей снижения потребления ископаемых топливных ресурсов является активизация усилий в области освоения возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов. Важно отметить, что технологии использования низкопотенциальных источников тепла являются не только энергоэффективными, но и экологически безопасными. Их развитие позволяет снижать негативные воздействия на экологию: выделение парниковых газов, выбросы золы, оксидов серы и других вредных веществ, образование отходов, нарушение пластов земной коры, изменение климата.

В системах утилизации тепла возобновляемых источников и вторичных энергоресурсов (водные бассейны, грунт, грунтовые воды, отработавшая вода и пар промышленных производств и т. д.) могут успешно применяться тепловые трубы (ТТ) и термосифоны (ТС) – автономные устройства с испарительно-конденсационным циклом, проводники тепла с более высокой теплопередающей способностью, чем у самых теплопроводных металлов. Достоинства ТТ заключаются в том, что они эффективны, просты в эксплуатации, для их работы не требуется затрат энергии, технического обслуживания. Создание систем на основе таких устройств для энергосберегающих технологий является актуальной задачей, проводятся исследовательские и инженерные работы в этом направлении в Республике Беларусь [1]–[4] и других государствах [5]–[8]. Целью данной работы является краткое описание возможности использования ТТ и ТС для утилизации возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов.

Тепловые трубы и термосифоны – эффективные проводники тепла

Тепловая труба представляет собой герметичный корпус, на внутренней поверхности которого располагается фитиль, насыщенный жидкостью, а центральная часть ТТ – канал для транспортировки пара. Функционально ТТ разделена на три зоны: испаритель, транспортная (адиабатическая) зона и конденсатор. К испарителю подводится тепло, рабочая жидкость испаряется, передача тепла из испарителя в конденсатор осуществляется путем переноса скрытой теплоты парообразования с массой пара. В конденсаторе происходит обратный фазовый переход с выделением

тепла. Жидкость возвращается в зону испарения по микроканалам фитиля под действием капиллярных сил.

Тепловые трубы обладают эффективной теплопроводностью 5000–10000 Вт/(К·м), они способны обеспечить интенсивный отвод тепла от охлаждаемого объекта и передачу его к радиатору, при этом перепад температур между зонами подвода и сброса тепла будет минимальным. Разновидностью ТТ является ТС. В ТС отсутствует пористый фитиль, конденсат возвращается в испаритель под действием сил гравитации, поэтому испаритель должен располагаться ниже конденсатора.

Особым видом термосифона является пародинамический термосифон (ПДТ), созданный в Институте тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. Особенностью ПДТ является наличие конденсатора с двухфазным потоком рабочего вещества внутри него (рис. 1). Движущийся пар и двухфазное течение рабочей жидкости пространственно разделены (теплообменник «труба в трубе»), что позволяет избежать типичного для конвективных термосифонов негативного взаимодействия между противоположно направленными потоками пара и жидкости. Конденсирующаяся жидкость проталкивается из конденсатора в испаритель паром, в этом заключается принципиальное отличие ПДТ от других ТС и ТТ. Пародинамические термосифоны предназначены для передачи теплового потока в горизонтальном направлении на большие (десятки метров) расстояния, в то время как обычный ТС не способен функционировать в горизонтальном положении. Подробно устройство и принцип работы ПДТ описаны в [9], [10].

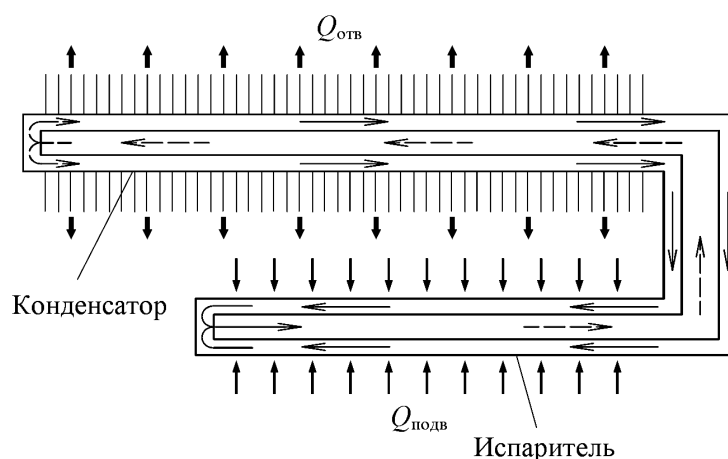


Рис. 1. Пародинамический термосифон:
 Q – тепловой поток; \dashrightarrow – пар; \longrightarrow – жидкость

Пародинамические термосифоны обладают высокой теплопередающей способностью (десятки киловатт), обеспечивают возможность разнообразного конструктивного исполнения с большой длиной (несколько десятков метров) зоны теплоотдачи, в том числе в виде изогнутых, гибких либо сборных элементов. Используя принцип передачи тепла, реализуемый в ПДТ, можно создавать оборудование для нагрева и охлаждения воздуха, грунта и дорожного покрытия (асфальта, бетонных плит), для предотвращения обледенения либо осуществления таяния снега и образовавшегося льда на крышах зданий, стоянках автомобилей и т. д. Такие устройства могут найти применение для обогрева железнодорожных стрелочных переводов с целью оттаивания снега и борьбы с обледенением стрелок.

В условиях мороза в зимний период снег и лед могут препятствовать переводу стрелки в нужное положение. Управление подавляющим большинством стрелочных

переводов дистанционное, с помощью электропривода, и при неприлегании остряка стрелки к рамному рельсу произойдет повышение величины тока через обмотки электродвигателя стрелочного электропривода, что может привести к перегоранию предохранителя или сгоранию двигателя и в итоге к невозможности перевода стрелки с пульта управления. В качестве источника энергии системы борьбы со льдом могут быть использованы электрические нагреватели либо миниатюрные газовые горелки закрытого типа, а при комбинации с тепловыми насосами – тепло подпочвенного грунта, водоемов, грунтовых, сточных и технологических вод, воздуха. Специалистами фирмы TripleS-GmbH (Германия) созданы системы геотермального обогрева стрелочных переводов рельсовых систем, пассажирских платформ, пешеходных переходов и т. д. Данное оборудование эксплуатируется в Германии, Чехии, Венгрии, системой TripleS оснащены два стрелочных перевода на станции Октябрьской железной дороги в России [11], [12]. Одним из главных компонентов системы является теплообменник, прикрепляемый к рельсу и передающий ему тепло от теплового насоса. В качестве такого теплообменника может использоваться ПДТ, обладающий высокой эффективной теплопроводностью и, следовательно, способный передавать тепло с минимальными потерями.

Устройство для обогрева стрелок железнодорожных путей с ПДТ в качестве базового элемента (рис. 2) было разработано и испытано в реальных условиях. Результаты показали, что ПДТ могут успешно использоваться в качестве системы терморегулирования для таяния снега. При температуре окружающей среды минус 7–10 °С, интенсивности снегопада 100–150 мм и скорости ветра 5–10 м/с пародинамический обогреватель обеспечивает полное оттаивание снега между элементами механизма стрелки в течение одного часа.

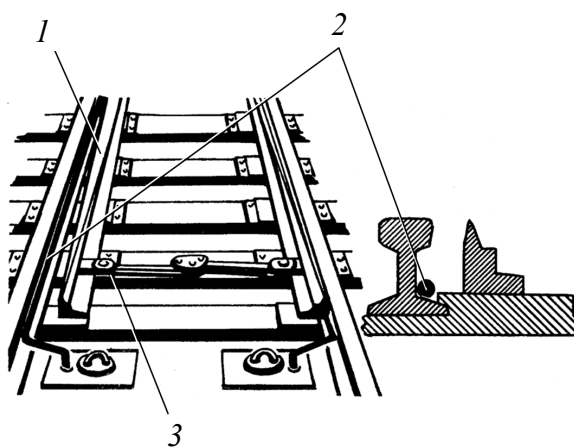


Рис. 2. Пародинамический термосифон для обогрева железнодорожных стрелочных переводов:
1 – остряк стрелки; 2 – конденсатор пародинамического термосифона;
3 – механизм перевода стрелки

Извлечение тепла из глубинных земных слоев на поверхность к трансформирующим тепло аппаратам может осуществляться с помощью длиномерных ГТ и ТС, способных передавать тепло с минимальными потерями из глубины в несколько десятков метров. Корпус таких проводников тепла изготавливается из нержавеющей стали, в качестве рабочей жидкости применяются пропан и пропилен.

Тепловые трубы и термосифоны в системах утилизации солнечной энергии

Одним из основных возобновляемых источников энергии является солнечное излучение, которое может быть использовано для получения тепла и холода либо пря-

мого преобразования в электрическую энергию. Учитывая невысокую плотность солнечного излучения, для повышения эффективности его использования элементы, воспринимающие падающую радиацию, должны иметь большую площадь поверхности либо необходимо применять специальные фокусирующие устройства – концентраторы излучения. В электрическую энергию преобразуется лишь небольшая часть падающей солнечной энергии (обычно менее 20 %), остальная ее часть увеличивает температуру фотоэлемента и снижает его эксплуатационные характеристики, поэтому фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) нуждаются в охлаждении. Эффективным средством для охлаждения кремниевых PV панелей являются ПДТ в сочетании с алюминиевой паровой камерой в качестве подложки. На рис. 3 показана схема ПДТ, разработанного и исследованного в Гомельском государственном техническом университете имени П. О. Сухого. Пародинамические термосифоны в сочетании с алюминиевой паровой камерой в качестве подложки к PV и PVT панелям являются перспективным устройством для охлаждения фотоэлектрических панелей. Такие теплообменники существенно повышают эффективность использования солнечных PV панелей, поскольку дают возможность интенсивно охлаждать покрытия из кристаллического кремния, обеспечивать их изотермичность и поддерживать температуру, близкую к температуре окружающей среды, при их интенсивном солнечном облучении, сбрасывая тепло в воздух с тыльной стороны коллекторов (конденсаторы ПДТ).

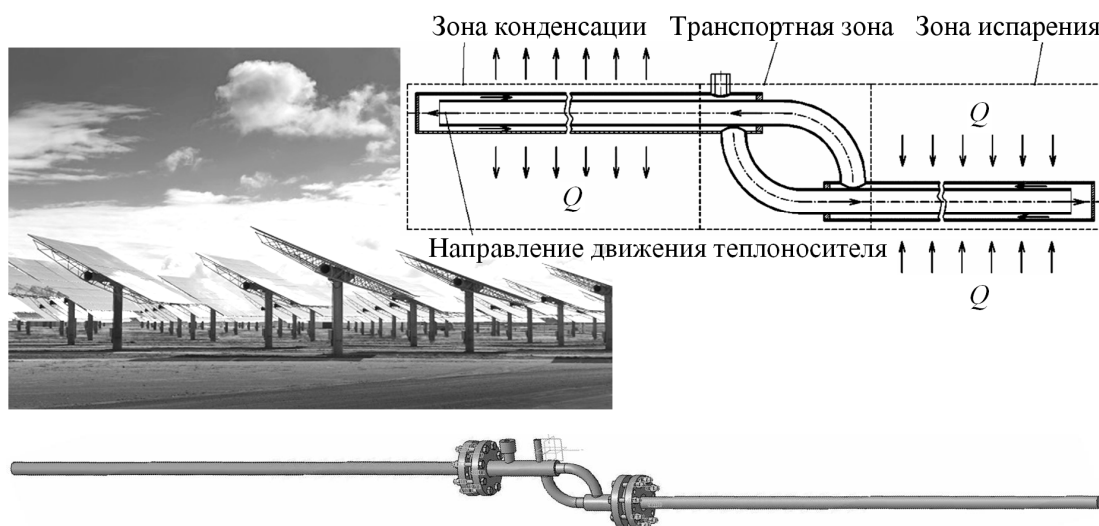


Рис. 3. PVT солнечные коллекторы и пародинамические термосифоны для обеспечения оптимальных тепловых режимов их работы

В случае применения концентраторов солнечного излучения плотность тепловой нагрузки на ФЭП значительно возрастает, в результате не только падает эффективность фотопреобразования, но и возникает угроза выхода ФЭП из строя. В данных установках интенсивный отвод тепла может быть обеспечен обычным гравитационным ТС с развитой оребренной поверхностью конденсатора (рис. 4). Такие теплоотводы были разработаны в Институте тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси и успешно прошли испытания в составе следящей гелиоустановки на полигоне в Армении. Термосифоны изготавливались из алюминиевого сплава. Испаритель ТС являлся теплоприемным блоком в форме усеченного конуса, сужающегося от торца к паровому каналу. К торцевой площадке с применением теплопроводной пасты крепился ФЭП с обеспечением минимального контактного термического сопротивле-

ния. Воспринимаемое от солнца тепло отводилось в конденсатор и сбрасывалось в окружающий воздух через ребра радиатора.

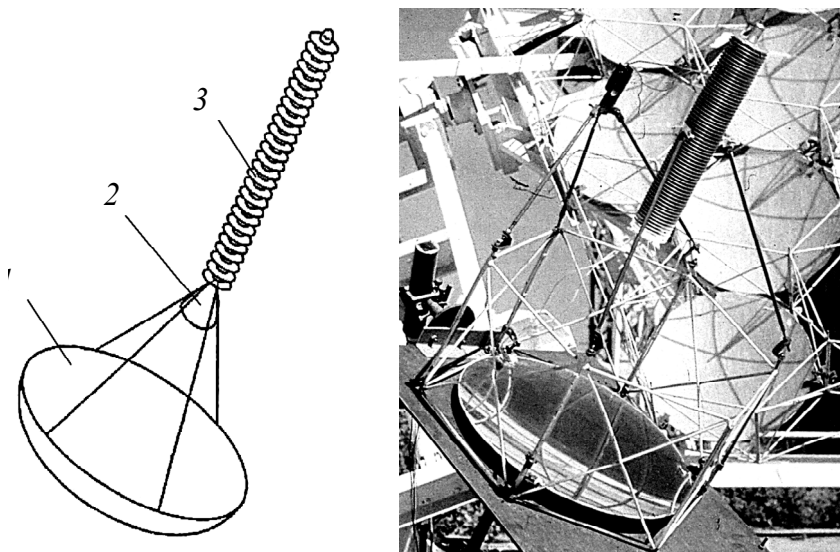


Рис. 4. Охлаждения фотоэлектрического преобразователя с помощью термосифона при использовании концентратора солнечного излучения: 1 – отражающий параболический концентратор; 2 – теплоприемный блок (испаритель) с закрепленным на нем фотоэлектрическим преобразователем; 3 – радиатор конденсатора

Пародинамические термосифоны могут быть выполнены с объемным либо удлиненным испарителем. Устройства с протяженным испарителем целесообразно применять в случаях с рассредоточенным источником тепла. Такие ПДТ удобно монтировать, например, для организации теплообмена в адсорберах теплового насоса или холодильника на твердых сорбентах с приводом от альтернативных источников энергии. Пародинамические термосифоны с двумя конденсаторами обеспечивают трансформацию постоянного теплового потока, подводимого к испарителю, в циклически изменяющиеся тепловые потоки, которые отводятся от конденсаторов. На рис. 5 показана схема расположения ПДТ внутри адсорберов солнечного холодильника. Периодическое включение и выключение конденсаторов осуществляется путем передачи электрических сигналов на клапаны по заданной программе. Конденсаторы ТС размещены вдоль оси цилиндрических адсорберов и нагревают сорбент от солнечного излучения. Длина конденсаторов – 1 м, термическое сопротивление термосифона $R = 0,05$ К/Вт. Подобный ТС был использован в прошедшем эксплуатационные испытания в Индии адсорбционном солнечном холодильнике для организации поочередной десорбции хладагента в двух адсорберах.

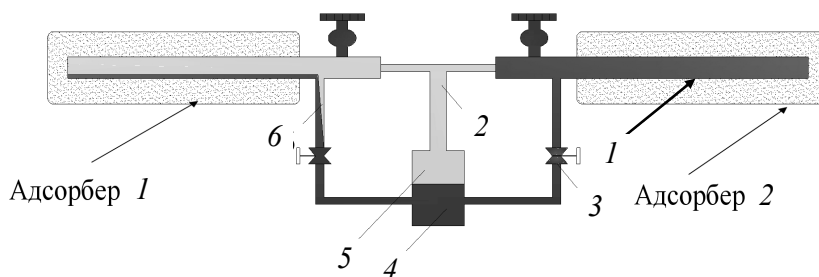


Рис. 5. Система терморегулирования солнечного холодильника на твердых сорбентах с использованием пародинамических термосифонов: 1 – конденсаторы пародинамических термосифонов; 2 – паровая трубка; 3 – вентили; 4, 5 – жидкость и пар в испарителе пародинамических термосифонов; 6 – жидкостная трубка

Потребителями адсорбционных солнечных холодильников могут быть сельское хозяйство (охлаждение молока в молочных фермах) и жилищно-коммунальный сектор (системы кондиционирования в летнее время, особенно в регионах с большим количеством солнечных дней в году).

Использование тепла из других источников

С помощью ТТ можно также утилизировать низкопотенциальную энергию грунта, биомассы, водных бассейнов и использовать ее для обогрева жилых и хозяйственных помещений. Дополнительные возможности появляются при создании комбинированного оборудования, в котором в единую систему объединены тепловые насосы и ТТ. Так, может быть организован обогрев теплицы: вертикально погруженные в грунт на глубину 10–20 м ТТ передают его тепло испарителям тепловых насосов, а горизонтально расположенные ТТ принимают тепло от конденсаторов тепловых насосов и обогревают воздух и грунт внутри теплицы. Согласно расчетам при температуре окружающей среды от 0 °С и выше использование такой комбинированной системы экономически более целесообразно, чем обогрев с помощью бойлерной установки. Аналогичным образом может быть организовано теплоснабжение индивидуального жилого дома, коттеджа: тепло, извлеченное из грунта с помощью ТТ, служит для обогрева помещения и удовлетворения потребности в горячей воде для бытовых нужд.

Заключение

Активизация усилий в области освоения возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов является актуальной задачей. Теплообменники на ТТ и ТС позволяют эффективно утилизировать тепло возобновляемых источников энергии (солнце, грунт), а также безвозвратно теряемое при использовании различных технологических процессов (включая вентиляцию и кондиционирование энергоэффективных зданий и жилых помещений). При этом улучшается экологическая обстановка.

Горизонтальные ПДТ, благодаря оригинальной конструкции кольцевого испарителя, обладают уникальной возможностью передавать тепловой поток на большие расстояния (десятки метров) с очень высокой однородностью распределения температуры вдоль конденсатора. Эта способность может быть использована для борьбы с образованием льда и снежного покрова на железнодорожных стрелочных переводах, тротуарах, автомобильных стоянках, найти применение в адсорбционных тепловых насосах, холодильных установках и т. д. Устройства способны приводиться в действие с помощью как электрических нагревателей, так и низкопотенциального тепла из возобновляемых источников.

Литература

1. Использование теплообменников на тепловых трубах для кондиционирования, в области пищевой промышленности и холодильной техники / Л. Л. Васильев [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фізіка-тэхн. навук. – 2014. – № 3. – С. 85–90.
2. Использование возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов с помощью тепловых труб / Л. Л. Васильев [и др.] // Энергоэффективность. – 2016. – № 11 (228). – С. 28–31.
3. Васильев, Л. Л. Утилизация возобновляемых и вторичных энергоресурсов с помощью тепловых труб и термосифонов / Л. Л. Васильев, А. С. Журавлев // Энергетика и ТЭК. – 2017. – Т. 167, № 2. – С. 20–22.

4. Vapordynamic thermosyphon – heat transfer two-phase device for wide application / L. L. Vasiliev [et al.] // Archives of Thermodynamics. – 2015. – Vol. 36, No. 4. – P. 65–76.
5. Heat pipe based systems – Advances and applications / H. Jouhara [et al.] // Energy. – 2017. – Vol. 128. – P. 729–754.
6. Energy saving into an absorption heat transformer by using heat pipes between evaporator and condenser / M. I. Heredia [et al.] // Applied Thermal Engineering. – 2018. – Vol. 128. – P. 737–746.
7. Ochsner, K. Carbon dioxide heat pipe in conjunction with a ground source heat pump (GSHP) / K. Ochsner // Applied Thermal Engineering. – 2008. – Vol. 28, No. 16. – P. 2077–2082.
8. Franco, A. On the use of heat pipe principle for the exploitation of medium–low temperature geothermal resources / A. Franco, M. Vaccaro // Applied Thermal Engineering. – 2013. – Vol. 59, No. 1. – P. 189–199.
9. Zhuravlyov, A. S. Horizontal vapordynamic thermosyphons, fundamentals and practical applications / A. S. Zhuravlyov, L. L. Vasiliev, L. L. Vasiliev Jr. // Heat Pipe Science and Technology An International Journal. – 2013. – Vol. 4, No. 1–2. – P. 39–52.
10. Исследование работы пародинамического термосифона / Л. Л. Васильев [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 3. – С. 93–100.
11. Функе, М. Геотермальный обогрев стрелочных переводов / М. Функе, Н. Плишке // Путь и путевое хоз-во. – 2012. – № 12. – С. 29–30.
12. Функе, М. Геотермальный обогрев посадочных платформ / М. Функе, Н. Плишке // Путь и путевое хоз-во. – 2013. – № 1. – С. 36–37.

Получено 27.11.2018 г.