

SPECIFIC HEAT CAPACITY AND THERMAL CONDUCTIVITY OF HEAT STORAGE MATERIALS BASED ON PARAFFIN, BROWN-COAL WAX AND POLYETHYLENE WAX

Snezhkin Yu., Mykhailyk V., Korinchevska T., Vorobiev L., Dekusha L.

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Abstract. The present paper overviews heat storage materials (HSM) with phase change based on organic compounds. They consist of paraffin, brown-coal wax and polyethylene wax. These materials are produced on an industrial scale for the foundry work. It is shown that heat capacity of HSM in the solid and liquid states can be used for heat storage in addition to the heat of phase change. The results of investigations of phase change during heating and cooling HSM are presented. The studies are carried out by differential scanning calorimetry (DSC). The measurement techniques of the specific heat capacity and the coefficient of thermal conductivity are shown. Temperature dependences of the specific heat capacity of HSM in the solid and liquid states are researched by DSC. Values of the coefficient of thermal conductivity are determined by contact stationary technique of the flat plate over the entire temperature range of the operation of heat storage system.

Keywords: heat storage, phase change, heat capacity, thermal conductivity.

CAPACITATEA SPECIFICĂ ȘI CONDUCTIBILITATEA TERMICĂ SPECIFICĂ A MATERIALELOR DE STOCARE DE CĂLDURĂ PE BAZĂ DE PARAFINĂ, CEARĂ DE LIGNIT ȘI CEARĂ DE POLIETILENĂ

Snejchin Iu., Mihailic V., Corincevscaia T., Vorobiev L., Decușa L.

Institutul de Termofizică Inginerească al Academiei Naționale din Ucraina

Rezumat. Articolul descrie materiale perspective de utilizare în scopul stocării căldurii (MSC) cu tranziție de fază pe baza compușilor organici, care constau dintr-un ansamblu de componente: parafină, ceară de lignit și ceară de polietilenă. Aceste componente sunt produse la scară industrială pentru industria metalurgică. Este studiată posibilitatea de a utiliza în scopuri de stocare nu numai reieșind din căldură de tranziție de fază, dar și luând în considerare capacitatea termică a MSC în stare solidă și lichidă. Sunt prezentate rezultatele cercetării ale proceselor tranzițiilor de fază în timpul încălzirii și răcirii cu utilizarea metodei calorimetriei cu scanare diferențială (DSC). Sunt prezentate metodele de măsurare a capacității termice specifice și a coeficientului de conductivitate termică. Prin metodă DSC sunt cercetate dependențele de temperatură a capacității specifice a MSC în stare solidă și stare lichidă. Valorile coeficientului de conductivitate termică sunt determinate prin metoda plăcii plate în banda de variere a temperaturii de lucru a acumulatorului de căldură.

Cuvinte-cheie: stocare căldură, tranziție de fază, capacitate termică, conductivitate termică.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАРАФИНА, БУРОУГОЛЬНОГО И ПОЛИЭТИЛЕНОВОГО ВОСКОВ

Снежкин Ю.Ф., Михайлик В.А., Коринчевская Т.В., Воробьев Л.И., Декуша Л.В.

Институт технической теплофизики НАН Украины

Аннотация. В работе рассмотрены теплоаккумулирующие материалы (ТАМ) с фазовым переходом на основе органических соединений, состоящие из парафина, бурогоугольного и полиэтиленового восков, выпускаемые в промышленных масштабах для литейного производства. Рассмотрена возможность использования для аккумуляции энергии, помимо теплоты фазового перехода, теплоемкости ТАМ в твердом и жидком состояниях. Показаны результаты исследований фазовых переходов при нагревании и охлаждении ТАМ методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Приведены методики измерения удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности. Методом ДСК исследованы температурные зависимости удельной теплоемкости ТАМ в твердом и жидком состояниях. Значения коэффициента теплопроводности определены контактным стационарным методом плоской пластины во всем температурном диапазоне работы теплового аккумулятора.

Ключевые слова: тепловое аккумулярование, фазовый переход, теплоемкость, теплопроводность.

Введение

Обеспечение стабильной нагрузки на энергосистемы является актуальной проблемой в энергетике. Суточный график потребления электроэнергии в энергосистеме характеризуется резким ростом нагрузки в утренние и вечерние часы и значительным снижением в ночное время. При этом наибольшие проблемы возникают у электрогенерирующих предприятий, так как возможность маневрирования мощностями у них сильно ограничена. Для частичного выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы в Украине, как и в ряде стран Европы, введен льготный ночной тариф на электроэнергию, призванный стимулировать её потребление ночью.

Одним из экономически целесообразных направлений ночного потребления электроэнергии является аккумулярование, что позволяет накапливать энергию ночью по льготному тарифу и использовать ее постепенно в течение дня. В данном случае достаточно эффективным является использование электрических тепловых аккумуляторов.

Среди различных типов тепловых аккумуляторов перспективным является аккумулятор с использованием в качестве рабочего вещества материалов с фазовым переходом [1–4]. Его преимуществом является способность обеспечивать высокую плотность аккумулярования энергии в узком диапазоне температур с незначительным изменением объема теплоаккумулирующего материала (ТАМ) при фазовом переходе [5]. Наиболее распространенными материалами, которые используются для аккумулярования тепловой энергии, являются парафины [4].

В качестве ТАМ нами выбраны смеси на основе органических соединений, используемые в литейном производстве для изготовления моделей. Их выпуск налажен в промышленных масштабах в ООО "Химвоскпром" (г. Александрия, Украина). Смеси представляют собой сплав из парафина, буроугольного и полиэтиленового восков. Главное их преимущество состоит в том, что они в большинстве имеют фазовый переход в области температур, разрешенных санитарными нормами для жилых помещений, в процессе многократного циклического нагрева и охлаждения не теряют свои теплофизические свойства [6], а в цене выгодно отличаются от чистых веществ.

Парафин, основной компонент смесей, является смесью углеводородов предельного ряда с кристаллической структурой. Углеводороды, входящие в состав парафина, представлены твердыми парафинами с температурой плавления 45...65 °С и церезинами (температура плавления 60...80 °С) [7]. Его используют для придания моделям пластичности и устойчивости к трещинообразованию. Буроугольный воск – смесь воска, смолы и асфальтоподобных веществ. Это однородная масса темно-бурого цвета с интервалом плавления 82...90 °С. Имеет высокую прочность и твердость, способствует образованию твердой блестящей поверхности моделей [8]. Полиэтиленовый воск – синтетическое высокомолекулярное соединение с температурой плавления 80...115 °С. Повышает термостойкость и прочность парафина в 1,5 – 2 раза [9].

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) исследованы фазовые переходы при нагревании и охлаждении ТАМ, в результате определены их термодинамические параметры – температурные интервалы, а также энтальпии плавления и кристаллизации (табл. 1). Многократное циклическое нагревание и охлаждение ТАМ показало стабильность их физико-химических свойств, обеспечивающих многолетнюю эксплуатацию в тепловых аккумуляторах [6].

В дериватографе Q-1000 исследована термостойкость ТАМ, эксплуатационная характеристика, от величины которой зависит температура поверхности нагревателей или промежуточного теплового агента в теплоаккумулирующих устройствах [10]. Результаты ранее проведенных исследований физико-химических свойств ТАМ частично представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики теплоаккумулирующих материалов

Смесь, №	Температурный интервал, °С		Теплота фазового перехода, кДж·кг ⁻¹		Температура начала термической деструкции, °С
	плавление	кристаллизация	плавление	кристаллизация	
1 (90% парафина + 10 % буроугольного воска)	28...86	73...21	170,3	152,1	167
2 (85% парафина + 15 % буроугольного воска)	30...86	74...22	174,1	164,4	163
3 (75% парафина + 20 % буроугольного воска + 5% полиэтиленового воска)	30...102	88...22	163,1	139,8	170

Анализ полученных результатов показал, что смеси на основе парафина, буроугольного и полиэтиленового восков имеют достаточно высокие величины теплоты фазовых переходов и обладают термической стойкостью, позволяющей использовать их в качестве рабочих тел теплоаккумулирующих устройств. Введение в состав смеси полиэтиленового воска вызывает расширение температурного диапазона фазового перехода, однако несколько понижает его удельную теплоту, что ставит в выгодное положение состав с 85% парафина и 15 % буроугольного воска.

Кроме того, как видно из ДСК-кривых нагревания (рис.1, а), на участках температур до плавления и после его завершения происходит аккумулирование теплоты за счет повышения внутренней энергии материала. Освобождается эта теплота при охлаждении ТАМ до начала кристаллизации и после ее завершения (рис.1, б). При этом количество энергии, аккумулированной при нагревании и высвободившейся при охлаждении, зависит от теплоемкости ТАМ в твердом и жидком состояниях.

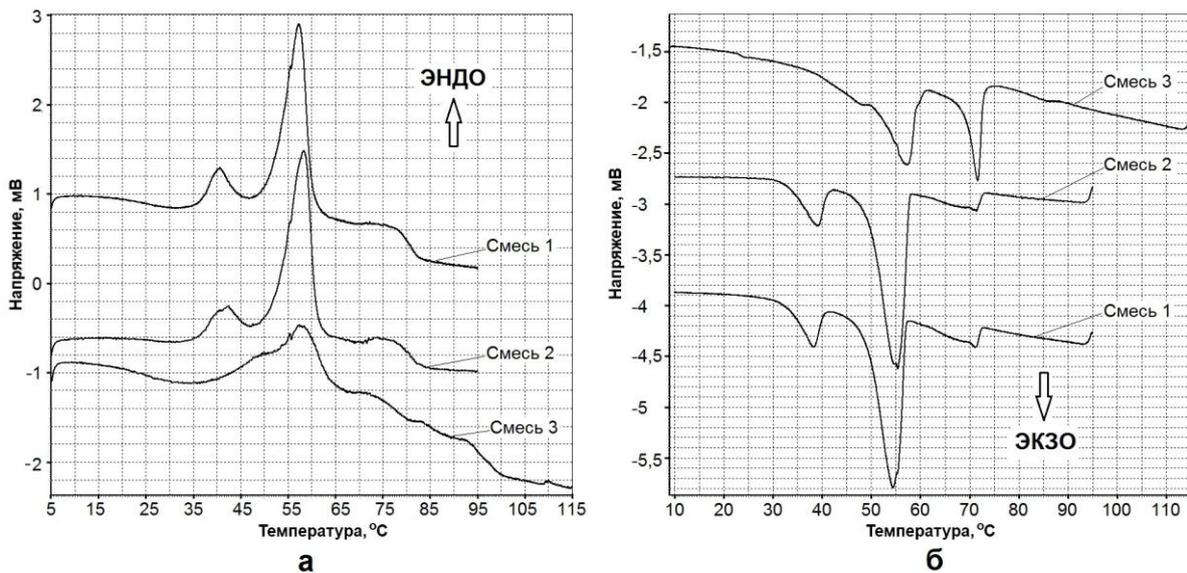


Рис. 1. ДСК-кривые нагревания (а) и охлаждения (б) ТАМ

Теоретический расчет количества теплоты, запасенной аккумулятором с рабочим материалом на основе органических соединений с фазовым переходом, может быть выполнен по формуле:

$$Q = c^{TB} f(T) m (T_{пл}^H - T_1) + \Delta H_{пл} m + c^J f(T) m (T_2 - T_{пл}^K) \quad (1)$$

где:

c^{TB} – удельная теплоемкость ТАМ в твердом состоянии, кДж·кг⁻¹·К⁻¹;

c^J – удельная теплоемкость ТАМ в жидком состоянии, кДж·кг⁻¹·К⁻¹;

m – масса ТАМ, кг;

T_1 – температура окружающей среды, °С;

T_2 – конечная температура нагревания ТАМ, °С;

$T_{пл}^H$ – начальная температура плавления ТАМ, °С;

$T_{пл}^K$ – конечная температура плавления ТАМ, °С;

$\Delta H_{пл}$ – удельная теплота плавления ТАМ, кДж·кг⁻¹.

Количество теплоты отдаваемой аккумулятором в окружающую среду при охлаждении в том же температурном диапазоне равно количеству аккумулированной теплоты.

Неизвестными в уравнении (1) являются температурные зависимости удельной теплоемкости ТАМ в твердом $c^{TB} = f(T)$ и жидком $c^J = f(T)$ состояниях.

Для расчета теплообмена в аккумуляторе в режимах аккумуляции и разрядки также необходимы данные об изменении теплопроводности ТАМ.

В данной статье представлены результаты исследований температурных зависимостей коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости ТАМ в твердом и жидком состояниях.

Определение удельной теплоемкости ТАМ

Теплоемкость смесей определялась в дифференциальном сканирующем микрокалориметре ДСМ-2М, оснащенный компьютерной программой сбора и обработки информации «ThermCap», написанной на языке программирования Delphi. Термостатирование измерительного блока микрокалориметра осуществлялось водным раствором этанола, охлажденным в криостате МК-70 до -30 °С. Для предотвращения конденсации влаги в калориметрических ячейках измерительный блок заполняли осушенным газообразным гелием, поток которого контролировали в процессе измерений.

Образцы ТАМ массой 11...13 мг закрывали в герметичные алюминиевые контейнеры с массой, отличающейся не более чем на ±0,02 мг.

Измерение осуществляли путем пошагового сканирования по методике, широко используемой во многих исследовательских лабораториях при определении удельной теплоемкости веществ и материалов [11, 12]. Температурный диапазон был разделен на интервалы, в конечных точках которых измеряли отклонения кривой ДСК от базовой линии после перевода микрокалориметра из режима сканирования в изотермический режим. Измерение отклонений повторяли не менее трех раз. Для этого каждый раз содержимое ячеек охлаждали до стартовой температуры, величина которой была на 20 °С ниже конечной температуры сканирования. Скорость сканирования составляла 8 К/мин.

Удельную теплоемкость измеряли в температурных интервалах 5...30 и 85...115 °С, соответствующих твердому и жидкому состоянию ТАМ.

На всех этапах измерения в ячейке сравнения находился пустой контейнер. В ходе измерений в измерительную ячейку поочередно помещали пустой контейнер, контейнер с эталонной мерой теплоемкости и контейнер с исследуемым образцом и определяли отклонения ДСК-кривой пустого контейнера (Y), эталонной меры теплоемкости c_s массой m_s (Y_s) и исследуемого образца массой m_m (Y_m) от базовой линии. Расчет удельной теплоемкости исследуемого материала производили по формуле (2):

$$c_m = \frac{(\bar{Y}_m \pm \bar{Y})m_s c_s}{(\bar{Y}_s \pm \bar{Y})m_m} \quad (2)$$

Средние значения абсолютных величин \bar{Y} складывали со средними величинами \bar{Y}_m и \bar{Y}_s , когда отклонения не совпадали по направлению относительно базовой линии и вычитали, если направления отклонений совпадали.

В качестве эталонной меры теплоемкости использовали синтетический корунд $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, обладающий стандартными термодинамическими свойствами [13]. Удельную теплоемкость стандартного образца рассчитывали по аппроксимирующим температурные зависимости полиномам:

в интервале температур $T = 190\text{--}320$ К

$$\bar{n}_y = -49,024407 + 0,651534\dot{\Delta} - 771,53 \cdot 10^{-6} \dot{\Delta}^2 + 0,889 \cdot 10^{-7} \dot{\Delta}^3$$

и в интервале температур $T = 320\text{--}400$ К

$$\bar{n}_y = 147,4338 - 0,0281\dot{\Delta} + 0,000045\dot{\Delta}^2 - 18190,6836/(\dot{\Delta} - 13,5) + 3,4768 \cdot 10^{-13}(\dot{\Delta} - 273,15)^4.$$

Для оценки точности измерений была определена удельная теплоемкость образцовой меры (синтетического корунда) из теплового комплекта калориметра. Средняя квадратичная ошибка отдельного измерения и относительная погрешность составили $0,155 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ и $0,67 \%$ соответственно.

Результаты определения удельной теплоемкости ТАМ в указанных интервалах температур представлены на рис. 2. В области от 30 до 80 °С наблюдается фазовый переход (плавление), поэтому измерение теплоемкости не производилось. Как видно с рисунка температурные зависимости удельной теплоемкости исследованных веществ и материалов в твердом и жидком состояниях имеют разный характер. В низкотемпературной области зависимости имеют большую крутизну, чем в области высоких температур, т.е. расплавы аккумулируют теплоту в основном за счет повышения температуры.

Наибольшую удельную теплоемкость, как в твердом, так и в жидком состояниях имеет парафин, наименьшую – буроугольный воск. Удельные теплоемкости смесей 1, 2 и 3 занимают промежуточное положение между значениями удельной теплоемкости парафина и буроугольного воска.

Проверочный расчет теплоемкости согласно правилу аддитивности показал, что вычисленные значения удельной теплоемкости смесей, как суммы парциальных величин экспериментально определенных теплоемкостей компонентов, имеют небольшое различие с измеренными калориметрическим методом. При 20 °С для смеси 1 расхождение значений составляет $7,6 \%$, а для смеси 2 – $8,0 \%$. При 100 °С для смеси 1 расхождение в значениях удельной теплоемкости составляет $0,3 \%$, а для смеси 2 – $4,3 \%$.

Как показывает опыт, использование правила аддитивности для расчета удельной теплоемкости композиционных материалов органического происхождения допускается

лишь на стадии предварительной оценки. Из-за возможного взаимодействия компонентов, смеси могут приобретать новые свойства, что требует экспериментального определения теплоемкости.

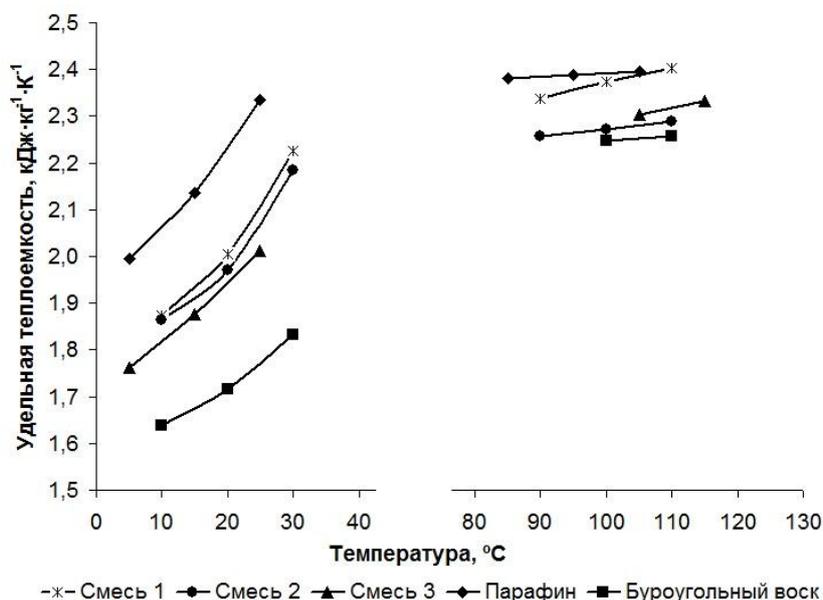


Рис. 2. Зависимости удельной теплоемкости образцов ТАМ от температуры

Определение теплопроводности ТАМ

На теплопроводность материала влияет большое число параметров – температура, структура и состояние вещества, внешнее воздействие и др. Точное ее определение расчетным путем практически невозможно и поэтому значение коэффициента теплопроводности находят экспериментально.

Объектом исследования выбрана смесь 2, имеющая наивысшую величину энтальпии плавления и кристаллизации. Теплопроводность смеси определяли методом плоской пластины на разработанном и изготовленном в ИТТФ НАНУ приборе ИТ-7-60НМ, предназначенном для измерения теплопроводности твердых, мелкодисперсных сыпучих и жидких материалов.

Элементы прибора образуют ячейку-контейнер для образца в виде короткого цилиндра. Образец в ячейке-контейнере размещен между источником и стоком теплоты (нагревателем и холодильником) прибора, а боковые грани образца изолированы кольцом из теплоизоляционного материала. При измерениях поддерживают постоянные температуры нагревателя и холодильника прибора, а соответственно и постоянную разность температуры на поверхностях образца. Теплосъём со стока теплоты прибора осуществляется конвективно – продувкой окружающего воздуха через радиатор холодильника.

Исследования ТАМ, изменяющих свое агрегатное состояние в процессе исследований, проводилось с применением открытых ячеек-контейнеров с карманом для компенсации изменения объёма. Открытая сверху ячейка-контейнер (при снятом нагревателе) нагревалась до температуры на 3...5 К выше температуры плавления исследуемого материала и заполнялась порциями материала по мере его плавления. Добавление материала проводилось до заполнения всего объёма ячейки, включая карман. Затем устанавливался верхний нагреватель – ячейка закрывалась и медленно охлаждалась. При этом часть материала из кармана переходит в диск образца. Толщина этого диска определяется параметрами конструкции ячейки-контейнера.

Для измерения теплопроводности при заданной температуре образца устанавливают температуры нагревателя и холодильника прибора с разницей в 5...10 К. Для минимизации боковых тепловых потерь образца, температуру защитного экрана прибора устанавливают соответствующую средней температуре между нагревателем и холодильником. После установления стационарного теплового режима проводят серию измерений сигналов преобразователей теплового потока (ПТП) и термоэлектрических преобразователей температуры, по которым рассчитывают средние значения тепловых потоков и температур.

Значение средней температуры образца t_{cp} и значение теплопроводности при этой температуре $\lambda(t_{cp})$ рассчитывают по формулам (3) и (4).

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (3)$$

$$\lambda(t_{cp}) = \frac{H_{обр}}{\frac{2(t_1 - t_2)}{q_1 + q_2} - R_{бал}} \quad (4)$$

где t_1, t_2 – значения температуры, найденные по показаниям термоэлектрических преобразователей, установленных над и под образцом, К;

q_1, q_2 – значения плотности теплового потока, найденные по показаниям ПТП, установленных над и под образцом, Вт·м⁻²;

$H_{обр}$ – толщина образца, м;

$R_{бал}$ – балластное тепловое сопротивление между встроенными термоэлектрическими преобразователями и поверхностями образца, К·Вт⁻¹.

Исследование теплопроводности теплоаккумулирующего материала состоит из серии экспериментов, для каждого из которых задается средняя температура образца. Измерения начинают при минимальном значении температур из рабочего диапазона и продолжают, увеличивая значение средней температуры.

Пределы основной относительной погрешности измерения коэффициента теплопроводности составляют $\pm 3...5\%$.

Результаты исследования теплопроводности представлены на рис. 3.

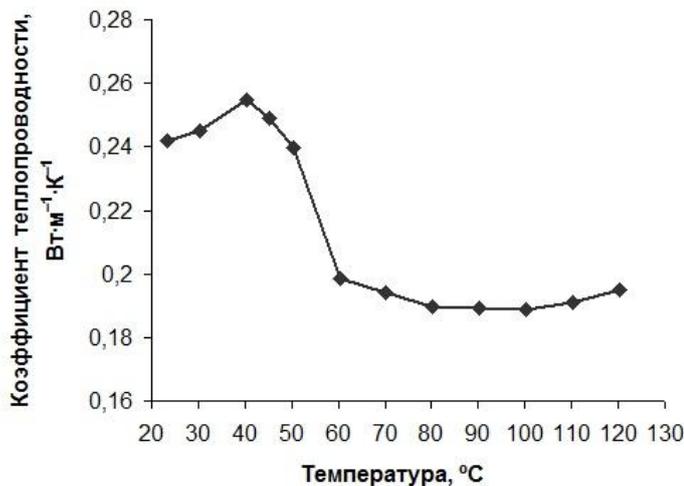


Рис. 3. Зависимости коэффициента теплопроводности от температуры (смесь №2)

В интервале температур 20...30 °С, характерного для твердого состояния ТАМ, наблюдается постепенное увеличение коэффициента теплопроводности с ростом температуры – 0,242...0,245 Вт·м⁻¹·К⁻¹. Скачок значений коэффициента теплопроводности в интервале 40...80 °С объясняется фазовым переходом материала из твердого состояния в жидкое. Для жидкого состояния (80...120 °С) также характерно увеличение коэффициента теплопроводности с ростом температуры. Хотя сами значения коэффициента теплопроводности для жидкого состояния (0,189...0,198 Вт·м⁻¹·К⁻¹) изменяются незначительно.

Выводы

В работе подвергнуты испытаниям теплоаккумулирующие материалы на основе органических соединений с фазовым переходом в области температур, разрешенных санитарными нормами для жилых помещений.

В результате исследований, проведенных методом ДСК, получены температурные зависимости удельной теплоемкости смесей на основе парафина, буроугольного и полиэтиленового восков в твердом и жидком состояниях. Несмотря на более высокие значения удельной теплоемкости состава смеси с полиэтиленовым воском в жидком состоянии по сравнению с составом, содержащим 85 % парафина и 15% буроугольного воска, из-за снижения удельной теплоты перехода, приводящей к уменьшению емкости аккумулятора, этот состав не включен в перечень материалов для использования в качестве теплоаккумулирующих.

Во всем температурном диапазоне работы теплового аккумулятора контактным стационарным методом плоской пластины определены значения коэффициента теплопроводности смеси, содержащей 85 % парафина и 15% буроугольного воска, рекомендованной для применения в качестве теплоаккумулирующего материала.

Показана возможность использования для аккумулирования энергии, помимо теплоты фазового перехода, теплоемкости исследованных теплоаккумулирующих материалов в твердом и жидком состояниях.

Полученные данные необходимы для составления полного теплового баланса и расчета теплообмена на этапах накопления теплоты аккумулятором и его разрядки.

Литература

- [1] Abhat A. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials / A. Abhat // *Solar Energy*. – 1983. – Vol. 30. – P. 313–332.
- [2] Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications / B. Zalba, J. Marin, L. Cabeza, H. Mehling // *Applied Thermal Engineering*. – 2003. – Vol. 23. – P. 251–283.
- [3] Sharma S.D. Latent heat storage materials and systems: A review / S.D. Sharma, K. Sagar // *International Journal of Green Energy*. – 2005. – Vol. 2. – P. 1–56.
- [4] Ukrainczyk N. Thermophysical Comparison of Five Commercial Paraffin Waxes as Latent Heat Storage Materials / N. Ukrainczyk, S. Kurajica, J. Sipusic // *Chemical & Biochemical Engineering Quarterly* / – 2010. – Vol. 24., No.2. – P. 129–137.
- [5] Korinchevsika T.V. Perspektivny metodi akumulivanna teplovoi energhii / T.V. Korinchevsika // *Naukovi pratsi Odesikoi natsionalnoi akademii harchiovyh tehnologhii, Min. Osviti i nauki Ukraini*. – Odesa: 2010. – Vip. 37. – s. 236 – 241. (in Ukraine)
- [6] Teplofizicheskie svoistva teploakkumuliruiuschih materialov na osnove organicheskikh soedinenii / V.A. Mihailik, Iu.F. Snejkin, T.V. Korinchevsikaia, A.S. Parneakov, V.A. Postnikov // *Promyshlennaia teplotehnika*– 2011. – T. 33, Nr.5. – s. 96–103. (in Russian)
- [7] Pereverzev A.N. Proizvodstvo parafinov / A.N. Pereverzev, N.F. Bogdanov, Iu.N. Roscin – M. : Himia, 1973. – 224 s. (in Russian)

- [8] Modelinye sostavy. Ishodnye materialy [Electronii resurs] // UZTSM [sait] – Rejim dostupa: <http://www.uzcm.ru/spravka/tech/model/1.php> (in Russian)
- [9] Vosk polietilenovii [Electronii resurs] // Ukrbelpolimir [sait] – Rejim dostupa: <http://ubp.kh.ua/faq/linejnyj-polijetilen-nizkoj-plotnosti.html> (in Russian)
- [10] Snejkin Iu. F. termichna ctiikisti kompozitsiinyh teploakumuliuuchih materialiv na osnovi organichnih spoluk / Iu. F. Snejkin, V. A. Mihailik, T.V. Korinchevsika // Visnik Natsionalinogo universitetu «Livivska politehnika» «Himia, tehnologhia rechiovin ta ih zastosuvannea» – 2013. – Nr.761. – s.270–273. (in Ukraine)
- [11] Opredelenie teploemkosti vlagosoderjascih materialov s pomosciu skaniruiuschei kalorimetrii / V.A. Mihailik, Iu. F. Snejkin, A.F. Nemchin, E.O. Davidova // Promyshlennaia teplotekhnika – 2002. – T. 24, Nr. 5. – s. 92–96. (in Russian)
- [12] Plastmasi. Diferentsialina skanuvalina kalorimetriia. Chastina 4. Vznachennea pitomoi teploemkosti : DSTU ISO 11357-4:2010 (ISO 11357-4:2005, IDT). – [Chinnii vid 01-01-2012].– K. : Derjspojivstandart Ukraini, 2011. – 12s. – (Natsionalini standarti Ukraini) (in Ukraine)
- [13] Oleinik B.N. Tochnaia kalorimetriia / B.N. Oleinik. – 2-e izd., pererab. – M. : Izd. standartov, 1973. – 208 s. (in Russian)

Сведения об авторах:



Снежкин Юрий Федорович. Институт технической теплофизики Национальной Академии наук Украины, зам. директора, член-корреспондент НАН Украины, д.т.н., профессор. Область научных интересов: процессы тепломассопереноса и их интенсификация, исследования кинетики конвективной сушки, разработка методов сушки различного рода материалов, разработка и создание энергоресурсосберегающих теплотехнологий и оборудования. E-mail: ntps@bk.ru



Михайлик Вячеслав Аврамович. Институт технической теплофизики Национальной Академии наук Украины, ведущий научный сотрудник, к.т.н. Область научных интересов: термический анализ, калориметрия, биотопливо, аккумулирование тепловой энергии. E-mail: mhlk45@gmail.com



Коринчевская Татьяна Владимировна. Институт технической теплофизики Национальной Академии наук Украины, научный сотрудник. Область научных интересов: аккумулирование тепловой энергии с применением материалов с фазовым переходом, термический анализ, калориметрия. E-mail: tvkorin@gmail.com



Воробьёв Леонид Иосифович. Институт технической теплофизики Национальной Академии наук Украины, ведущий научный сотрудник, к.т.н. Область научных интересов: приборы и методы измерения тепловых величин. E-mail: teplomer@ukr.net



Декуша Леонид Васильевич. Институт технической теплофизики Национальной Академии наук Украины, заведующий отделом теплотеметрии, к.т.н. Область научных интересов: приборы и методы измерения тепловых величин. E-mail: teplomer@ukr.net