

- создание инфраструктуры для производства энергии из альтернативных источников.

Диверсификация поставщиков и видов энергоресурсов должна происходить за счет вовлечения в топливно-энергетический баланс страны возобновляемых источников энергии и использования атомной энергии, что будет способствовать диверсификации.

Для выполнения этой задачи необходимо:

- пытаться участвовать в освоении нефтяных (газовых) ресурсов иностранных государств для организации их последующей поставки в Республику Беларусь;
- проработать экономически выгодные варианты импорта энергетических ресурсов в Республику Беларусь;
- осуществлять данный импорт из стран, которые на данный момент не являются доминирующими поставщиками энергоресурсов на мировом рынке;
- повысить платежную дисциплину для улучшения нашей репутации у поставщиков таких ресурсов и др.

Все эти пункты вытекают из Концепции энергетической безопасности [4].

Таким образом, из-за невозможности полностью обеспечить себя собственными энергетическими ресурсами, а также из-за хронической зависимости страны от российских поставок ввиду вышеназванных проблем приходится говорить не столько об импортозамещении таких ресурсов, сколько об энергоэффективности их использования, так как невозможность добычи и производства собственной энергии в достаточном количестве требует эффективного использования импортируемой. Поэтому, даже если потребление энергии будет расти, то этот рост обязательно должен сопровождаться повышением экономической отдачи [3]. И это будет являться залогом обеспечения национальной безопасности страны.

#### Литература

1. Корсақ, Е. П. Энергосбережение как ключевой фактор повышения энергетической безопасности страны / Е. П. Корсақ, В. А. Надомин // Наука и техника. – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 148–158. – Режим доступа: <https://sat.bntu.by/jour/article/view/2301>. – Дата доступа: 09.04.2022.
2. Костин, К. Б. Концепция обеспечения энергетической безопасности (применительно к решению проблемы импортозамещения в электроэнергетике России) / К. Б. Костин // Изв. С.-Петерб. гос. экон. ун-та. – 2015. – Т. 1, № 91. – С. 32–43.
3. Обеспечение энергетической безопасности Республики Беларусь в современных условиях // Репозиторий БНТУ. – Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/35297/Obespechenie\\_energeticheskoy\\_bezopasnosti\\_Respubliki\\_Belarus\\_v\\_sovremennyh\\_usloviyah.pdf?sequence=1](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/35297/Obespechenie_energeticheskoy_bezopasnosti_Respubliki_Belarus_v_sovremennyh_usloviyah.pdf?sequence=1). – Дата доступа: 09.04.2022.
4. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь : Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23 дек. 2015 г. № 1084. – Режим доступа: [www.minenergo.gov.by/wp-content/uploads/P23.12.2015№1084-и-концепция.pdf](http://www.minenergo.gov.by/wp-content/uploads/P23.12.2015№1084-и-концепция.pdf). – Дата доступа: 09.04.2022.

## **ТЕРМОСИФОНЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**Д. А. Бекаревич, Е. В. Соловей, Н. М. Кидун**

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

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. А. В. Шаповалов

Развитие энергосберегающих технологий является весьма актуальной проблемой для небогатой на полезные ископаемые и топливно-энергетические ресурсы Республики Беларусь. В стране необходимо повышать эффективность работы дейст-

вующих энергетических мощностей, совершенствовать системы теплоснабжения, отопления, целесообразно утилизировать теплоту уходящих дымовых газов.

Для утилизации низкопотенциального тепла можно использовать устройства на базе тепловых труб или термосифоны. Термосифон – устройство с испарительно-конденсационным циклом, превосходящее по теплопередающей способности самые высокотеплопроводные материалы.

У термосифона имеется герметичный корпус, на внутренней поверхности которого располагается фитиль, насыщенный рабочей жидкостью. Функционально термосифоны разделены на три зоны: испаритель I, транспортная (адиабатическая) зона II и конденсатор III. В некоторых конструкциях адиабатическая зона может отсутствовать. К испарителю подводится тепловая энергия, под воздействием которой содержащаяся в нем жидкость превращается в пар. Передача тепла осуществляется путем переноса скрытой теплоты парообразования с массой пара каналу из испарителя в конденсатор, где происходит обратный фазовый переход с выделением тепла. Образовавшийся конденсат возвращается в зону испарения.

Такая конструкция устройства позволяет собирать тепло от рассредоточенных в пространстве или на поверхности источников тепловыделения с небольшой плотностью теплового потока, накапливая на выходе из испарителя требуемую величину теплового потока, необходимую для быстрого запуска устройства в нестационарных условиях, пространственно разделять источник и сток тепла, что вместе с отсутствием движущихся деталей в системе охлаждения создает положительный эффект, обусловленный увеличением термодинамической эффективности при повышении эксплуатационной надежности всего устройства в целом [1], [2].

Необходимо совершенствование систем теплоснабжения для нужд отопления и горячего водоснабжения. Для этих целей широко используются тепловые насосы. Хорошие результаты могут быть достигнуты с помощью системы, сочетающей тепловые насосы с термосифонами. С помощью термосифонов можно утилизировать низкопотенциальную энергию грунта, биомассы, водных бассейнов и использовать ее для обогрева жилых и хозяйственных помещений. Вертикально погруженные в грунт термосифоны передают тепло испарителям тепловых насосов, а горизонтально расположенные принимают тепло от конденсаторов тепловых насосов и обогревают воздух в помещении. Корпус таких проводников тепла изготавливается из стали, в качестве теплоносителя применяются незамерзающие жидкости (пропан, пропилен), что имеет большое значение при разработке систем отопления для районов Крайнего Севера. В настоящее время учеными накоплен большой опыт создания и исследований термосифонов разнообразных конструкций для работы в различных температурных условиях на основе таких устройств, имеются разработки оборудования, позволяющего полезно использовать тепло возобновляемых источников для технических и бытовых нужд.

Тепло, извлеченное из грунта с помощью термосифона, либо полученное от солнечной радиации, служит для обогрева помещения и удовлетворение потребности в горячей воде для бытовых нужд. Гелиоколлектор может быть следящим, с концентратором солнечного излучения, либо плоским, установленным неподвижно, сориентированным таким образом, чтобы в течение дня поглощать максимальное количество падающей радиации. В Республике Беларусь среднегодовое поступление солнечной энергии на земную поверхность с учетом ночей и облачности составляет в эквиваленте  $2,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в сутки.

Для исследования процессов, протекающих в замкнутых двухфазных термосифонных устройствах, на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» Го-

мельского государственного технического университета имени П. О. Сухого был создан экспериментальный стенд. После была проведена модернизация экспериментальной установки. Теплообмен в зоне парообразования был увеличен за счет изменения кольцевого зазора при изменении диаметров внутренней трубки (рис. 1) (материал трубки – медь; диаметр – 20 и 15 мм; длина – 1 м).

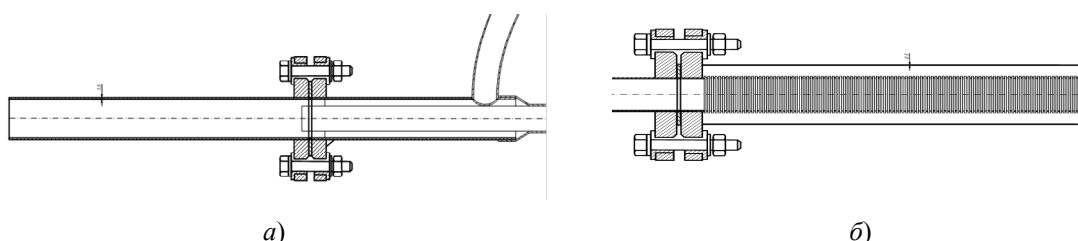


Рис. 1. Зона испарения пародинамического термосифона (а); внутреннее оребрение поверхности конденсатора (б)

Наружное поперечное оребрение поверхности конденсатора (рис. 1) позволит увеличить тепловой поток без увеличения затрат мощности. Данный тип оребрения выбран в связи с возможностью работы термосифона при разных углах установки. Другие виды оребрения для данной конструкции будут нецелесообразны.

В пародинамический термосифон (ПДТ) конденсирующаяся жидкость проталкивается из конденсатора в испаритель избыточным давлением пара. Поток пара и двухфазное течение рабочей жидкости пространственно разделены, их движение организовано по схеме теплообменника «труба в трубе», что позволяет избежать типичного для конвективных термосифонов негативного взаимодействия между противоположно направленными потоками пара и жидкости. ПДТ способен передавать тепловой поток в горизонтальном направлении на расстояния в десятки метров. Данное устройство может быть использовано в оборудовании для нагрева и охлаждения воздуха, предотвращения образования льда и снежного покрова на крышах зданий, тротуарах, стоянках автомобилей и т. д.

Важным источником экономии топливно-энергетических ресурсов является внедрение энергоэффективных светодиодных осветительных устройств для освещения мест общего пользования жилых домов и систем наружного освещения населенных пунктов. Однако вследствие прохождения тока через кристалл полупроводника выделяется тепло. При неправильной организации охлаждения устройства излишек тепла повышает температуру активной области кристалла, в результате уменьшается максимальный оптический выход и снижается срок службы светодиода. Создание эффективных и компактных систем, поддерживающих благоприятные тепловые режимы работы светодиодных осветителей, является актуальной проблемой. Данная задача также может быть успешно решена с помощью термосифонов [3].

Высокая эффективная теплопроводность термосифонов обеспечивает минимальный перепад температур между зонами подвода и сброса тепла в полупроводниковом световом приборе. Важно, что с помощью термосифонов может поддерживаться полная изотермичность теплоотдающей поверхности полупроводниковой платы, и все светодиоды будут работать в одинаковых тепловых условиях. К достоинствам такого охладителя светодиодов следует отнести также простоту выполнения герметизации электронного блока, предотвращающей влияние атмосферных загрязнений на работу устройства.

Теплообменники на термосифонах позволяют эффективно утилизировать тепло возобновляемых источников энергии (солнце, грунт), а также безвозвратно теряемое при использовании различных технологических процессов (вентиляция и кондиционирование)

#### Литература

1. Использование теплообменников на тепловых трубах для кондиционирования, в области пищевой промышленности и холодильной техники / Л. Л. Васильев [и др.] // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2014. – № 3. – С. 85–90.
2. Термосифоны и тепловые трубы в системах для использования низкопотенциального тепла / Л. Л. Васильев [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 2. – С. 34–40.
3. Инновационный радиатор с тепловыми трубами для охлаждения мощных светодиодных осветительных приборов / Л. Л. Васильев [и др.] // Энергоэффективность. – 2015. – № 5. – С. 14–17.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТРАНСФОРМАТОРОВ

**В. О. Белькин**

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. В. Н. Галушко

Неотъемлемый элемент централизованного электроснабжения – трансформатор. Выход из строя силового трансформатора может привести к созданию аварийных ситуаций, перебоям электроснабжения, массовому недоотпуску продукции. Поэтому контроль состояния трансформатора становится важной задачей.

Основными неисправностями силовых трансформаторов являются:

- 1) местное замыкание пластин стали (пожар в стали);
- 2) межвитковые замыкания;
- 3) наличие примесей в трансформаторном масле.

К дополнительным неисправностям относят:

- 1) механическая деформация обмоток;
- 2) деформация магнитопровода;
- 3) междуфазное замыкание обмоток трансформатора;
- 4) межвитковые короткие замыкания.

При выполнении опытов в трансформатор заблаговременно вводились поочередно все неисправности и затем проводились испытания. По результатам экспериментов было выявлено, что наиболее значимыми исходными данными для нейромоделирования являются:

– температура на поверхности обмоток (при МКЗ средний градиент температуры в данной зоне составил около 35 °С/мин);

– отношение токов, напряжений и активных мощностей первичной и вторичной обмоток;

– состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции.

Исследование дополнительных неисправностей позволяет выявить наиболее значимо изменяющиеся параметры экспериментально.

1. Деформация магнитопровода. Признаками повреждения являются увеличение потерь холостого хода и уменьшение активного сопротивления  $T$ -образной схемы замещения на холостом ходу.