

УДК 543.226+69.059

**В. Д. АЛЕКСАНДРОВ^а, О. В. СОБОЛЬ^а, О. В. АЛЕКСАНДРОВА^а, А. Ю. СОБОЛЕВ^а, Е. А. ПОКИНТЕЛИЦА^а,
Д. П. ЛОЙКО^б, Ш. К. АМЕРХАНОВА^с**

^аДонбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^бГосударственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», ^сКарагандинский национальный университет им. Е. А. Букетова

ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В статье дан краткий анализ проблемы создания теплоаккумулирующих материалов на основе фазовых превращений, использующихся в строительной индустрии. Предлагаются методология и способы разработки эффективных теплоаккумулирующих материалов. В их основе лежат систематические исследования теплофизических свойств материалов, влияния термической предыстории фаз на параметры плавления и кристаллизации, поиск наиболее эффективных составов путем построения равновесных и неравновесных диаграмм состояния. Предложена номенклатура веществ, пригодных для создания ФПТАМ.

теплоаккумулирующие материалы, теплоаккумуляторы, строительная индустрия, фазовый переход, плавление, кристаллизация, переохлаждение, энтальпия плавления, термический анализ, диаграммы состояния, эвтектика

Аккумуляция теплоты за счет использования свойств теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) получило широкое применение в строительной индустрии [1–2] для обеспечения комфортных условий в жилых и производственных помещениях.

Такие строительные материалы, как бетон, кирпич, саман, камень, древесина, являются достаточно хорошими ТАМ, поскольку обладают высокими показателями теплоемкости. Эти вещества напрямую поглощают и излучают поглощенную энергию при нагревании и последующем охлаждении. Так, при освещении солнечными лучами они аккумулируют энергию видимого света и длинноволнового ИК-излучения. Эта энергия затем благодаря теплопроводности окружающей среды распространяется по помещению. Для расширения номенклатуры ТАМ пассивного типа разрабатываются различные композиционные смеси. Например, композиция (Патент РФ JST 22 5591 8, МПК С04В28/02, опубл. 10.07.2005 г.), которая включает портландцемент, керамический песок, полимерсодержащий пластификатор, железосодержащий пигмент и воду, предназначена для изготовления стендовых изделий. Известна бетонная смесь для изготовления строительных изделий (Патент РФ JST 2179160, МПК С04В28/06 опубл. 10.02.2002 г.), содержащая глиноземистый цемент, жидкое стекло и заполнители различных фракций. Целый ряд изобретений рекомендуют использовать ФПТАМ для изготовления и строительства теплоаккумулирующих камер, каминов, печей, для производства облицовочных декоративных элементов различных архитектурных форм.

Кроме пассивных ТАМ, широкое распространение получили т. н. фазопереходные теплоаккумулирующие материалы (ФПТАМ). В фазопереходных ТАМ, например, при плавлении и кристаллизации, поглощается и выделяется теплота фазового перехода. Для использования этих свойств ФПТАМ конструируются соответствующие теплоаккумуляторы (ТА), либо разрабатываются различные конструктивные изделия. Аккумуляторы теплоты фазового перехода в строительном деле в основном предназначены для обогрева помещений. Классическим примером использования ФПТАМ является поддержание температуры помещения за счет периодического поглощения и выделения теплоты фазового перехода в дневное и ночное время, особенно при заморозках.

© В. Д. Александров, О. В. Соболев, О. В. Александрова, А. Ю. Соболев, Е. А. Покинтелица, Д. П. Лойко, Ш. К. Амерханова, 2016

Кроме того, ФПТАМ применяются при изготовлении спецодежды строителям, монтажникам, работникам жилищно-коммунальных служб при работе в суровых зимних условиях.

Приведем некоторые примеры использования ФПТАМ в строительном деле. Так, в патентах [3, 4] предлагается стеновые панели здания выполнять многослойной с ФПТАМ. Данные панели обеспечивают уменьшение тепловых потерь, увеличивают теплоаккумулирующую способность за счет фазового перехода (т.к. энтальпия плавления ФПТАМ значительно больше теплоты за счет теплоемкости бетона, камня и др.), предохраняют здание от перегрева летом и переохлаждения зимой.

Для повышения аккумулирующей способности и обеспечения регулирования теплового режима помещений рекомендуются стеновые панели и другие конструкционные элементы выполнять с использованием ФПТАМ [5].

Известный химический концерн BASF разработал производство ФПТАМ. Они представляют собой микрокапсулы из полимеров, внутри которых находится вещество (в основном парафин или глауберова соль), имеющее фазовый переход при температурах, близких к комнатной [6]. Микрокапсулы размером несколько микрон вводились в состав различных строительных материалов (шпатлевки, штукатурки, ДСП, ДВП и др.) Эти капсулы обладают высокой прочностью, и поэтому их добавка не требует изменений в технологиях работы со стройматериалами. Избыточная теплота, поглощенная в течение дня, в ночное время высвобождается обратно, что «сглаживает» температурные колебания, создавая сбалансированный климат внутри помещений. Можно отметить изобретение [7], где описывается ТАМ, состоящий из полимерного связывающего и теплоаккумулирующего вещества (кристаллогидрата). Сущность изобретения заключается в том, что при действии высокотемпературного теплового поля кристаллогидрат претерпевает ряд физико-химических превращений, сопровождаемых эндотермическими эффектами (дегидратация, испарения воды, нагрев кристаллизационной воды). Состав позволяет получать покрытия, устойчивые к действию высокотемпературных нагрузок, возникающих при пожаре.

Для успешной работы различных теплоаккумулирующих устройств важны не только конструктивные решения, но и поиск наиболее эффективных веществ, применяемых в качестве ФПТАМ.

Аккумулирующая среда на основе фазового перехода должна иметь следующие свойства:

- высокую энтальпию фазового перехода и плотность;
- удобную для эксплуатационных условий температуру плавления;
- высокую теплоемкость в твердой и жидкой фазах;
- высокую теплопроводность в твердой и жидкой фазах;
- отсутствие тенденции к расслоению теплоаккумулирующего материала и температурную стабильность;
- отсутствие возможности переохлаждения при затвердении и перегрева при плавлении;
- низкое термическое расширение и незначительное изменение объема при плавлении;
- слабую химическую активность, что позволяет использовать недорогие конструкционные материалы для изготовления тепловых аккумуляторов и вспомогательного оборудования;
- безопасность (отсутствие отравляющих паров, а также опасных реакций с рабочей или теплообменной средой).

В качестве ФПТАМ используются как индивидуальные вещества, так и их смеси. Смеси, в основном эвтектического состава, готовят с целью поиска необходимого температурного интервала работы теплоаккумулятора и снижения переохлаждения. Кроме того, для предотвращения расслаивания жидкой фазы (например, гидратов) и стимулирования кристаллизации в смесь вводят различные ингибиторы. Однако поиск соответствующих смесей ингибиторов зачастую носит интуитивный и случайный характер. Для строгого научного подхода к этой проблеме необходимы систематические исследования условий, вызывающих неравновесную кристаллизацию, устойчивость теплофизических характеристик, построения и анализа равновесных и неравновесных диаграмм состояния.

На кафедре физики и физического материаловедения нашей академии на протяжении последних 10 лет ведутся исследования по поиску веществ, обладающих перечисленными свойствами, пригодными для разработки теплоаккумулирующих материалов с использованием теплоты плавления и кристаллизации. Объектами исследования являлись низкомолекулярные органические вещества и их смеси, водные растворы солей натрия, кристаллогидраты. Для изучения теплофизических свойств ФПТАМ нами разработаны специальные методы исследования. Это так называемый циклический термический анализ (ЦТА) [8] и совмещенный метод ЦТА и ДТА [9]. Суть метода ЦТА заключается в непрерывной циклической записи кривых нагревания-охлаждения в заданном температурном интервале, включающем тот или иной фазовый переход. В качестве примеров на рис. 1–3 приведены

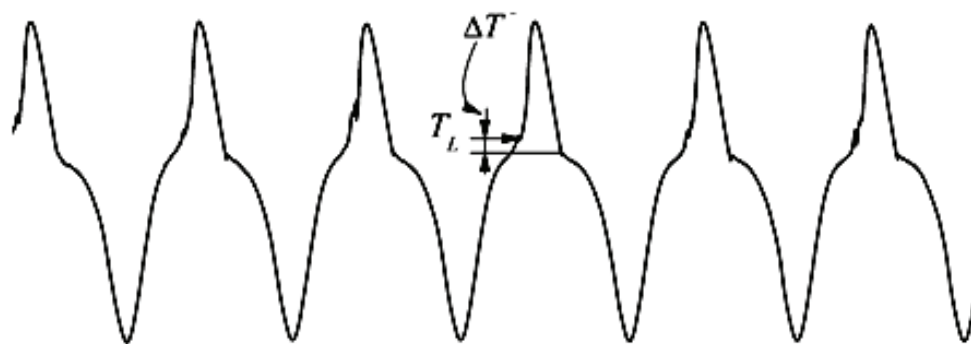


Рисунок 1 – Серия кривых нагрева и охлаждения, характеризующих плавление и кристаллизацию, пальмитиновой кислоты.

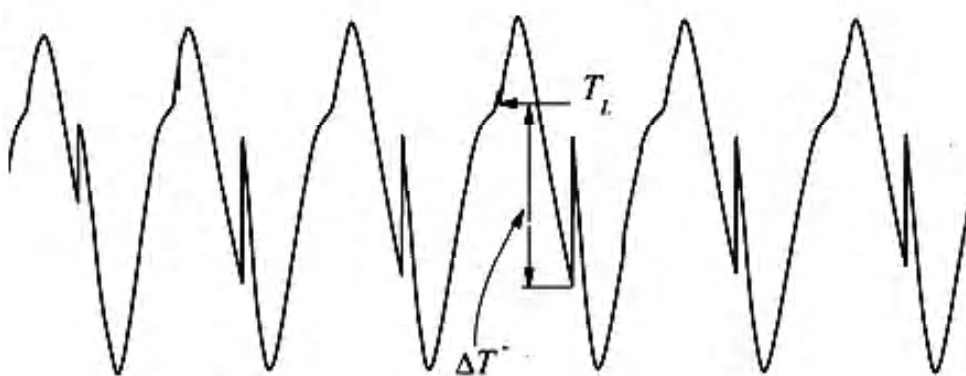


Рисунок 2 – Серия кривых нагрева и охлаждения, характеризующих плавление и кристаллизацию, бензойной кислоты.

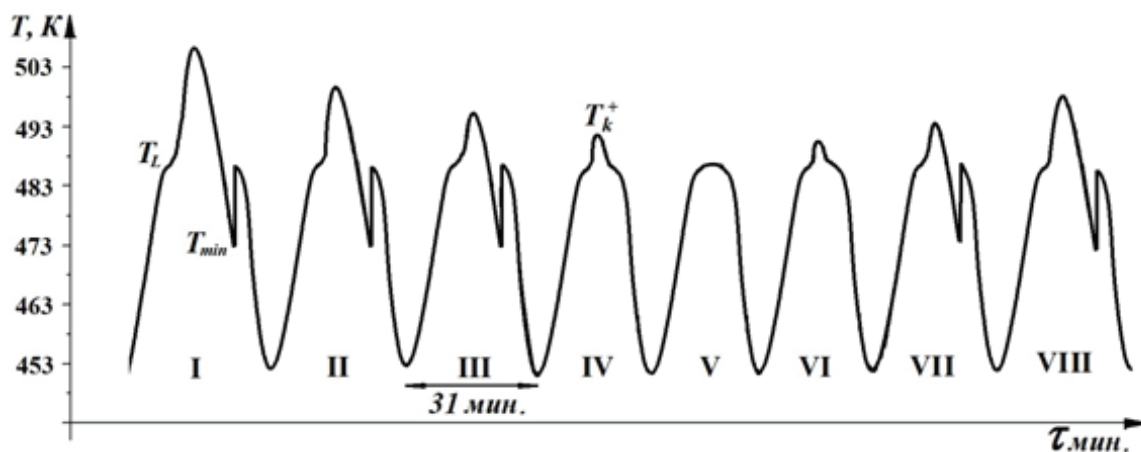


Рисунок 3 – Серия кривых нагрева и охлаждения, характеризующих кристаллизацию р-терфенила с переохлаждением и без него.

серии термоциклов нагрева и охлаждения однокомпонентных веществ, отражающих суть метода ЦТА.

С помощью данного метода удалось решить одну из основных проблем ФПТАМ, а именно значительно уменьшить их склонность к переохлаждениям и взрывным кристаллизациям (рис. 3). Практически для всех индивидуальных веществ было установлено резкое уменьшение переохлаждения в

случае, если жидкая фаза прогревалась до некоторой критической величины. Таким образом, были обнаружены «критические» границы перегрева жидкой фазы ΔT_k^+ относительно температуры плавления, разграничивающие последующие процессы кристаллизации от взрывной (после ощутимых переохлаждений) к квазиравновесной с незначительным переохлаждением (рис. 4).

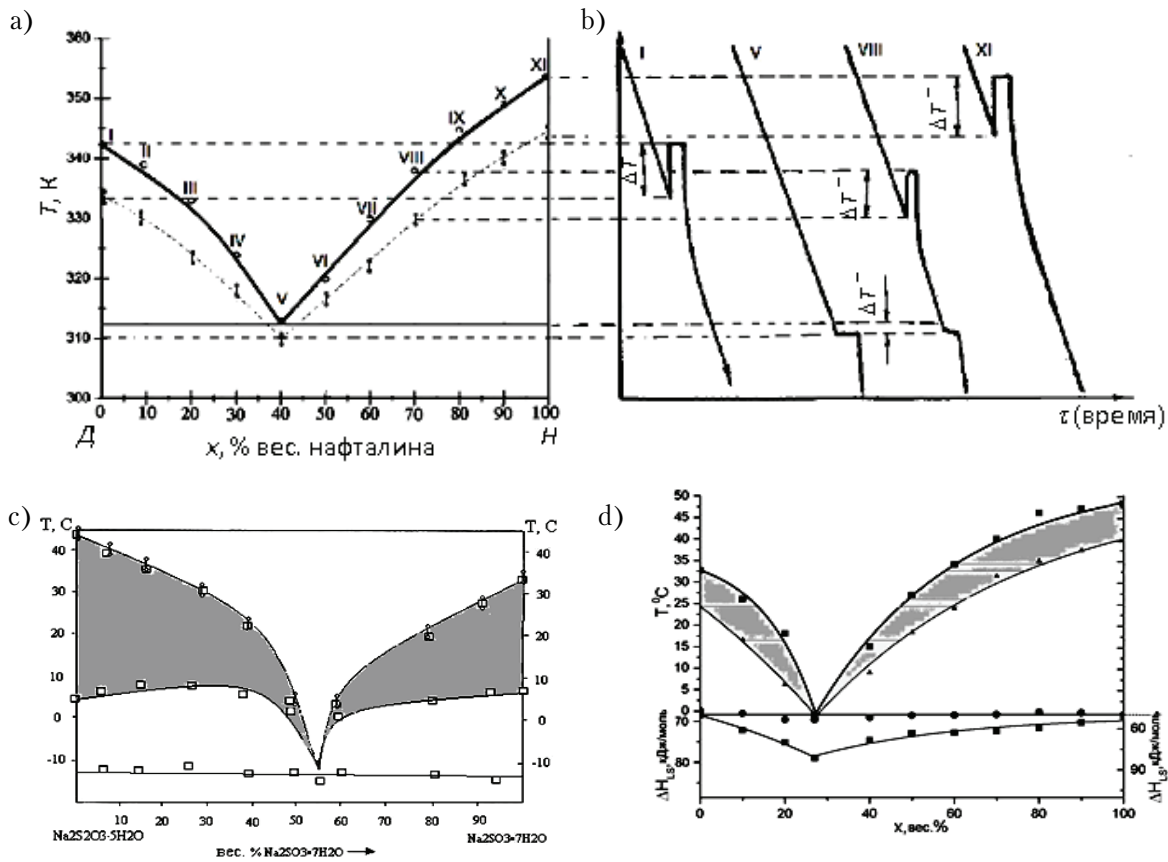


Рисунок 4 – Равновесные и неравновесные диаграммы состояния, построенные по термограммам нагревания-охлаждения.

В таблицах 1 и 2 приведены теплофизические характеристики исследованных веществ (кристаллогидратов и низкомолекулярных органических соединений) с указанием критических перегревов и переохлаждений.

Таблица 1 – Характеристики неорганических веществ, используемых в качестве ТАМ

№	Вещество	Химическая формула	Температура плавления, °С	Теплота плавления кДж/кг	Переохл. ΔT , К	
					при $\Delta T^+ > \Delta T_k^+$	при $\Delta T^+ < \Delta T_k^+$
1	Пентагидрат тиосульфата натрия	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	48,0	206,0	44	2–3
2	Декагидрат сульфата натрия	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32,5	251,0	16	1–3
3	Гептагидрат сульфита натрия	$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	33,4	179,0	25	2–4
4	Декагидрат карбоната натрия	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	22,0–36,1	247,6	13	1–2
5	Тригидрат ацетата натрия	$\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	58	272,4	70	4–5
6	Вода	H_2O	0	335	8	0

Таблица 2 – Характеристики органических веществ, используемых в качестве ТАМ

№	Вещество	Химическая формула	Температура плавления, °С	Теплота плавления кДж/кг	Переохл. ΔT , К	
					при $\Delta T^+ > \Delta T_k^+$	при $\Delta T^+ < \Delta T_k^+$
1	Дифенил	$C_{12}H_{10}$	71,1	190	10	0–1
2	Нафталин	$C_{10}H_8$	80,3	147	10	0–1
3	Дибензил	$C_{14}H_{14}$	52,5	126,4	22	1–3
4	Парафин	–	55,5	210	2,5	0
5	О-терфинил	$C_{18}H_{14-1,2}$	56,3	74,7	32	3–4
6	М-терфинил	$C_{18}H_{14-1,3}$	87,5	134,6	37	3–4
7	Р-терфинил	$C_{18}H_{14-1,4}$	212,7	154,2	12	1–2

Таким образом, для индивидуальных однокомпонентных веществ удалось выявить условия, при которых переохладения снижаются до минимальных значений без использования ингибиторов и внешних воздействий. При термоциклировании проявляется еще одна особенность фазопереходного вещества, «работающего» в установленном режиме – устойчивость равновесных фазовых переходов в результате многократного термоциклирования (рис. 2).

Применение многокомпонентных систем обеспечивает определенное преимущество перед однокомпонентными ФПТАМ. Это и возможность выбора количественного соотношения компонентов в смесях с наименьшими предкристаллизационными переохладениями и высокими значениями теплот фазовых превращений. Это и использование дорогостоящих веществ с высокими термоаккумулирующими свойствами наряду с дешевыми с сохранением теплоемкостных характеристик ТАМ. Как показали наши опыты над бинарными системами, эффективным методом в этом плане является построение соответствующих равновесных и неравновесных диаграмм состояния по термограммам нагревания-охлаждения. На рис. 4 представлены некоторые диаграммы с термограммами охлаждения, отражающие суть поиска наиболее оптимального состава, соответствующего требованиям к ТАМ. На основании исследований было установлено, что наиболее приемлемыми составами в смесях являются эвтектические. Именно эвтектические составы обладают наименьшими переохладениями из всех остальных смесей в данной системе (рис. 4).

Кроме того, в отличие однокомпонентных веществ квазиравновесная кристаллизация эвтектического состава с минимальными переохладениями не зависит от степени перегрева жидкой фазы, а экзо- и эндотермические процессы устойчивы к многократному термоциклированию (рис. 5).

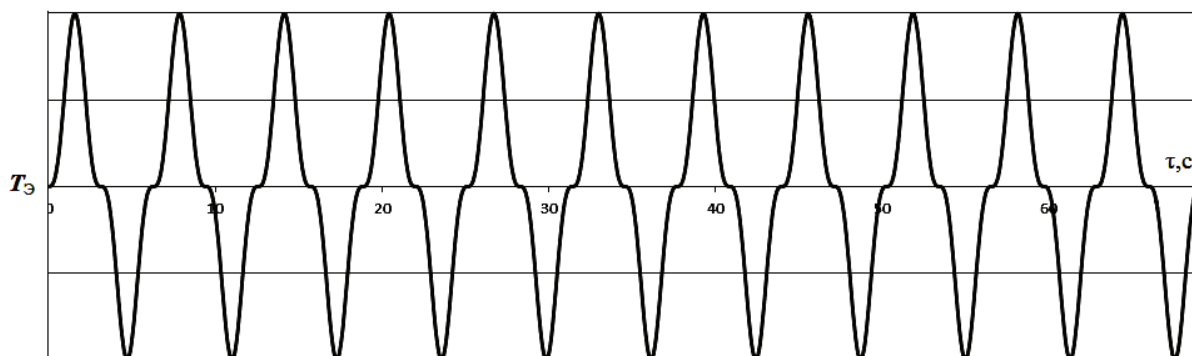


Рисунок 5 – Термограммы эвтектического состава 58 % дифенила + 42 % нафталина, характеризующие устойчивое отсутствие переохладения при кристаллизации.

В таблицах 3, 4 показаны эвтектические составы водных растворов кристаллогидратов, системы бинарных кристаллогидратов, а также системы бинарных низкомолекулярных органических веществ, которые можно рекомендовать для использования в качестве ТАМ.

В лабораторных условиях на разработанной установке для теплоснабжения были успешно опробованы такие вещества, как парафин, глауберова соль, тригидрат ацетата натрия и некоторые эвтектические смеси из указанных выше таблиц.

Таблица 3 – Эвтектические составы водных растворов кристаллогидратов и системы бинарных кристаллогидратов, используемых в качестве ТАМ

№	Эвтектика	$T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_L, \text{кДж/кг}$
1	52,2 % H ₂ O + 47,8 % Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	-15,0	1-2	273
2	90 % H ₂ O + 10 % Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	-1,2	2	328
3	60 % H ₂ O + 40 % Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	-5,0	1	270
4	60 % H ₂ O + 40 % Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O	-18,0	1	310
5	78 % H ₂ O + 22 % Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	-3,0	1	315
6	40 % Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O + 60 % Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	-15	1-2	223
7	50 % Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O + 50 % Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	-8,0	0	215
8	45 % Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O + 55 % Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	-17,0	2	193
9	47 % Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O + 53 % Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	-1,0	2	251
10	50 % Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O + 50 % Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	19	1	256
11	50 % Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O + 50 % Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	19	1	261,7

Таблица 4 – Системы бинарных низкомолекулярных органических веществ, используемых в качестве ТАМ

№	Эвтектика	$T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_L, \text{кДж/кг}$
1	80 % бензол + 20 % нафталин	3,6	4	130,0
2	73 % бензол + 27 % дифенил	-6,0	3	120,2
3	58 % дифенил+42 % нафталин	41,0	1	108,0
4	67,1 % бензойная кислота+32,9 % нафталин	67,0	2	123,0
5	Нафталин + дибензил	32,0	2	132,8
6	50 % резорцин + 50 % пирокатехин	58,0	0	148,9
7	67 % резорцин + 33 % гидрохинон	126,0	17	170,0
8	70 % пирокатехин + 30 % гидрохинон	85,0	10	213,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левенберг, В. Д. Аккумуляция тепла [Текст] / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач. – Киев : Техника, 1991. – 112 с.
2. Бекман, Г. Тепловое аккумуляция энергии [Текст] / Г. Бекман, П. Гилли. – М. : Мир, 1987. – 260 с.
3. Пат. 2223451 Российская Федерация, МПК7 F 24 J 2/04, F 24 J 2/34. Стеновая панель здания [Текст] / В. Д. Бабаев, В. Н. Данилин ; патентообладатель Дагестанский государственный университет. – № 2002106153 ; заявл. 06.03.02 ; опубл. 10.02.04, Бюл. № 4. – 7 с.
4. Волшаник, В. В. Энергоэффективность стеновой панели сфазопереходным теплоаккумулирующим материалом [Текст] / В. В. Волшаник, Б. Д. Бабаев // Кровельные и изоляционные материалы. – 2012. – № 3. – С. 13–15.
5. Шишкин, Н. Д. Комбинирование и эффективное использование источников тепловой энергии в автономных теплоэнергетических комплексах, включая возобновляемые источники [Текст] : дис. ... д-ра технических наук : 01.04.14 / Н. Д. Шишкин. – М., 2005. – 312 с.
6. Применение микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом в строительстве [Текст] / Ф. Рёсснер, О. Б. Рудков, Ю. С. Альбинская [и др.] // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 5. – С. 64–70.
7. Патент 2161174 Российская Федерация, МПК7 С 09 К 5/06, С 08 G 18/83, С 08 L 75/04, С 08 К 3/24. Теплоаккумулирующий материал [Текст] / И. П. Петрюк, В. Ф. Каблов, А. Н. Гайдадин, А. М. Огрель ; заявитель патентообладатель Волгоградский государственный технический университет. – № 99100365/04 ; заявл. 05.01.1999 ; опубл. 27.12.2000, Бюл. № 4. – 12 с.
8. Пат. № 33399А Украина, МПК G 01 N 25/02 (2006.01), G 01 N 25/20 (2006.01). Спосіб термічного аналізу [Текст] / В. Д. Александров, О. О. Баранніков ; заявник і патентовласник Александров Валерій Дмитрович, Баранніков Олександр Олександрович. – № 99020930 ; заявл. 18.02.1999 ; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1. – 8 с.
9. Пат. № 83721 Украина, МПК (2006) G01N 25/02, G01N 25/20. Спосіб сумісного циклічного та диференційного термічного аналізу [Текст] / Александров В. Д., Фролова С. О., Постніков В. А., Прокоф'єв С. В. ; власник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – а200608831 ; заявл. 07.08.2006 ; опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15. – 4 с.

Получено 01.12.2015

В. Д. АЛЕКСАНДРОВ ^a, О. В. СОБОЛЬ ^a, О. В. АЛЕКСАНДРОВА ^a,
А. Ю. СОБОЛЕВ ^a, О. А. ПОКИНТЕЛИЦА ^a, Д. П. ЛОЙКО ^b,
Ш. К. АМЕРХАНОВА ^c

ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗОПЕРЕХІДНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У БУДІВНИЦТВІ

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури, ^b Державна організація вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського», ^c Карагандинський національний університет ім. Є. А. Букетова

У статті дано короткий аналіз проблеми створення теплоаккумуляційних матеріалів на основі фазових перетворень, що використовуються в будівельній індустрії. Пропонуються методологія та способи розробки ефективних теплоаккумуляційних матеріалів. У їхній основі лежать систематичні дослідження теплофізичних властивостей матеріалів, впливу термічної передісторії фаз на параметри плавлення та кристалізації, пошук найбільш ефективних складів, шляхом побудови рівноважних і нерівноважних діаграм стану. Запропонована номенклатура речовин, придатних для створення ФПТАМ.

теплоаккумуляційні матеріали, теплоаккумулятори, будівельна індустрія, фазовий перехід, плавлення, кристалізація, переохолодження, ентальпія, термічний аналіз, діаграми стану, евтектика

VALERY ALEKSANDROV ^a, OKSANA SOBOL ^a, OLGA ALEKSANDROVA ^a,
ALEXANDR SOBOLEV ^a, OLENA POKYNTELYTSIA ^a, DMITRY LOYKO ^b,
SHAMSHIYA AMERKHANOVA ^c

APPLICATION THE OF HEAT-RETAINING MATERIALS IN OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade»,
^c E. A. Bukyetov Karaganda State University

In article the short analysis of a problem of creation of heat-retaining materials on the basis of the phase transformations which are used in the construction industry is given. The methodology and ways of development of effective heat-retaining materials are offered. Systematic researches of heatphysical properties of materials, influences of thermal background of phases on parameters of melting and crystallization, search of the most effective structures, by creation of equilibrium and nonequilibrium charts of a state are their cornerstone. The nomenclature of the substances suitable for creation of PHTHAM is offered.

heat-retaining materials, heataccumulators, construction industry, phase transition, melting, crystallization, overcooling, melting enthalpy, thermal analysis, charts of a state, eutectic

Александров Валерій Дмитрович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Соболь Оксана Вікторівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Александрова Ольга Валеріївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики і інформатики Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: методи математичної фізики, математичне моделювання термодинамічних задач.

Соболев Олександр Юрійович – асистент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: термодинаміка та кінетика фазових перетворень.

Покинтелица Олена Анатоліївна – асистент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: термодинаміка та кінетика фазових перетворень.

Лойко Дмитро Петрович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: термодинаміка та кінетика фазових перетворень.

Амерханова Шамшия Кенжегазинівна – доктор хімічних наук, професор кафедри фізичної і аналітичної хімії Карагандинського державного університету ім. Є. А. Букетова. Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження процесів комплексоутворення важких, благородних металів і РЗЕ з різними низькомолекулярними і високомолекулярними органічними сполуками; розробка наукової бази для використання високоефективних вітчизняних флотореагентів з метою збагачення корисних копалин; синтез і дослідження плівок на основі водорозчинних полімерів, модифікованих наночастинками срібла, рідкоземельними елементами (самарій, європій).

Александров Валерий Дмитриевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Соболев Оксана Викторовна – кандидат химических наук, доцент кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Александрова Ольга Валерьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: методы математической физики, математическое моделирование термодинамических задач.

Соболев Александр Юрьевич – ассистент кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: термодинамика и кинетика фазовых превращений.

Покинтелица Елена Анатольевна – ассистент кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: термодинамика и кинетика фазовых превращений.

Лойко Дмитрий Петрович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: термодинамика и кинетика фазовых превращений.

Амерханова Шамшия Кенжегазинівна – доктор химических наук, профессор кафедры физической и аналитической химии Карагандинского государственного университета им. Е. А. Букетова. Научные интересы: физико-химические исследования процессов комплексообразования тяжелых, благородных металлов и РЗЭ с различными низькомолекулярными и высокомолекулярными органическими соединениями; разработка научной базы для использования высокоэффективных отечественных флотореагентов в целях обогащения полезных ископаемых; синтез и исследование пленок на основе водорастворимых полимеров, модифицированных наночастицами серебра, редкоземельными элементами (самарий, европий).

Aleksandrov Valery – D.Sc. (Eng), Professor; the Head of Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

Sobol Oksana – Ph.D. (Chem. Sc.), Assistant Professor, Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

Aleksandrova Olga – Ph.D. (Physical and Mathematical Sciences), Assistant Professor, Applied Mathematics and Informatics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: methods of mathematical physics, mathematical modeling of thermodynamic problems.

Sobolev Alexandr – Assistant, Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermodynamic and kinetic phase transformations.

Pokyntelytsia Olena – Assistant, Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermodynamics and kinetics of phase transformations.

Loyko Dmitry – Ph.D. (Eng.), Professor, the Head of the Merchandise Technique and Examination of Nonfood Consumer Goods Department, State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: thermodynamic and kinetic phase transformations.

Amerkhanova Shamshiya – D.Sc. (Chemistry), Professor, Physical and Analytical Chemistry Department, E. A. Bukyetov Karaganda State University. Scientific interests: physical chemical studies of the complexation of processes of heavy, precious metals and rare-earth elements with a variety of low molecular- and high molecular organic compounds; development of the scientific basis for the use of domestic high-flotation agents for mineral processing; synthesis and study of films based on water-soluble polymers modified with nanoparticles of noble metals (silver, gold, palladium), rare-earths (samarium, europium).