

УДК 697.7

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-36-49>



Тепловые аккумуляторы фазового перехода на основе парафина

М. И. Милёхин ¹ ✉, Е. В. Умеренков ¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: melehin.mim@gmail.com

Резюме

Цель исследования. В связи с растущим спросом на энергосберегающие технологии во всем мире и в Российской Федерации интересными для исследования являются накопители тепловой энергии. Известны различные способы аккумулировать тепловую энергию, один из них при помощи тепловых аккумуляторов на фазовом переходе. Данные устройства будут являться целью исследования для дальнейшего развития.

Методы. Одним из наиболее эффективных теплоаккумулирующих веществ фазового перехода является парафин. В процессе обзора научной литературы были определены три основных направления для применения тепловых аккумуляторов фазового перехода: системы отопления и горячего водоснабжения от традиционных источников энергии, системы отопления и горячего водоснабжения от возобновляемых источников энергии, предпусковая подготовка двигателей внутреннего сгорания. Бескорпусный аккумулятор теплоты с фазовым переходом можно применять для аккумулирования низкопотенциального тепла в обратном трубопроводе системы отопления, другой тип аккумулятора будет эффективен при зарядке от солнечного источника энергии. Для предварительного подогрева двигателя внутреннего сгорания в авто-мобиле, перед его пуском, так же можно применять тепловой аккумулятор.

Результаты. Проведенный обзор и аналитическое исследование имеющихся тепловых аккумуляторов фазового перехода показали, что имеющиеся тепловые аккумуляторы фазового перехода на основе парафина можно усовершенствовать, пробуя различные конфигурации расположения, способы уменьшения объема и массы их конструкции, применяя полимерные материалы для подачи теплоносителя.

Заключение. Дальнейшее всестороннее изучение аккумуляторов тепла фазового перехода позволит находить эффективные способы его применения в системах индивидуального отопления и горячего водоснабжения, а также в двигателях внутреннего сгорания, искать новые направления их применения, что и будет целью дальнейших исследований.

Ключевые слова: тепловые аккумуляторы; фазовый переход; теплоаккумулирующий материал; тепловая энергия; альтернативная энергия.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Милёхин М. И., Умеренков Е. В., 2024

Для цитирования: Милёхин М. И., Умеренков Е. В. Тепловые аккумуляторы фазового перехода на основе парафина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №3. С. 36-49. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-36-49>.

Поступила в редакцию 28.04.2024

Подписана в печать 20.06.2024

Опубликована 30.09.2024

Thermal accumulators of phase change based on paraffin

Mikhail I. Milekhin ¹ ✉, Evgenii V. Umerenkov ¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: melehin.mim@gmail.com

Abstract

Purpose of research. Due to the growing demand for energy-saving technologies around the world and in the Russian Federation, thermal energy storage devices are interesting for research. There are various ways to accumulate thermal energy, one of them is using thermal accumulators at a phase transition. These devices will be the target of research for further development.

Methods. One of the most effective heat-storing substances of phase transition is paraffin. In the process of reviewing the scientific literature, three main areas for the use of thermal accumulators of phase transition were identified: heating and hot water supply systems from traditional energy sources, heating and hot water supply systems from renewable energy sources, pre-start preparation internal combustion engines. An unpackaged heat accumulator with a phase change can be used to accumulate low-grade heat in the return pipeline of a heating system; another type of accumulator will be effective when charged from a solar energy source. To preheat the internal combustion engine in a car before starting it, you can also use a heat accumulator.

Results. The review and analytical study of existing phase change heat accumulators showed that existing phase change heat accumulators based on paraffin can be improved by trying different arrangement configurations, using polymer materials to supply coolant, and looking for ways to reduce the volume and weight of their design.

Conclusion. Further comprehensive study of phase transition heat accumulators will make it possible to find effective ways to use it in individual heating and hot water supply systems, as well as in internal combustion engines. Look for new directions for their application, which will be the goal of further research.

Key words: thermal accumulators; phase transition; heat-storing material; thermal energy; alternative energy.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Milekhin M. M., E Umerenkov. V. Thermal accumulators of phase change based on paraffin. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(3): 36-49 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-36-49>.

Received 28.04.2024

Accepted 20.06.2024

Published 30.09.2024

Введение

Важное значение в будущем развитии мировой энергетики играют инновационные технологии. Новая энерге-

тика формируется на основе возобновляемых источников энергии, распределенной генерации, а также развития

энергосберегающих и энергоэффективных технологий, внедрение которых со временем приведет к утрате доминирования традиционных видов энергетики, основанных на сжигании углеводородов, относятся возобновляемые источники энергии и аккумуляторы энергии, предполагающие увеличить энергоэффективность в жилых, коммерческих и административных помещениях [1].

В Стратегии развития энергетического сектора Российской Федерации заявлено структурно и качественно новое развитие энергетического сектора страны, которое предусматривает рост доли потребления более высококачественной и экологически чистой по всему циклу производства энергетической продукции¹.

Солнечные и ветровые источники энергии зависимы от климатических изменений природы, а потому имеют перерывы в работе. Аккумуляирование тепловой энергии позволяет потребителям не зависеть от непостоянства работы и покрывать пиковые нагрузки энергосистемы², снизить потребность и оптимизировать объемы потребления тепловой энергии. Активное использование тепловых аккумуляторов для снижения низкого теплового потенциала отработавшего теплоносителя существенно по-

высит энергетический эффект. Поэтому целесообразно использовать тепловые аккумуляторы как в системах теплоснабжения, так и в автономных системах отопления, аккумулируя низко потенциальное тепло

В настоящее время есть технологии, которые позволяют тепловую энергию аккумуляировать от нескольких часов до нескольких месяцев. Технология резервирования тепловой энергии солнца аккумуляторами тепла на основе расплавов солей применяется в солнечных электростанциях башенного типа, но они подвержены нарушению исходной структуры. Существуют также технологии хранения тепла в паровых аккумуляторах, в горячей вулканической породе, бетоне, гальке, технологии сплава на границе растворимости [2]. Распространенным способом накопления излишек энергии от возобновляемых источников энергии, хотя они дорогие, не экологичные, имеют короткий срок службы, является использование свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. Жидкостные теплоаккумуляторы имеют большие габариты и высокие тепловые потери.

Перспективным и экономически целесообразным направлением является разработка новых энергосберегающих тепловых аккумуляторов, с применением фазопереходных теплоаккумулирующих материалов [3-4]. В фазопереходных тепловых аккумуляторах применяют материалы с изменяющимся фазовым состоянием в диапазоне температур эксплуатации системы. Такие

¹ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р.

² Щеклеин С.Е., Попов А.И., Проников И.А. Патент 2537661 С1 РФ. Аккумулятор тепловой энергии периодического действия; заявл. 16.09.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

аккумуляторы немного сложнее, но накапливают на единицу объема намного больше энергии, чем емкостные аккумуляторы тепла с жидкими телами. Зарядка и разрядка в них происходит в очень узком диапазоне температур [5], что тоже является преимуществом [6].

По объективным причинам интерес для аккумуляции тепловой энергии представляют органические соединения, которые имеют большое распространение. Выбор нефтяного парафина в качестве теплоаккумулирующего материала для фазопереходного аккумулятора тепла [7] выгоден по ряду причин: большая теплота фазового перехода, долговечен и стабилен при циклическом изменении агрегатного состояния, доступен и производится в больших объемах, не коррозионно активен, температура фазового перехода приближена к температурам систем теплоснабжения [8]. Рыночная стоимость разных марок парафина экономически обоснованна для выбора к использованию в качестве теплоаккумулирующего материала для проектирования фазопереходного аккумулятора тепла.

Материалы и методы

Обзор имеющихся разработок, а также патентов и изобретений по конструкции и применению тепловых аккумуляторов показывает перспективность их применения в ближайшем будущем. На данный момент вызывают интерес тепловые аккумуляторы с фазовым

переходом на основе парафина. Существуют различные разработки конструкций и модели режимов зарядки и разрядки тепловых аккумуляторов, которые можно применять в различных сферах. Исходя из проведенного обзора, можно выделить три основных направления применения тепловых аккумуляторов данного типа. Это: системы отопления и горячего водоснабжения от традиционных источников энергии, системы отопления и горячего водоснабжения от возобновляемых источников энергии, предпусковая подготовка двигателей внутреннего сгорания.

Бескорпусный аккумулятор теплоты с фазовым переходом, включающий входную и выходную сборные камеры-коллекторы и теплоаккумулирующие ячейки в виде теплообменных трубок, окруженных слоем теплоаккумулирующего материала, отличающийся тем, что каждая теплоаккумулирующая ячейка имеет теплоизолированный снаружи индивидуальный корпус с внутренним радиусом, равным расчетному радиусу ячейки [9]. Принципиальное устройство аккумулятора предлагаемой конструкции показано на рис. 1 [9].

Бескорпусный аккумулятор тепла состоит из теплоаккумулирующих ячеек 1, нижней подающей 2 и верхней принимающей 3 сборных камер-коллекторов и соответственно нижней 4 и верхней 5 трубных досок.

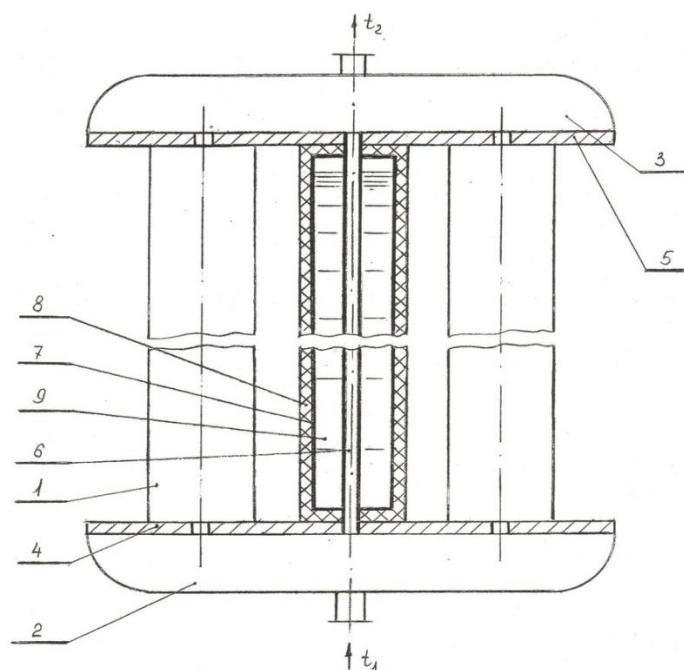


Рис.1. Конструкция бескорпусного аккумулятора теплоты с теплоаккумулирующими ячейками

Fig.1. Design of a frameless heat accumulator with heat-storing cells

В свою очередь, каждая из теплоаккумулирующих ячеек состоит из теплообменной трубки 6, нижний и верхний концевики которой закреплены (ввальцованы) в трубные доски 4 и 5, и корпуса 7 с тепловой изоляцией 8; пространство между трубкой 6 и корпусом 7 заполнено теплоаккумулирующим материалом 9. Нагретый в источнике теплоноситель подают во входную сборную камеру-коллектор 2, где он распределяется по теплообменным трубкам 6 теплоаккумулирующих ячеек 1, а затем поступает в верхнюю камеру 3, из которой возвращается к источнику теплоты; при этом происходит нагрев и плавление теплоаккумулирующего материала 9, находящегося между трубкой 6 и корпусом теплоаккумулирующей ячейки 7, сокращение потерь тепла в окружающую среду которым, обеспечивается за

счет тепловой изоляции 8. По истечении расчетного времени расплавления теплоаккумулирующего материала в ячейках начинается процесс разрядки теплового аккумулятора на фазовом переходе, в результате которого происходит нагрев теплопоглощающей среды [9].

Теплопоглощающую среду подают во входную камеру 2, попадая из которой в трубки 6, она нагревается и через выходной коллектор 3 поступает в систему теплоснабжения, например горячего водоснабжения. При этом происходит охлаждение и затвердевание теплоаккумулирующего материала 9 в каждой ячейке 1 таким образом, что выходная температура теплопоглощающей среды (после камеры 3) остается не ниже требуемой в течение желаемого времени разрядки.

Аккумулятор теплоты с фазовым переходом, заряжающийся от солнечной энергии, изображен на рис. 2-5, где 1 – корпус цилиндрический; 2 – фазопереходный теплоаккумулирующий материал на основе парафина – (ФТАМ); 3 – трубки; 4 – дно корпуса, нагревающегося от солнечного излучения; 5 – промежуточная крышка; 6 – отверстия для прохода трубок; 7 – отверстия крышки и корпуса для крепления; 8 – болты крепежные; 9 – камера для теплоаккумулирующего материала; 10 – крышка теплового аккумулятора; 11, 12 – входная и выходная труба для теплоносителя; 13 – электронагревательные элементы; 14 – резьбовая обойма; 15 – перемычки крепления резьбовой обоймы с электронагревательным элементом к вертикальной трубке¹.

Данный тепловой аккумулятор работает следующим образом. Заряжается он от солнечной энергии, отраженной зеркалами, направленными на дно корпуса теплового аккумулятора 4. Происходит теплообмен от корпуса 4 к вертикальным трубкам 3 и вследствие нагрева теплоаккумулирующий материал 2 плавится. Расплавленный теплоаккумулирующий материал (парафин) расширяется и избытки его наполняют камеру 9 закрытой герметичной крышкой 10. Дополнительно тепловой аккумулятор фа-

зового перехода может заряжаться от электронагревательного элемента 13, который установлен в вертикальных трубках 3 внутри теплоаккумулирующего материала. Теплоноситель может нагреваться одновременно с зарядкой теплового аккумулятора, поступая снизу через входную трубу 11 и покидая корпус теплового аккумулятора через выходную трубу 12. Разряжается тепловой аккумулятор, когда теплоаккумулирующее вещество 2 отдает тепло теплоносителю через вертикальные трубки 3 и кристаллизуется в процессе фазового перехода по всему объему корпуса 1. Таким образом, кожухи вертикальных трубок 3 с теплоаккумулирующим материалом 2 и расположенных в них электронагревательных элементах 13, являются теплообменниками¹.

Чтобы произвести пуск двигателя внутреннего сгорания (ДВС) при температуре воздуха ниже нуля градуса по Цельсию, его нужно подготовить, предварительно прогрев. Для этой цели вызывает интерес тепловой аккумулятор фазового перехода, состоящий из корпуса в тепловой изоляции с разборной крышкой, в которую через отверстия запрессованы впускной и выпускной трубопроводы, капсулы собранные из коаксиально расположенных цилиндров с теплоаккумулирующим материалом (ТАМ), изменяющим свое состояние в определенном температурном режиме, и имеющие зазоры для протекания теплоносителя.

¹ Пат. РФ 2 547680 С1, F24Н 7/00. Аккумулятор теплоты с фазопереходным материалом. Автор: Бабаев Баба Джабраилович (RU), Заявка: 2013152593/06, 26.11.2013, Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10.

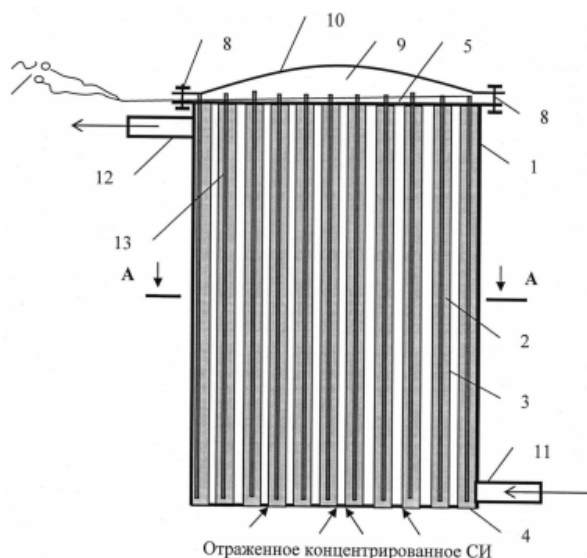


Рис. 2. Продольный разрез аккумулятора тепла от солнечной энергии

Fig. 2. Longitudinal section of a solar heat accumulator

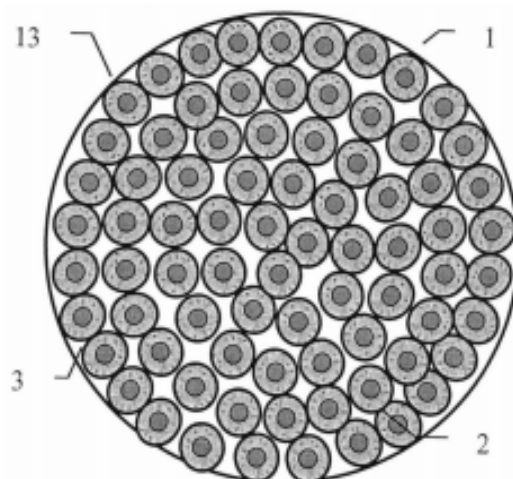


Рис. 3. Разрез вид А-А

Fig. 3. Section view A-A

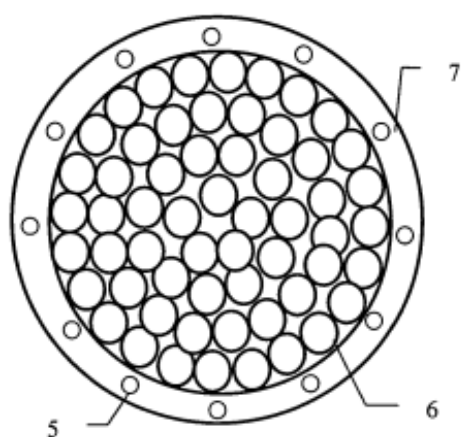


Рис. 4. Вид сверху промежуточной крышки бака-аккумулятора¹

Fig. 4. Top view of the intermediate cover of the storage tank¹

Данный тепловой аккумулятор снабжен электроподогревом с саморегулирующимися нагревательными элементами на позисторной керамике, работа-

ющими от аккумуляторной батареи автомобиля при выключенном двигателе или от источника питания².

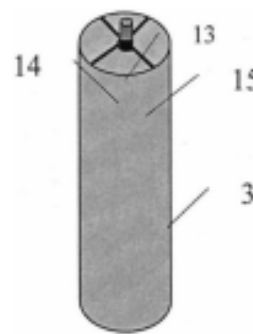


Рис. 5. Электронагреватель в вертикальной трубке

Fig. 5. Electric heater in a vertical tube

¹ Пат. РФ 2 547680 С1, F24Н 7/00. Аккумулятор теплоты с фазопереходным материалом. Автор: Бабаев Баба Джабраилович (RU), Заявка: 2013152593/06, 26.11.2013, Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10.

² Патент РФ 2 506 503 С1, МКИ 7 F24Н 7/00. Тепловой аккумулятор фазового перехода с саморегулируемым устройством электроподогрева. Авторы: Бублий Сергей Анатольевич (RU), Бублий Инна Анатольевна (RU), Котровский Александр Валентинович (RU), Котровская Ирина Олеговна (RU), Котровский Александр Александрович (RU), Савчук Роман Васильевич (RU), Фролов Александр Леонидович (RU), Заявка: 2012145181/06, 24.10.2012, Опубликовано: 10.02.2014 Бюл. № 4.

Схема теплового аккумулятора фазового перехода с саморегулируемым устройством электроподогрева представлена на рис. 6, где 1 – корпус внешний [11]; 2 – теплоизоляция; 3 – корпус внутренний; 4 – капсулы с теплоаккумулирующим материалом; 5 – зазоры для прохождения теплоносителя; 6 – входная труба; 7 – выходная труба; 8 – болт; 9 – крышка диэлектрик; 10 – крышка разборная; 11 – нагревательные элементы саморегулирующиеся на позисторной керамике; 12 – корпус элемента нагрева; 13 – шина для подвода электрического тока; 14 – подача электропитания (9+12, 24 В)¹.

При теплообмене теплоносителя с расплавленным ТАМ прогревается ДВС, а ТАМ в результате фазового перехода выделяет скрытую теплоту и затвердевает. Происходит нагрев теплоносителя и узлов ДВС от выделенной накопленной теплоты. Данный тепловой аккумулятор накапливает тепло при работающем и выключенном двигателе, и отдает его маслу системы смазки, или охлаждающей жидкости системы охлаждения для установления температуры, необходимой для запуска двигателя при низкой температуре окружающей среды.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного обзора тепловых аккумуляторов с фазовым переходом на основе парафина было определено три направления их использования. По каждому из направлений вы-

браны по одному образцу тепловых аккумуляторов, представляющие наиболее совершенные конструкции, на основе которых можно вести будущие исследования.

Бескорпусный аккумулятор теплоты на фазовом переходе [9] (см. рис. 1) можно использовать в системе децентрализованного отопления. При большой длине теплоаккумулирующих ячеек, целью исследования бескорпусного теплового аккумулятора является проведение экспериментов по расположению теплоаккумулирующих ячеек не только прямолинейно и вертикально, но и в виде криволинейных вставок П-образной, U-образной или в виде вертикального змеевика, присоединяя к трубчатым коллекторам (гребёнкам)¹. Варианты присоединения показаны на рис. 7 [9]. Теплоаккумулирующие ячейки данного теплового аккумулятора можно изготавливать из полимеров, а не из стали, это может быть использовано для дальнейших исследований.

Аккумулятор теплоты с фазопереходным материалом, заряжающийся от солнечной энергии, представляет собой универсальную версию, позволяющую заряжаться от солнечного излучения, электрического источника питания и теплоносителя системы отопления. Данный тепловой аккумулятор интересен для

¹ Умеренков Е.В. Разработка аккумуляторов теплоты на фазовом переходе для систем теплоснабжения: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2013. 160 с.

горячего водоснабжения и резервирования котла в системе отопления частного жилого дома [10]. Имеет место рассмотреть возможность зарядки данного теплового аккумулятора не от солнечного излучения, а от солнечного коллектора, нагревающего жидкость, которая и будет заряжать тепловой аккумулятор [11].

Тепловой аккумулятор фазового перехода для предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания имеет хорошие перспективы внедрения в экс-

плуатацию автомобилей, что позволит увеличить ресурс двигателя, уменьшить расход топлива [12]. Особенно актуально применение тепловых аккумуляторов для дизельных двигателей, при холодном пуске с температурой ниже 5°C . Данная температура была определена в ходе теоретических и экспериментальных исследований, при запуске дизельного двигателя, проведенных научными сотрудниками Ижевска и Казани [13].

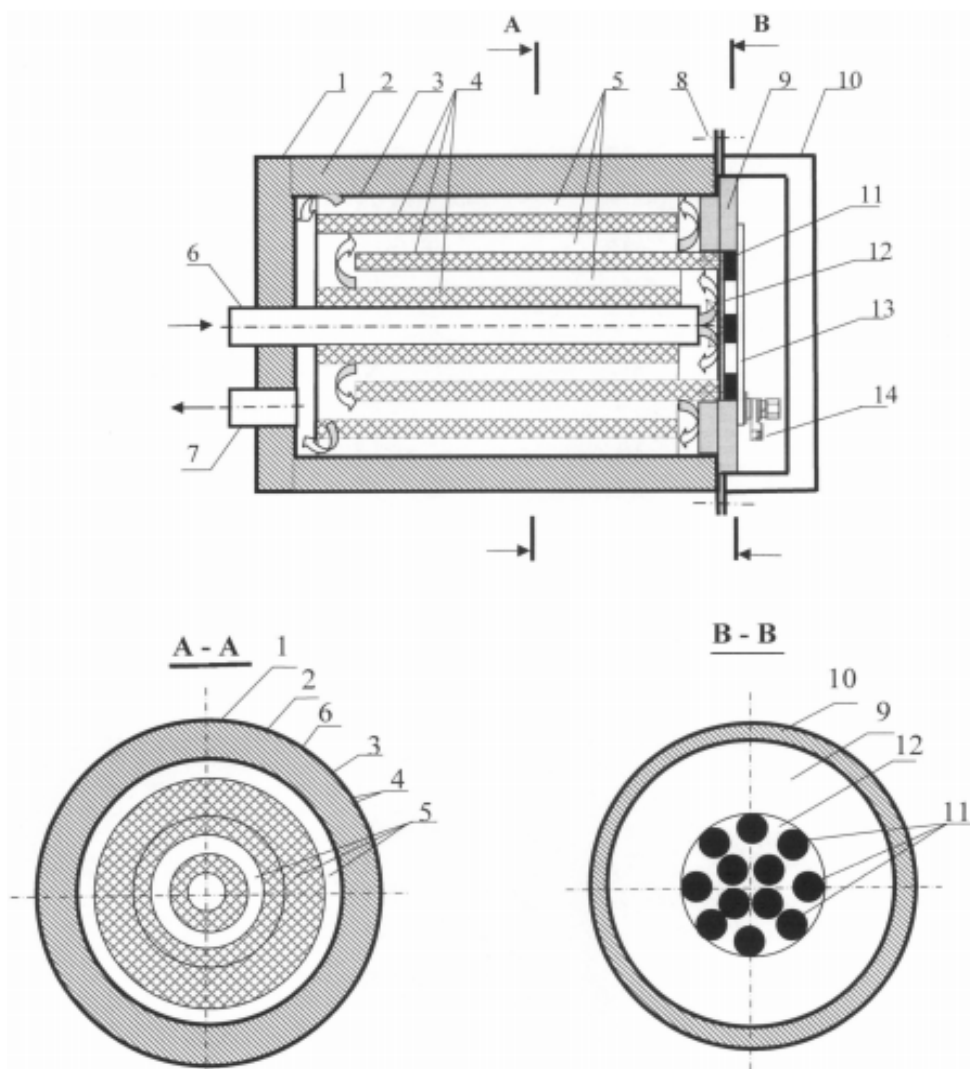


Рис. 6. Тепловой аккумулятор фазового перехода с саморегулируемым устройством электроподогрева

Fig. 6. Phase change thermal accumulator with a self-regulating electric heating device

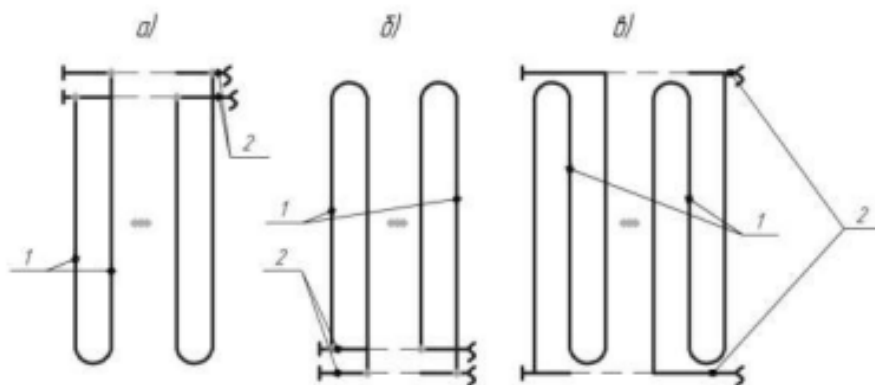


Рис. 7. Различные способы подключения трубок для теплообмена: 1 – с теплоаккумулирующим материалом к сборным коллекторам; 2: а – U-образное; б – П-образное; в – в виде вертикального змеевика [9]

Fig. 7. Various methods of connecting tubes for heat exchange 1 – with heat-storing material to collecting manifolds; 2: а – U-shaped; б – U-shaped;) в – in the form of a vertical coil [9]

Повысить надежность и безопасность пуска, снизить ущерб моторесурсу при холодном пуске можно, используя аккумулятирование тепловой энергии отработанных газов поршневого двигателя [14].

Выводы

В результате проведенного обзора определены три направления для применения тепловых аккумуляторов фазового перехода: системы отопления и горячего водоснабжения от традиционных источников энергии, системы отопления и горячего водоснабжения от возобновляемых источников энергии, предпусковая подготовка двигателей внутреннего сгорания.

Дальнейшее усовершенствование бескорпусного теплового аккумулятора будет заключаться в поиске различных способов его присоединения в обратную трубу системы отопления, для более эффективного использования низкопотенциального тепла децентрализованного отопления. Так же теплоаккумуля-

рующие ячейки этого теплового аккумулятора можно изготавливать из полимеров, полипропиленов, а не из стали. В этом направлении будет проводиться разработка теплоаккумулирующих ячеек бескорпусного теплового аккумулятора из полиэтиленовых труб и фитингов ПЭ100 SDR11 или ПЭ100 SDR17. Готовые образцы пройдут проверку своей эффективности в системе отопления жилого дома. Корпусы теплоаккумулирующих ячеек будут иметь ряд преимуществ, они более легкие, дешевые, имеют различные конфигурации.

Задачей для усовершенствования теплового аккумулятора будет изучение возможности зарядки не от солнечного излучения, а от солнечного коллектора, нагревающего жидкость, которая и будет заряжать тепловой аккумулятор, или от солнечных батарей, вырабатывающих электрическую энергию, которая будет подаваться на электроды, установленные внутри трубок с теплоаккумулирующим материалом. Последующее изучение

процессов работы теплового аккумулятора состоит в разработке решений накапливать солнечную энергию в периоды её избыточной выработки, использовать в качестве резерва отопительного котла в жилом доме [15].

При низких температурах воздуха и без подзарядки в течение нескольких дней тепловой аккумулятор предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания разряжается, поэтому есть задача разработать возможность применения пускового устройства для нагрева охлаждающей жидкости или масла системы смазки двигателя, для последующей зарядки теплового аккумулятора. Пусковой подогреватель, на примере существующих образцов автономного отопления салона автомобиля, устанавливается в моторном отсеке, подключается к системе охлаждения, топливной системе и бортовой электросети автомобиля. За счет сжигания топлива, подаваемого из бака специальным насосом, подогреватель нагревает жидкость в системе охлаждения автомобиля, которая заряжает тепловой аккумулятор.

Так же необходимо провести поиск новых теплоизоляционных материалов для сохранения максимально длительного заряженного состояния теплового аккумулятора.

Определить и разработать возможность компактной установки тепловых

аккумуляторов для отбора тепла выхлопных газов от двигателей внутреннего сгорания.

Тепловые аккумуляторы фазового перехода, пока еще не имеют серийного производства в системах отопления и двигателях внутреннего сгорания, но представляют большой интерес в дальнейшем, с целью усовершенствования их конструкций. Уже известно, что тепловые аккумуляторы на фазовом переходе на основе парафина имеют хорошие показатели: выделяют большое количество энергии при фазовом переходе. Парафины выпускаются в большом количестве нефтяной промышленностью, нетоксичны, не вызывают коррозию металла. В то же время тепловые аккумуляторы фазового перехода имеют недостатки - габариты, конструктивные особенности устройства. Это и будет являться целью дальнейшего исследования, а также создания более легких конструкций с применением полимеров.

Существует необходимость разработать возможность компактной установки тепловых аккумуляторов для отбора тепла от продуктов сгорания, так как информации и исследований по накоплению энергии тепловыми аккумуляторами фазового перехода при отводе дымовых газов от котлов в жилых домах, двигателей внутреннего сгорания мало.

Список литературы

1. Проектирование льдоаккумулятора и внедрение технологии в систему теплоснабжения здания / Б.А. Христенко, Д.А. Кругликов, В.Ю. Чайкин, В.А. Петров,

И.А. Султангузин // Энергосбережение – теория и практика: труды X Межд. школы-семинара молодых учёных и специалистов. Москва, 19–23.10.2020. Курск, 2020.

2. Квитко А. В., Сидоренко А. Д. Особенности и способы аккумулирования энергии, получаемой от возобновляемых источников энергии // Сборник статей по материалам национальной конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ. Краснодар: КубГАУ, 2021. С. 365-397.

3. Babaev B.D. Principles of Heat accumulation and Heataccumulating materials in Use // High Temperature. 2014. Vol. 52 (5). P.736–751. <https://doi.org/10.1134/S0018151X14050010/>

4. Sari A. Thermal Energy Storage Properties and Laboratory-Scale Thermoregulation Performance of bentonite/Paraffin Composite Phase Change material for Energy-Efficient buildings // Journal of materials in Civil Engineering. 2017. Vol. 29 (6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001775](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001775).

5. Торопов А.Л. Комбинированные тепловые гелиосистемы. Часть 2. Тепловые аккумуляторы, бойлеры косвенного нагрева индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения. М., 2019. С.16-18.

6. Назначение и классификация тепловых аккумуляторов // Научная электронная библиотека. URL: <https://monographies.ru/ru/book/section?id=16892>.

7. К вопросу выбора теплоаккумулирующего материала для тепла гелиосистемы горячего водоснабжения / Э.В. Умеренкова, Е.В. Умеренков, М.С. Буровникова, Е.В. Припачкина. Курск, 2020. С. 359-362.

8. Торопов А.Л. Автономные системы теплоснабжения малой мощности. Настенные газовые котлы и тепловые аккумуляторы. М.: изд-во МИСИ-МГСУ, 2022. 134 с.

9. Умеренкова Э.В., Умеренков Е.В., Котенко В.И. Конструкция бескорпусного аккумулятора теплоты // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. № 4 (61). С.41-45.

10. Бутузов А.В., Бутузов В.В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. М.: Интехэнерго-Издат; Теплоэнергетик, 2015.

11. Строительный портал. URL: http://www.altaystroy.ru/articles/169108kak_sberech_teplo_i_dengi_v_chastnom_dome.html

12. Терзи Д.В., Алтухов Я.В., Матери И.В. Тепловой аккумулятор фазового перехода как средство улучшения пусковых характеристик двигателей в условиях отрицательных температур // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 5-6.

13. Оптимизация методов и параметров предпусковой тепловой подготовки двигателя для запуска в зависимости от температуры окружающей среды / Е.А. Потапов, Д.А. Вахрамеев, С.А. Синицкий, В.М. Медведев, А.Г. Терентьев // Вестник Казанского ГАУ. 2021. № 4(64).

14. Korobitsyn M.A. Analysis of Cogeneration, Combined and Integrated Cycles. Enschede: Febodruk BV, 2008. P. 30.

15. Перспективы развития инженерной системы энергоэффективного дома / В.А. Петров, В.Ю. Чайкин, Б.А. Христенко, И.Д. Савицкий, И.А. Султангузин, Е.А. Демидов, А.Н. Нечаев, А.В. Скоробатюк // Энергосбережение – теория и практика: труды X Межд. школы-семинара молодых учёных и специалистов. Москва, НИУ «МЭИ», 19–23.10.2020. Курск, 2020. С. 66–72.

References

1. Khristenko B.A., Kruglikov D.A., Chaikin V.Yu., Petrov V.A., Sultanguzin I.A. Design of an ice accumulator and implementation of technology in the heating system of a building. In: *Energoberezhenie — teoriya i praktika. Trudy X Mezhd. shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov* = *Energy saving - theory and practice. Proceedings of X Int. school-seminar for young scientists and specialists*. Kursk; 2020 (In Russ.).

2. Kvitko A. V., Sidorenko A. D. Features and methods of accumulating energy obtained from renewable energy sources. In: *Sbornik statei po materialam natsional'noi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu Kubanskogo GAU* = *Collection of articles based on the materials of the national conference dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Agrarian University*. Krasnodar: KubGAU; 2021. P. 365-397 (In Russ.).

3. Babaev B.D. Principles of Heat accumulation and Heataccumulating materials in Use. *High Temperature*. 2014; 52(5): 736–751. Doi: 10.1134/S0018151X14050010/

4. Sari A. Thermal Energy Storage Properties and Laboratory-Scale Thermoregulation Performance of bentonite/Paraffin Composite Phase Change material for Energy-Efficient buildings. *Journal of materials in Civil Engineering*. 2017; 29(6). [https://doi.org/ 10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001775](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001775).

5. Toropov A.L. Combined thermal solar systems. Part 2. Thermal accumulators, indirect heating boilers for individual and decentralized heating and hot water supply systems. Moscow; 2019. P. 16-18 (In Russ.).

6. Purpose and classification of thermal accumulators. In: *Nauchnaya elektronnyaya biblioteka* = *Scientific electronic library*. (In Russ.). Available at: <https://monographies.ru/ru/book/section?id=16892>

7. Umerenkova E.V., Umerenkov E.V., Burovnikova M.S., Pripachkina E.V. On the issue of choosing a heat-storing material for the heat of a solar hot water supply system. Kursk; 2020. P. 359-362 (In Russ.).

8. Toropov A.L. Autonomous low-power heat supply systems. Wall-mounted gas boilers and heat accumulators. Moscow: MISS-MGSU; 2022. 134 p. (In Russ.).

9. Umerenkova E.V., Umerenkov E.V., Kotenko V.I. Design of a frameless heat accumulator. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2015; (4): 41-45. (In Russ.).
10. Butuzov A.V., Butuzov V.V. Using solar energy to produce thermal energy. Moscow: Intekhenergo-Izdat; Teploenergetik; 2015 (In Russ.).
11. Construction portal. (In Russ.). Available at: http://www.altaystroy.ru/articles/169108kak_sberech_teplo_i_dengi_v_chastnom_dome.html
12. Terzi D.V., Altukhov Y.V., Moteri I.V. Phase change thermal accumulator as a means of improving the starting characteristics of engines at subzero temperatures. *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu = Issues of defense technology. Episode 16: Technical means of countering terrorism*. 2020; 5-6 (In Russ.).
13. Potapov E.A., Vakhrameev D.A., Sinitsky S.A., Medvedev V.M., Terentyev A.G. Optimization of methods and parameters of pre-start thermal preparation of an engine for starting depending on ambient temperature. *Vestnik Kazanskogo GAU = Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2021; 4 (In Russ.).
14. Korobitsyn M.A. Analysis of Cogeneration, Combined and Integrated Cycles. Enschede: Febodruk BV; 2008. P. 30.
15. Petrov V.A., Chaikin V.Yu., Khristenko B.A., Savitsky I.D., Sultanguzin I.A., Demidov E.A., Nechaev A.N., Skorobatiuk A.V. Prospects for the development of an engineering system for an energy-efficient house. Energy saving - theory and practice. In: *Energosberezhenie — teoriya i praktika. Trudy X Mezhd. shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov = Proceedings of the X Int. school-seminar for young scientists and specialists*. Kursk; 2020. P. 66–72 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Милёхин Михаил Иванович, аспирант,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail.ru: melehin.mim@gmail.com

Mikhail I. Milekhin, Post-Graduate Student,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail.ru: melehin.mim@gmail.com

Умеренков Евгений Валерьевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
инфраструктурных энергетических систем,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail.ru: melehin.mim@gmail.com

Evgenii V. Umerenkov, Cand. of Sci.
(Engineering), Associate Professor
of the Infrastructure Energy Systems Department,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail.ru: melehin.mim@gmail.com