

К вопросу использования материалов с фазовым переходом в предпусковом подогревателе автомобиля

¹*ЕСАУЛКОВ Валерий Сергеевич, докторант, yessaulkov.val@gmail.com,

²МАХКАМОВ Хамид, PhD, профессор, khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk,

¹АБИШЕВ Кайратолла Кайроллинович, к.т.н., профессор, a.kairatolla@mail.ru,

¹НАО «Торайгыров университет», Казахстан, Павлодар, ул. Ломова, 64,

²Университет Нортумбрии, Великобритания, Ньюкасл-апон-Тайн, ул. Кэмден, Пэндон-билдинг, NE1 8ST,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В статье представлен обзор современного состояния разработок аккумуляторов скрытой теплоты на основе материалов с фазовым переходом и их применения в качестве предпускового подогревателя на автомобилях. Рассматривается классификация материалов с фазовым переходом, приведено краткое описание их свойств, достоинств и недостатков. Применение пассивных систем накопления тепла, использующих материалы с фазовым переходом, – эффективный способ хранения тепловой энергии, поскольку он обладает такими преимуществами, как высокая плотность накопления энергии и изотермичность процесса её хранения. Низкая стоимость и широкая доступность материала с фазовым переходом также имеют серьёзное значение на этапе исследования и выбора материала для планируемой разработки. Кроме того, необходимо учитывать различные конструктивные параметры, необходимые для эффективной работы системы накопления скрытого тепла. На основании вышеизложенного делается вывод о целесообразности применения данных материалов в предпусковых подогревателях.

Ключевые слова: материалы с фазовым переходом, скрытое тепло, пассивные системы накопления тепла, аккумулятор скрытой теплоты, предпусковые подогреватели, органические материалы с фазовым переходом, парафины, неорганические материалы с фазовым переходом, конструктивные параметры теплообменников, наноструктуры, зародышеобразователи.

Введение

Одним из важных качеств автомобильного двигателя является его приспособленность к запуску в условиях низких температур. Пуск двигателей в зимнее время без предварительного разогрева охлаждающей жидкости двигателя и моторного масла значительно усложняется и приводит к усиленному износу деталей двигателя. Для решения этой задачи применяются средства тепловой подготовки, а именно предпусковые подогреватели. В настоящее время существуют различные типы таких устройств.

В 2020 году коллективом авторов начата научно-исследовательская работа по разработке накопителя тепловой энергии на основе веществ, подвергающихся фазовым превращениям, для пуска холодного двигателя в условиях низких температур.

В результате анализа имеющейся научной литературы, публикаций и патентов можно отметить, что в попытке полностью устранить лишнее время, затрачиваемое на запуск двигателя

в холодных погодных условиях, целесообразно применять упакованные блочно материалы с фазовым переходом для поддержания тепла компонентов в системе в течение длительного времени после выключения двигателя. Таким материалам потребуется достаточно высокая температура плавления, чтобы нагреть компоненты системы до требуемого уровня, но в то же время достаточно низкая, чтобы обеспечить плавление материала даже в более холодных условиях эксплуатации [1]. Существуют различные типы контейнеров для материалов с фазовым переходом, обычно цилиндрические, которые могут быть установлены как вертикально, так и горизонтально [2]. Часть энергии отработанного тепла выхлопных газов может быть преобразована в полезную энергию, при этом материалы с фазовым переходом выступают в качестве среды хранения в системах аккумулялирования скрытой теплоты.

Актуальность данной статьи заключается в попытке анализа и систематизации большого количества данных о применении материалов с

фазовым переходом в автомобильных тепловых аккумуляторах и, следовательно, разных точек зрения на выбор материалов с фазовым переходом (МФП) в научной литературе. Сделанные в результате анализа выводы и рекомендации, по мнению авторов, позволят предложить в дальнейшем оптимизированные решения для систем предпускового подогрева автомобилей с учётом их функциональности и экономической целесообразности.

Целью данной статьи являются подготовка, сбор и систематизация данных об экспериментальных исследованиях по выбору материала с фазовым переходом материала, с учётом конструкции теплообменника, условий эксплуатации и общей структуры системы аккумулирования скрытой теплоты с точки зрения оптимизации времени заряда и разрядки, способности к фазовому переходу и теплопроводности.

Задача статьи состоит в том, чтобы обосновать выбор МФП, предваряющий стадию математического моделирования и практического применения, путём детального обзора материалов с фазовым переходом, которые могут быть использованы в системах предпускового подогрева автомобильных аккумуляторных батарей, на основании известных работ ученых [3, 4, 5], принимая во внимание новые экспериментальные данные.

Результаты будут применены авторами для разработки математической модели системы аккумулирования скрытой теплоты для предпускового обогрева автомобильного двигателя в условиях низких температур.

Материалы и методы исследования

Материалами с фазовым переходом (МФП) называют вещества, которые могут поглощать или выделять скрытое тепло, чтобы поддерживать собственную температуру практически постоянной, и которые широко используются в области терморегулирования благодаря своим особым характеристикам [6]. Скрытое накопление тепла основано на поглощении или высвобождении теплоты, когда задействованный материал подвергается фазовому переходу из твёрдого состояния в жидкое или из жидкого в газообразное. Обратные превращения также относятся к этой категории накопления. Применение пассивных систем накопления тепла, использующих материалы с фазовым переходом – эффективный способ хранения тепловой энергии, поскольку он обладает такими преимуществами, как высокая плотность накопления энергии и изотермичность процесса её хранения. Материалы с фазовым переходом получили широкое распространение в тепловых аккумуляторах скрытого тепла. Кроме того, аккумуляторы на основе МФП обладают большей удельной энергией, по сравнению с теплоемкостными аккумуляторами переменной температуры, а их интенсивность теплопередачи можно задавать разностью температур источника теплоты,

заражающего аккумулятор, и теплоносителя, передающего выработанную энергию потребителю.

Материалы с фазовым переходом подходят под определение аккумуляторов скрытого тепла. Передача тепловой энергии происходит во время перехода материала из твёрдого состояния в жидкое или из жидкого в твёрдое. Однако, в отличие от обычных накопителей, материалы с фазовым переходом поглощают и выделяют тепло при практически неизменной температуре. Они хранят в 5-14 раз больше тепла на единицу объема, чем материалы с явной теплопередачей [7].

Значительное число МФП имеют теплоту плавления, лежащую в наиболее востребованных диапазонах. Однако для их применения в качестве аккумулирующих скрытую теплоту материалов, они должны демонстрировать определенные термодинамические, кинетические и химические свойства. Кроме того, следует помнить об экономической осуществимости и доступности производства изделий из этих материалов.

Любая система накопления скрытой тепловой энергии должна иметь следующие три компонента: подходящий МФП с температурой плавления, лежащей в желаемом диапазоне; подходящую поверхность теплообмена и подходящую емкость, химически индифферентную по отношению к материалу с фазовым переходом.

Исходя из вышеуказанной структуры рассматриваемой системы, можно сделать вывод, что разработка накопителя скрытой тепловой энергии включает в себя выбор трёх основных типов материалов: материала с фазовым переходом, материалов ёмкости и материала среды теплообмена.

Материалы с фазовым переходом для использования в конструкции накопителя должны обладать следующими термодинамическими, кинетическими и химическими свойствами: подходящей температурой фазового перехода; большой скрытой теплотой перехода; хорошей теплопроводностью; приемлемым фазовым равновесием; высокой плотностью; малыми флуктуациями объема; низким давлением пара; не обладать температурой ниже температуры кристаллизации при данном давлении, то есть не переходить в метастабильное состояние переохлажденности; иметь достаточную скорость кристаллизации; долговременной химической стабильностью; совместимостью с другими задействованными конструкционными материалами; не быть токсичными; не быть подверженными опасности самовозгорания.

При выборе материала с фазовым переходом для конкретной области применения рабочие температуры нагрева или охлаждения должны соответствовать температуре фазовых переходов. Скрытое тепло должно быть как можно большим, особенно в объемном соотношении, чтобы минимизировать физический размер накопителя тепла. Высокая теплопроводность будет способствовать зарядке и разрядке накопителя энергии.

Низкая стоимость и широкая доступность материала с фазовым переходом также имеют серьёзное значение на этапе исследования и выбора материала для планируемой разработки.

На современном этапе развития техники и технологий разработчикам доступно большое количество материалов с фазовым переходом в любом необходимом диапазоне температур. Классификация МФП, представленная на рисунке, основывается на их химическом составе. К основным группам относят органические, неорганические и эвтектические.

Существует большое количество органических и неорганических химических соединений, которые могут считаться МФП с точки зрения температуры плавления и скрытой теплоты плавления. Однако, за исключением температуры плавления в рабочем диапазоне, большинство материалов с фазовым переходом не удовлетворяют критериям, упомянутым ранее. Поскольку ни один материал не может обладать всеми необходимыми свойствами идеального аккумулятора тепла, необходимо использовать доступные материалы и попытаться компенсировать недостающие или недостаточно удовлетворяющие нас свойства соответствующей конструкцией системы. Например, для увеличения теплопроводности могут быть использованы металлические рёбра, переохлаждение может быть подавлено введением зародышеобразователя или холодной ловушки по типу «холодного пальца», а инконгруэнтное плавление (плавление с разложением, при котором твёрдая фаза преобразуется в расплав и твёрдую фазу другого состава) может быть подавлено подходящей толщиной используемого материала.

К органическим материалам с фазовым пе-

реходом относятся парафины и непарафины. Органические материалы многократно плавятся и замораживаются без разделения фаз и последующего уменьшения их скрытой теплоты плавления. Самостоятельное зародышеобразование означает, что они кристаллизуются с небольшим переохлаждением или без него и обычно неагрессивны химически.

Помимо благоприятных характеристик парафинов, таких как конгруэнтное плавление и хорошее зародышеобразование, они проявляют и нежелательные свойства, такие как низкая теплопроводность, несовместимость с ёмкостями из пластика и легкая воспламеняемость. Все эти нежелательные эффекты можно частично устранить модификациями восковых составов и материалов ёмкостей хранения.

Непарафиновые органические соединения являются наиболее многочисленными из материалов с фазовым переходом, и эта широкая группа материалов обладает очень разными свойствами, то есть каждый из этих материалов будет иметь свои собственные уникальные свойства, в отличие от парафинов, которые все обладают очень похожими свойствами. Это самая большая категория материалов, которые можно отнести к материалам с фазовым переходом.

Однако основным недостатком является их стоимость, которая в 2-2,5 раза выше, чем у технических парафинов. Они также обладают слабой коррозионной активностью.

К неорганическим материалам с фазовым переходом относятся гидраты солей и металлиды. Данные материалы практически не подвержены переохлаждению, и их теплота плавления не ухудшается циклично.

Гидраты солей можно рассматривать как

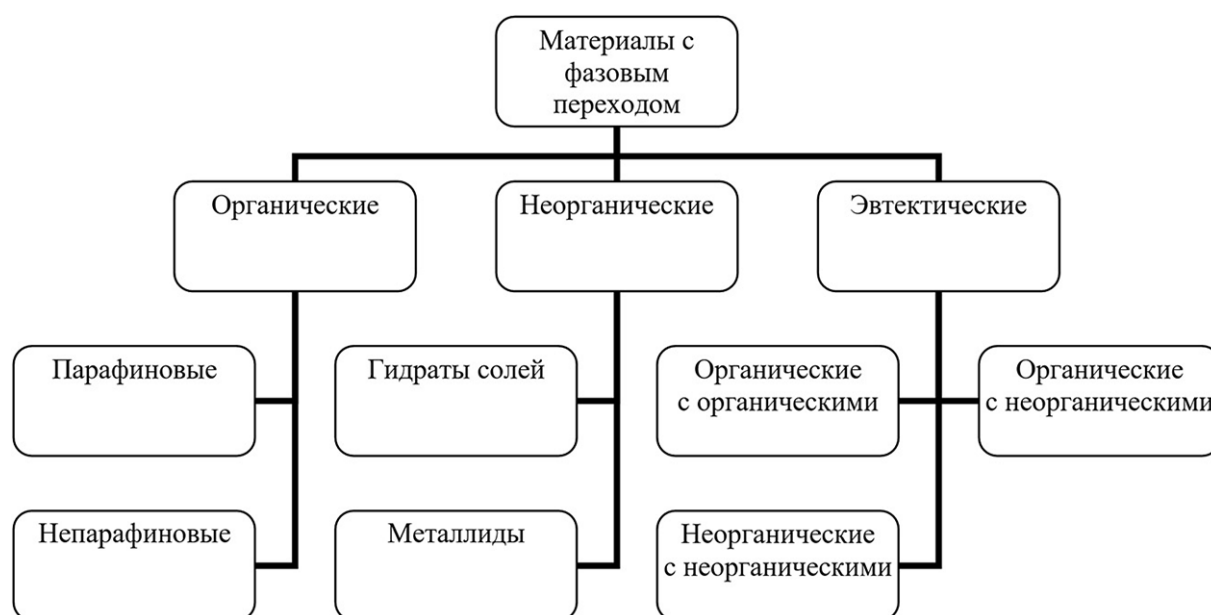


Схема классификации материалов с фазовым переходом

сплавы неорганических солей и воды, образующей типичное твердое вещество кристаллического строения. При температуре плавления кристаллы гидрата распадаются на безводную соль и воду или менее гидрированную соль и воду.

Проблема большинства гидратов солей заключается в инконгруэнтном плавлении, вызванным тем, что выделяющейся из кристаллов воды недостаточно для растворения всей присутствующей твердой фазы. Из-за разницы плотности безводная соль или менее гидрированная соль оседает вниз на дно.

Большинство гидратов солей также являются плохими зародышеобразователями, что приводит к переохлаждению жидкости перед кристаллизацией субстанции. Одним из решений этой проблемы является добавление зародышеобразователя, агента, который обеспечивает образование зёрен инициируемых кристаллов.

Гидраты солей – самая важная группа МФП, которая подверглась тщательному изучению их использования в системах накопления скрытой теплоты. Наиболее подходящие их свойства – высокая скрытая теплота плавления на единицу объема, относительно высокая теплопроводность (почти вдвое больше, чем у парафинов) и малые изменения объема при плавлении. Кроме того, они не вызывают серьёзной коррозии, совместимы с пластмассами и слаботоксичны. Многие соли также являются достаточно недорогими для использования.

Основная проблема при использовании гидратов солей заключается в том, что те из них, которые считаются подходящими для использования в тепловых аккумуляторах, плавятся инконгруэнтно. Поскольку количества гидратной воды недостаточно для растворения одного моля соли, полученный раствор является перенасыщенным при температуре плавления. Твердая соль из-за своей более высокой плотности оседает на дне и недоступна для обратного соединения с водой во время процесса застывания. Это приводит к необратимому плавлению-застыванию соли, количество которой уменьшается с каждым циклом заряда-разряда. При температуре плавления скорость зародышеобразования обычно очень низкая. Для достижения разумной скорости зародышеобразования раствор должен быть переохлажден, и, следовательно, энергия вместо того, чтобы выделяться при температуре плавления, выделяется при гораздо более низкой температуре.

Результаты и обсуждение

Критерии выбора МФП в основном учитывают нижеследующие аспекты:

- температура фазового перехода МФП находится в пределах нормальной рабочей температуры;
- повышенная способность к поглощению тепла и получению скрытого тепла;

- хорошая теплопроводность;
- высокие химическая стабильность и устойчивость к химической коррозии;
- умеренная стоимость, легкодоступность и герметичность;
- низкая степень переохлаждения [8].

Чистые МФП не смогли полностью удовлетворить все требования к применяемым материалам, поскольку обладают такими недостатками, как переохлаждение, низкая теплопроводность и химическая нестабильность. При этом, за исключением МФП на основе металлов, другие типы могут обладать низкой теплопроводностью. Среди этих остальных МФП теплопроводность органических МФП является самой низкой, хотя теплопроводность большинства неорганических МФП на основе неметаллов лишь немногим выше, чем у органических. Таким образом, методы улучшения теплопроводности являются основным направлением исследований в области повышения производительности и расширения сферы применения МФП. С развитием технологий МФП применялись различные методы для улучшения теплопроводности из-за всё более строгих требований со стороны нужд промышленности. Наиболее важными методами, используемыми в настоящее время, являются рёбра, технология инкапсуляции и добавление наполнителей (филлеров) с высокой теплопроводностью. Метод добавления наполнителей стал основным методом модификации из-за его невысокой стоимости и простоты эксплуатации.

Двигатели современных транспортных средств рассчитаны на потребление излишне большого количества топлива для подогрева охлаждающей воды во время первоначального холодного запуска, что увеличивает выбросы отработавших газов и снижает экономию топлива. Для решения этой проблемы были предложены альтернативные методы подогрева, такие как подогрев и хранение охлаждающей воды с помощью электрического нагревателя с последующим пополнением запаса энергии в двигателе во время зажигания или установка отдельного теплообменника в выхлопной трубе для улавливания отработанного тепла [9].

Длительный срок службы системы накопления скрытого тепла ограничен плохой теплофизической стабильностью МФП и коррозионными процессами между МФП и материалом ёмкости. В последние два десятилетия многочисленные исследования доказали важность долгосрочной стабильности системы МФП-ёмкость. Исследователи предложили, что до этапа коммерческой разработки МФП должны быть подвергнуты как минимум 1000 термических циклов для проверки долговременной стабильности [10].

Система накопления скрытого тепла с высокой плотностью аккумулирования при почти изотермическом процессе является лучшим выбором для аккумулирования.

Однако из-за низкой теплопроводности и

плохой теплофизической стабильности МФП производительность системы накопления скрытого тепла сильно снижается во время процессов зарядки и разрядки. В результате масштабное практическое использование систем накопления скрытого тепла продолжает оставаться неэффективным. Следовательно, необходимо устранить недостатки системы накопления скрытого тепла, применив различные методы повышения производительности. В опубликованных за последние годы обзорных статьях, посвященных повышению тепловых характеристик систем накопления скрытого тепла, особое внимание уделяется улучшению теплопроводности МФП за счет использования наноструктур, методам улучшения тепловых характеристик МФП в концентрированных солнечных электростанциях, а также влиянию температуры на входе и выходе и массовому расходу теплоносителя на тепловые характеристики МФП [11]. Кроме того, самые последние разработки в области геометрической ориентации ёмкостей посвящены увеличению теплового потока с целью повышения скорости фазового перехода, повышению теплопроводности МФП за счет удлиненных поверхностей и добавок, улучшению теплоаккумулирующей способности за счёт использования нескольких МФП и инкапсуляции МФП для обеспечения лучшей теплопроводности и теплофизической стабильности.

Всё разнообразие методов улучшения показателей МФП можно разделить на два класса: один предназначен для улучшения свойств непосредственно самих МФП, а другой – для оптимизации условий теплопередачи, что включает улучшение конструкции и использование активных теплообменников. Несмотря на то, что в последние годы ведется обширная разработка МФП для систем накопления скрытого тепла, требуется дальнейшее совершенствование механизмов передачи тепла, что, соответственно, улучшит характеристики хранения. Различные методы интенсификации теплообмена в системах накопления скрытого тепла основаны на улучшении тепловых свойств МФП и конструкции теплообменников МФП [12].

Помимо конфигурации установки, многие рабочие параметры влияют на тепловые характеристики установки системы накопления скрытого тепла. Большинство численных прогнозов и экспериментальных проверок для различных рабочих параметров показали, что массовый расход теплоносителя, температура теплоносителя на входе и режимы потока (параллельный поток и

противоток) являются несколькими важными параметрами для оптимизации тепловых характеристик системы накопления скрытого тепла [13]. Более того, существуют различные конструктивные параметры, которые необходимо учитывать для эффективной работы системы накопления скрытого тепла [14]. Эти параметры зависят от конфигурации системы и метода интенсификации теплопередачи, применяемого в системе накопления скрытого тепла. Среди этих конструктивных параметров:

- оптимальная толщина слоя МФП;
- положение МФП;
- расположение труб теплоносителя;
- конфигурация рёбер;
- длина рёбер;
- масса отдельных МФП;
- ориентация теплообменника (вертикальная или горизонтальная);
- радиусы цилиндра (оболочки) МФП;
- отношение диаметра оболочки к диаметру трубы;
- влияние металлических конструкций;
- влияние объемной доли металла [15].

Учет указанных параметров при выборе МФП обеспечит эффективность работы системы накопления скрытого тепла.

Выводы

Разработка системы хранения тепловой энергии на основе МФП для предпускового подогрева автомобильных аккумуляторов требует решений в трёх основных направлениях: выборе непосредственно материала с фазовым переходом, материала для ёмкости с МФП и конструкции теплообменника. В результате проведенного анализа по выбору МФП нами сделан вывод, что в настоящее время парафин является самым доступным и широко применяемым МФП, обладающим и другими достоинствами, что делает его оптимальным материалом для применения в низко- и среднетемпературных системах хранения тепла. Для нивелирования недостатков парафина как МФП (низкая теплопроводность) возможно увеличение площадей поверхностей теплообмена, применение его в смесях с другими МФП, а также инкапсуляция.

В дальнейшем на основе выбранного технического решения будет проведено моделирование в среде COMSOL Multiphysics® для разработки улучшенной системы накопления скрытой теплоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Gumus Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system // Applied Thermal Engineering. – 2009. – Т. 29. – № 4. – pp. 652-660.
2. Sharifi N. et al. Melting and solidification enhancement using a combined heat pipe, foil approach // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Т. 78. – pp. 930-941.
3. Bos P., Amirtham V.A. A review on thermal conductivity enhancement of paraffinwax as latent heat energy storage material. –

- Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – V. 65(C). – pp. 81-100.
4. Jankowski N.R., McCluskey F.R. A review of phase change materials for vehicle component thermal buffering // Applied Energy. – 2014. – T. 113. – pp. 1525-1561.
 5. Jaguemont J., Omar N., Van den Bossche P. Van Mierlo J. (2017). Phase-change materials (PCM) for automotive applications: A review // Applied Thermal Engineering. – 2017. – T. 132. – pp. 308-320.
 6. Farid, M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K., Al-Hallaj, S. (2004). A review on phase change energy storage: materials and applications. Energy conversion and management, 45(9-10), pp. 1597-1615.
 7. Khan Z., Khan Z., Ghafoor A. A review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility // Energy conversion and management. – 2016. – T. 115. – pp. 132-158.
 8. Yang L., Huang J., Zhou F. Thermophysical properties and applications of nano-enhanced PCMs: An update review // Energy conversion and management. – 2020. – T. 214. – pp. 112876.
 9. Park, S., Woo, S., Shon, J., & Lee, K. (2017). Numerical model and simulation of a vehicular heat storage system with phase-change material. Applied Thermal Engineering, 113, pp. 1496-1504.
 10. Kenisarin M., Mahkamov K. Solar energy storage using phase change materials. Renew Sustain Energy Rev 2007;11:1913-65.
 11. Liu M, Saman W, Bruno F. Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phase change thermal storage systems. Renew Sustain Energy Rev 2012;16:2118-32.
 12. Elarem, R, Alqahtani, T, Mellouli, S, et al. A comprehensive review of heat transfer intensification methods for latent heat storage units. Energy Storage. 2021; 3:e127.
 13. Kalapala L, Devanuri JK. Influence of operational and design parameters on the performance of a PCM based heat exchanger for thermal energy storage – a review. J Energy Storage.
 14. Agyenim F. et al. A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTES) // Renewable and sustainable energy reviews. – 2010. – T. 14. – №. 2. – pp. 615-628.
 15. Yu N. et al. Selection and testing of phase change materials in the physical models of buildings for heating and curing of construction elements made of precast concrete // Solar Energy. – 2021. – T. 226. – pp. 309-318.

Автомобильдің іске қосу алдындағы жылытқышында фазаауыстыру материалдарын пайдалану мәселесі

¹**ЕСАУЛКОВ Валерий Сергеевич**, докторант, yessaulkov.val@gmail.com,

²**МАХКАМОВ Хамид**, PhD, профессор, khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk,

¹**ӘБІШЕВ Қайратолла Қайроллаұлы**, т.ғ.к., профессор, a.kairatolla@mail.ru,

¹«Торайғыров университеті» КеАҚ, Қазақстан, Павлодар, Ломов көшесі, 64,

²Нортумбрия университеті, Ұлыбритания, Ньюкасл-апон-Тайн, Кэмден көшесі, Пэндон-билдинг, NE1 8ST,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада фазаауыстыру материалдар негізінде жасырын жылу аккумуляторлар дамуының қазіргі жағдайына және оларды автомобильдерде іске қосу алдындағы жылытқыш ретінде қолдануға шолу жасалды. Фазаауыстыру материалдардың классификациясы қарастырылады, олардың қасиеттеріне, артықшылықтары мен кемшіліктеріне қысқаша сипаттама беріледі. Фазаауыстыру материалдарды қолдана отырып, пассивті жылу сақтау жүйелерін қолдану жылу энергиясын сақтаудың тиімді әдісі болып табылады, өйткені оның жоғары энергия сақтау тығыздығы және оны сақтау үрдісінің изотермиялығы сияқты артықшылықтары бар. Фазаауыстыру материалдың төмен құны мен кең қол жетімділігі зерттеу кезеңінде және жоспарланған жоба үшін материалды таңдауда маңызды мәні бар. Сонымен қатар, жасырын жылу сақтау жүйесінің тиімді жұмыс істеуі үшін әртүрлі құрылымдық параметрлерін ескеру қажет. Жоғарыда баяндалған мәліметтер негізінде іске қосу алдындағы жылытқыштарда осы материалдарды пайдаланудың орындылығы туралы қорытынды жасалады.

Кілт сөздер: фазаауыстыру материалдар, жасырын жылу, пассивті жылу сақтау жүйелері, жасырын жылу аккумуляторы, іске қосу алдындағы жылытқыштар, органикалық фазаауыстыру материалдар, парафиндер, бейорганикалық фазаауыстыру материалдар, жылуалмасстырғыштардың конструктивтік параметрлері, наноқұрылымдар, туынтек түзілушілер.

On the Issue of the Use of Phase-change Materials in the Preheater of a Vehicle

¹**YESSAULKOV Valeriy**, doctoral student, yessaulkov.val@gmail.com,

²**MAHKAMOV Khamid**, PhD, professor, khamid.mahkamov@northumbria.ac.uk,

¹**ABISHEV Kairatolla**, Cand. Tech. Sci., professor, a.kairatolla@mail.ru,

¹NCISC «Toraighyrov University», Kazakhstan, Pavlodar, Lomov Street, 64,

²Northumbria University, United Kingdom, Newcastle-upon-Tyne, Camden Street, Pandon Building, NE1 8ST,

*corresponding author.

Abstract. The article presents an overview of the current state of development of latent heat accumulators using on phase-change materials and their application as a preheater in vehicles. The classification of phase-change materials is given, a brief description of their properties, advantages and disadvantages is presented as well. The use of passive heat

storage systems using phase-change materials is an effective way to store thermal energy, since it has some advantages such as a high energy storage density and isothermal storage process. The low cost and wide availability of phase-change material also bears the great importance at the stage of research and selection of material for the developing device. In addition, it is necessary to take into account the various design parameters that are necessary for the effective operation of the latent heat storage system. In the view of the foregoing, a conclusion is made about the expediency of using these materials in engine preheaters.

Keywords: *phase-change materials, latent heat, latent heat storage systems, latent heat accumulator, preheaters, organic phase-change materials, paraffins, inorganic phase-change materials, design parameters of heat exchangers, nanostructures, nucleating agents.*

REFERENCES

1. M. Gumus Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system //Applied Thermal Engineering. – 2009. – T. 29. – №4. – pp. 652-660.
2. Sharifi N. et al. Melting and solidification enhancement using a combined heat pipe, foil approach//International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – T. 78. – pp. 930-941.
3. Bos P., Amirtham V.A. A review on thermal conductivity enhancement of paraffinwax as latent heat energy storage material. – Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – V. 65(C). – pp. 81-100.
4. Jankowski N.R., McCluskey F.R. A review of phase change materials for vehicle component thermal buffering// Applied Energy. – 2014. – T. 113. – pp. 1525-1561.
5. Jaguemont J., Omar N., Van den Bossche P. Van Mierlo J. (2017). Phase-change materials (PCM) for automotive applications: A review// Applied Thermal Engineering. – 2017. – T. 132. – pp. 308-320.
6. Farid, M. M., Khudhair, A. M., Razack, S. A. K., Al-Hallaj, S. (2004). A review on phase change energy storage: materials and applications. Energy conversion and management, 45(9-10), pp. 1597-1615.
7. Khan Z., Khan Z., Ghafoor A. A review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility //Energy conversion and management. – 2016. – T. 115. – pp. 132-158.
8. Yang L., Huang J., Zhou F. Thermophysical properties and applications of nano-enhanced PCMs: An update review //Energy conversion and management. – 2020. – T. 214. – pp. 112876.
9. Park, S., Woo, S., Shon, J., & Lee, K. (2017). Numerical model and simulation of a vehicular heat storage system with phase-change material. Applied Thermal Engineering, 113, pp. 1496-1504.
10. Kenisarin M, Mahkamov K. Solar energy storage using phase change materials. Renew Sustain Energy Rev 2007;11:1913-65.
11. Liu M, Saman W, Bruno F. Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phase change thermal storage systems. Renew Sustain Energy Rev 2012;16:2118-32.
12. Elarem, R, Alqahtani, T, Mellouli, S, et al. A comprehensive review of heat transfer intensification methods for latent heat storage units. Energy Storage. 2021; 3:e127.
13. Kalapala L, Devanuri JK. Influence of operational and design parameters on the performance of a PCM based heat exchanger for thermal energy storage – a review. J Energy Storage.
14. Agyenim F. et al. A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS) //Renewable and sustainable energy reviews. – 2010. – T. 14. – №. 2. – pp. 615-628.
15. Yu N. et al. Selection and testing of phase change materials in the physical models of buildings for heating and curing of construction elements made of precast concrete //Solar Energy. – 2021. – T. 226. – pp. 309-318.