

УДК 541.64:542.62:546.23

**В. Д. АЛЕКСАНДРОВ^а, Ш. К. АМЕРХАНОВА^б, І. В. ГРИЦУК^с, Ю. В. КОСТАНДА^а, В. В. ОСТАПЕНКО^а,
В. А. ПОСТНІКОВ^а, О. В. СОБОЛЬ^а, Н. В. ЩЕБЕТОВСЬКА^а**

^а Донбаська національна академія будівництва і архітектури, ^б Карагандинський державний університет
ім. академіка Е. А. Букетова, ^с Інститут залізничного транспорту

РОЗРОБКА ТЕПЛОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ДІАГРАМ СТАНУ

У статті в концентрованій формі викладено основні принципи розробки теплоакумулювальних матеріалів (ТАМ) на основі фазоперехідних процесів. Дано класифікацію речовин (легкоплавких металів, неорганічних сполук, кристалогідратів, низькомолекулярних вуглеводнів), з яких у лабораторіях кафедри фізики й фізичного матеріалознавства розробляються суміші, що відповідають вимогам, які пред'являються до ТАМ. Представлено методику дослідження основних властивостей ТАМ методами циклічного термічного аналізу й диференціального термічного аналізу, а також побудови й аналізу рівноважних і нерівноважних діаграм стану сумішей з цих речовин. Наведено приклади деяких сумішей евтектичних сполук для використання їх як термоаккумулятори.

теплоакумулювальні матеріали, фазові переходи, плавлення, кристалізація, метали, кристалогідрати, вуглеводні, діаграми стану, термічний аналіз, евтектичні сполуки, переохолодження, термоцикли

КЛАСИФІКАЦІЯ ТАМ

У широкому колі завдань використання альтернативних джерел енергії досить актуальними є технології теплоакумулювання на основі теплоти Q фазового переходу рідина \leftrightarrow тверде тіло. Теплоакумулювальні матеріали (ТАМ) широко використовуються в будівництві: у приладах для кондиціонування приміщень, при виготовленні панелей для утеплення підлог і стін тощо. Крім того, при розробці і дослідженні систем комбінованого прогріву двигунів внутрішнього згорання з елементами прискореного прогріву та елементами утилізації теплоти двигуна, до теплових акумуляторів фазового переходу ставиться основна вимога їх створення – зменшення витрати палива і шкідливих викидів при підтриманні температури системи охолодження енергетичної установки або транспортного засобу при заглушеному двигуні в межах температур «гарячого пуску» при низьких температурах навколишнього повітря в реальних умовах експлуатації [1].

На рис. 1 наведена класифікація матеріалів, що застосовуються як ТАМ на основі фазових перетворень першого роду (ФП1). Ця класифікація відображає в основному групи речовин, що були досліджені авторами цієї роботи.

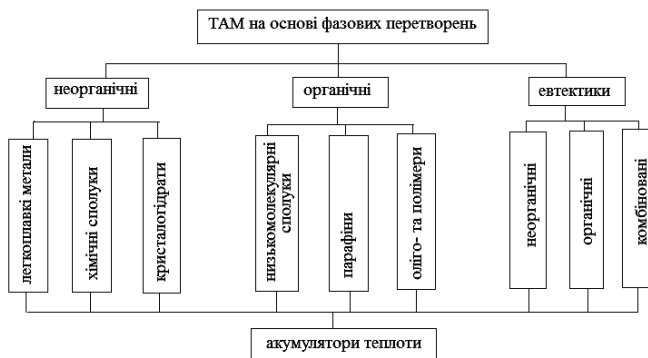


Рисунок 1 – Класифікація класів речовин, що застосовуються як ТАМ на основі фазових перетворень.

У табл. 1–2 наведені характеристики деяких однокомпонентних матеріалів. Ці речовини та їх суміші є головними компонентами для створення ТАМ [2–3].

Для того, щоб використовувати ТАМ як тепло акумулятори, до них висувають наступні вимоги:

- фазовий перехід повинен мати виразний ефект скритої теплоти (тобто здатність накопичувати велику кількість теплоти при плавленні);
- наявність незначних переохолоджень при кристалізації;
- наявність доброї відтворюваності фазоперехідних властивостей протягом великого числа термоциклів;

Таблиця 1 – Характеристики речовин, що використовуються як ТАМ

№	Речовина	Хімічна формула	ρ , г/см ³	T_L , °C	ΔT , °C	ΔH , кДж/кг
Легкоплавкі метали						
1	Індій	In	7,30	156,4	1–2	28,47
2	Олово	Sn	5,85	232,0	10	61,0
3	Свинець	Pb	11,34	327,44	11	23,4
4	Галій	Ga	5,9	29,76	40	80,2
5	Вісмут	Bi	9,84	271,0	25	54,69
6	Сурма	Sb	6,60	630,5	60	162,44
7	Телур	Te	6,27	449,95	100	137,25
Неорганічні сполуки						
1	Вода	H ₂ O	1,0	0	10	335,0
2	Їдкий калій	KOH	2,12	405,0		134
3	Їдкий натрій	NaOH	2,13	322,0		160
4	Хлорид натрію	NaCl	2,17	801,0		486
5	Хлорид калію	KCl	1,99	776,0		355
6	Прустит	Ag ₂ AsS ₃	5,57	498,0	80	
7	Двохлористий свинець	PbCl ₂	5,85	500,0	24	
8	Інтерметалеві сполуки	In ₃ Bi	8,14	89,2	2	
9		InBi	8,57	110,0	16	
10	Антимонід індію	InSb	5,77	525,2	6	107,87
Кристалогідрати						
1	Пентагідрат натрію гіосульфат	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	–	48,0	44	201,0–206,0
2	Декагідрат натрію сульфат	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	1,55	32,4	16	251,0
3	Гептагідрат натрію сульфат	Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	1,17	33,4	25	179,0
4	Декагідрат натрію карбонат	Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	1,44	22,0–36,1	–	247,6
5	Тригідрат натрію ацетат	Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O	1,45	58,0	70	272,4
6	Натрію тетраборат	Na ₂ BO ₃ ·10H ₂ O	–	68,0	–	241,0
7	Декагідрат тетра натрію пірафосфат	Na ₂ P ₂ O ₇ ·10H ₂ O	–	70,0	–	184,0
8	Гептагідрат алюмінію нітрат	Al(NO ₃) ₃ ·7H ₂ O	–	70,0	–	155,1
9	Гексагідрат магнію нітрат	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	1,50	95,0	–	160,1
10	Октагідрат барію оксид	BaOH·8H ₂ O	–	78,0	–	301,0
Органічні сполуки						
1	Бензол	C ₆ H ₆	0,97 (0 °C)	5,6	4	128
2	Нафталін	C ₁₀ H ₈	1,03 (20 °C)	80,3	10	147
3	Дифеніл	C ₁₂ H ₁₀	1,18 (0 °C)	71,1	10	190
4	Парафін (Т–3)	–	–	54–56	2	130
5	Пірокатехін	C ₆ H ₄ (OH) ₂ –1,2	1,15 (20 °C)	105	30	207
6	Гідрохінон	C ₆ H ₄ (OH) ₂ –1,4	1,36 (20 °C)	175,6	9	246
7	Резорцин	C ₆ H ₄ (OH) ₂ –1,3	1,29 (20 °C)	110,8	60	194
8	пірогалол	C ₆ H ₃ (OH) ₃ –1,2,3	1,45 (20 °C)	132,5	13	166,7
9	Дибензил	C ₁₄ H ₁₄	–	52	24	129,4
10	антрацен	C ₁₄ H ₁₀	1,25 (20 °C)	216,0	2	161,2
11	кумарин	C ₆ H ₄ OCOC ₂ H ₂	0,93(20 °C)	70	14	68,1
11	о-терфеніл	C ₁₈ H ₁₄ –1,2	1,37 (20 °C)	57	23	74,65
12	т-терфеніл	C ₁₈ H ₁₄ –1,3	1,40 (20 °C)	85	38	–
13	р-терфеніл	C ₁₈ H ₁₄ –1,4	1,20 (0 °C)	213	13	154
14	фенол	C ₆ H ₅ OH	1,07 (25 °C)	40,5	16	120
15	α-нафтол	C ₁₀ H ₇ OH	1,09 (25 °C)	91,6	23	163
16	Бензойна кислота	C ₆ H ₅ COOH	1,27 (15 °C)	122,4	20	147
17	Деканова кислота	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	0,89 (40 °C)	31,5	–	163
18	Корична кислота	C ₆ H ₅ CH=CHCOOH	1,25 (4 °C)	133	–	153
19	Пальмітинова кислота	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	0,85 (62 °C)	62,9	4	212
20	Стеаринова кислота	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	0,85 (70 °C)	69,4	2	215
21	Оцтова кислота	CH ₃ COOH	1,05 (20 °C)	16,7	19	192

Таблиця 2 – Евтектики кристалогідратів солей натрію

№	Евтектика	$T_e, ^\circ\text{C}$	$\Delta T^-, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_L, \text{кДж/кг}$
1	52,2 % H_2O + 47,8 % $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-15,0	1-2	193,7
2	90 % H_2O + 10 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-1,2	2	–
3	60 % H_2O + 40 % $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-5,0	–	–
4	60 % H_2O + 40 % $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	-18,0	1	–
5	78 % H_2O + 22 % $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-3,0	0	–
6	40 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 60 % $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-1,5	1-2	–
7	50 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 50 % $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-1,0	0	–
8	45 % $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 55 % $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15,0	5	–
9	47 % $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 53 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-1,0	2	–
10	34 % $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 66 % $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	–	1	–

- фазовий перехід повинен відбуватися близько до реальної температури плавлення;
- вони повинні бути недорогими й доступними;
- ТАМ повинні задовольняти вимогам санітарної й екологічної безпеки;
- упакування ТАМ у контейнер і матеріал контейнера повинні забезпечувати найкращі умови передачі тепла.

ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ

Як уже було сказано, при кристалізації рідких середовищ спостерігається цікавий і до кінця не вивчений ефект – явище передкристалізаційного переохолодження. Ступінь переохолодження ΔT^- , обумовлений як різниця між мінімальною температурою рідкої фази T_{\min} і температурою плавлення T_L ($\Delta T^- = T_L - T_{\min}$), є ключовим кінетичним і термодинамічним параметром кристалізації. Величина ΔT^- безпосередньо пов'язана з рушійною силою кристалізації ΔG – різницею вільних енергій Гіббса рідкої та твердої фаз

$$\Delta G = \Delta H \cdot \Delta T^- / T_L,$$

де ΔH – енталпія фазового перетворення.

У свою чергу величина ΔG визначає практично всі кінетичні та термодинамічні параметри кристалізації (швидкість зародкоутворення і швидкість росту кристалів, швидкість масової кристалізації, ступінь перетворення тощо).

Дуже добре зв'язок між переохолодженням рідкої фази та рушійною силою кристалізації ΔG проілюстровано на рис. 2. Як видно із цього рисунка, у рідкій ($T > T_L$) і твердій ($T < T_L$) фазах величина ΔG визначається відповідною лінією – (G_L – у рідкій і G_S – у твердій). Охолюючи нижче від T_L , рідина стає метастабільною, тобто в термінах енергії Гіббса, перебуває на більш високій за енергією лінії, ніж лінія, відповідна до твердих станів. Чим більше значення переохолодження, тим більше відхилення функції G від термодинамічної рівноваги. Іншими словами величина ΔT^- визначає ступінь нерівноважності системи. У випадку ж роботи теплоаккумуляторів процес кристалізації повинен бути

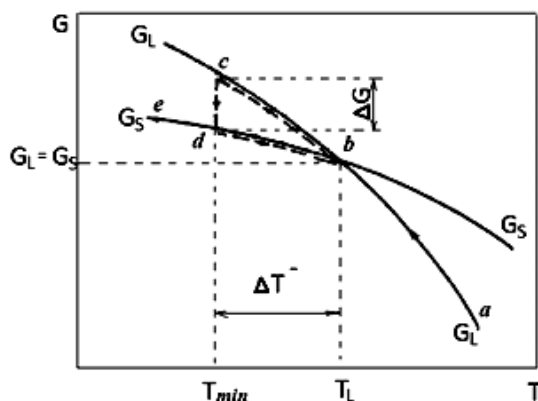


Рисунок 2 – Залежність енергії Гіббса G від температури T для твердої (G_S) і рідкої (G_L) фаз. Відображені шляхи рівноважної abe і нерівноважної кристалізації $abcdbbe$.

контрольованим, у силу чого величина ΔT^- повинна бути керованою. Тому першочерговим завданням при дослідженні кінетики кристалізації є вивчення переохолоджень і вплив на них різних факторів (термічної передісторії розплавів, умов проведення експериментів, зовнішніх впливів, домішок тощо) [3]. Найзручнішим методом дослідження переохолоджень є термічний аналіз з записом температури від часу з урахуванням фазових перетворень (рис. 3).

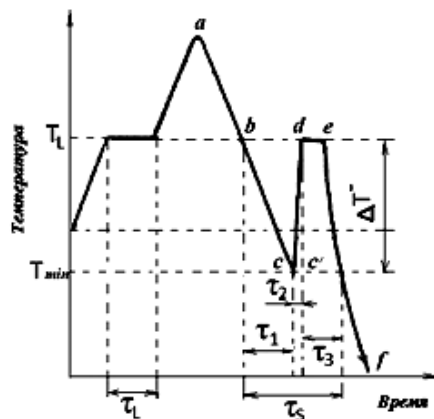


Рисунок 3 – Термограма плавкості речовин в координатах температура T – час τ ; ΔT^- – фізичне переохолодження; τ_L – час плавлення, τ_1 – інкубаційний період, τ_2 – час початкової вибухової кристалізації; τ_3 – час ізотермічної кристалізації, τ_S – загальний час затвердіння.

При дослідженні ендо- і екзотермічних ефектів фазових перетворень досить інформативними методами є диференціальний термічний аналіз (ДТА), статистичний термічний аналіз (СТА) [4], диференційно-сканувальна калориметрія (ДСК) тощо, що дозволяють кількісно і якісно визначати температурні інтервали фазових перетворень, ступені переохолоджень, перетворень тощо.

У багатьох роботах послідовний циклічний термічний аналіз (ЦТА), розроблений професором Александровим В. Д. [5–7], разом із ДТА виступають як головні експериментальні методи дослідження закономірностей кристалізації та плавлення речовин.

У вивченні фазових перетворень особливе місце займають періодичні процеси або термоцикли, що забезпечують багаторазове повторення експерименту в тих же самих умовах. Таким методом саме і є метод ЦТА. У методі ЦТА джерелом інформації є ціла група параметрів, що характеризують процеси плавлення, кінетику кристалізації переохолоджених розчинів і інших фазових перетворень, що супроводжуються екзо- і ендотермічними ефектами. Такими параметрами є:

T_L – температура плавлення;

T_S – температура рівноважної кристалізації;

ΔT^+ – величина перегріву рідкої фази щодо температури плавлення T_L ;

ΔT_{\min} – границя метастабільності;

ΔT^- – ступінь передкристалізаційного переохолодження;

$\Delta T_L^-, \Delta T_S^-$ – переохолодження щодо ліній ліквідус і солідус для бінарних систем;

T_K – температура структурних перебудов у рідкій фазі;

ΔH_{LS} – ентальпія плавлення або кристалізації;

τ і ν – час і швидкість плавлення або кристалізації;

τ_1 – інкубаційний період зародження нової фази;

τ_a – час ізотермічної витримки розплаву;

τ_2 і ν_K – час і швидкість коагуляції зародків;

τ_3 – час затвердіння після коагуляції зародків;

η – ступінь кристалічності;

$\nu_{\text{нагр}}$, $\nu_{\text{охол}}$ – швидкості нагрівання й охолодження тощо;

n – число термоциклів нагрівання – охолодження в межі температур, що охоплюють той чи інший фазовий перехід.

Сутність методу ЦТА полягає в тому, що для виявлення нових ендо- і екзотермічних ефектів перевіряється кожний градус, після чого ретельно досліджується виявлений фазовий перехід шляхом термоциклювання.

Розглянемо більш докладно картину, що виявляється методами ЦТА та ДТА при плавленні і кристалізації речовин. На рис. 6, а і б для двох послідовних термоциклів наведені схематичні узагальнені криві нагрівання та охолодження, що характеризують плавлення та кристалізацію речовини з різними переохолодженнями. На ділянках $abcd$ (термоцикл 1) і $hkln$ (термоцикл 2) відбувається нагрівання. Ділянки bc термоциклу 1 і kl термоциклу 2 свідчать про плавлення зразка за час τ_L (при однаковій швидкості нагрівання). На лінії $dd'e$ (в 1-му термоциклі) зразок охолоджується. На ділянці $d'e$ рідина перебуває в переохолодженому метастабільному стані в перебігу часу τ_1 . Остудившись до деякої мінімальної температури T_m , зразок протягом часу τ_2 мимовільно прогрівається до температури плавлення T_L (лінія ef). На ділянці fg іде подальше затвердіння зразка протягом часу τ_3 , і далі, на лінії gh затверділий зразок охолоджується. Таким чином, повний час кристалізації $\tau' = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$. Швидкість охолодження $v_{охол}$ (або нагрівання $v_{нагр}$) у будь-який момент часу (у відсутності фазових перетворень) визначаються як тангенс кута ϕ між дотичною до температурної кривої в даній точці та віссю часу – $v_{охол} = dt/d\tau = tg\phi$.

Термоцикл 1 являє собою узагальнений приклад нерівноважної вибухової кристалізації (НРВК) з наступною ізотермічною докристалізацією при T_L . Термоцикл 2 являє собою узагальнений приклад квазірівноважної кристалізації (КРК), що відбувається практично без переохолодження ΔT^- . Два послідовні термоцикли, в одному з яких кристалізація проходить за типом НРВК, а в іншому за типом КРК, служать джерелом для визначення ступеня кристалічності η на різних етапах НРВК.

Методи ДТА та ЦТА по відношенню один до одного мають переваги і недоліки. Так, за кривими ЦТА неможливо задовільно оцінювати величини теплових ефектів, оскільки площі ефектів (заштриховані ділянки на рис. 4) залежать від швидкості охолодження (нагрівання). Основні недоліки методу ДТА для дослідження кінетики зародкоутворення при кристалізації індивідуальної речовини – це відсутність на диференціальних кривих інформації про інкубаційний період нуклеації, а також складності добору матеріалу для еталона. Але очевидно, що ці два методи чудово доповнюють один одного: ДТА дає оцінку, що відбувається в зразку ендо- і екзотермічних ефектів фазових

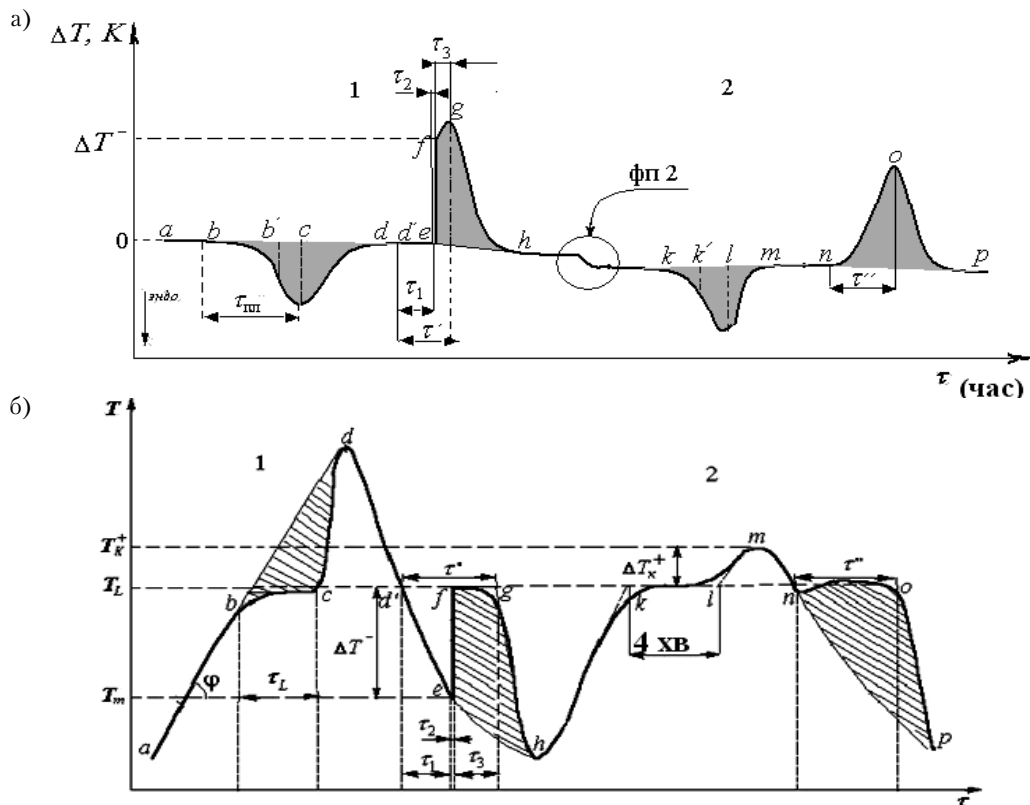


Рисунок 4 – Загальна картина фазового переходу, що виявляється методами ЦТА та ДТА при плавленні і кристалізації речовин: а – схематичні криві нагрівання та охолодження, що характеризують кристалізацію речовини з переохолодженням (термоцикл 1) і без переохолодження (термоцикл 2), отримані методом ЦТА; б – криві ДТА, що відповідають верхнім температурним кривим.

перетворень і хімічних реакцій (похибка визначення питомої величини ентальпії перетворення може становити не більше 2 %); ЦТА ж представляє загальну картину зміни температури зразка від часу.

Для відбору матеріалів для ТАМ найважливішим є випробування тривалим термоциклюванням, оскільки включений в обладнання теплоаккумулятора матеріал повинен без серйозних змін витримати більш ніж тисячократне термоциклювання. Для прикладу на рис. 5 наведена серія експериментальних безперервних термоциклів плавлення та кристалізації зразка бензойної кислоти, що характеризує наявність значного (біля 30 градусів) переохолодження при кристалізації.

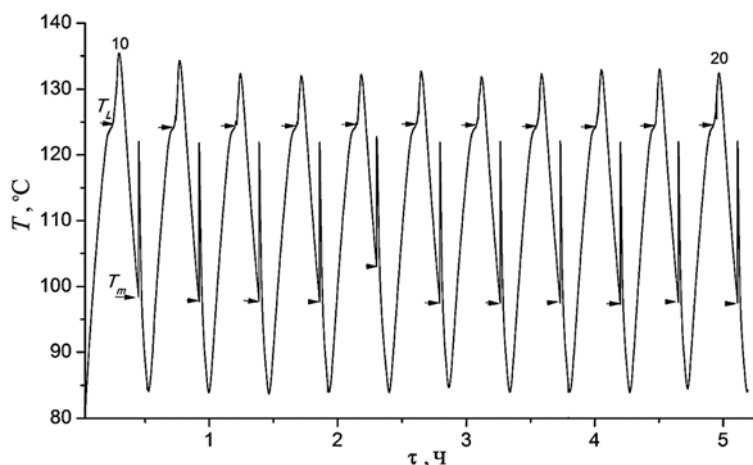


Рисунок 5 – Серія експериментальних кривих ЦТА, що характеризують плавлення та кристалізацію зразка бензойної кислоти.

ЕВТЕКТИЧНІ СПЛАВИ

Досить важливими завданнями в процесі пошуку й розробці ТАМ є дослідження кінетичних і термодинамічних закономірностей кристалізації та плавлення у двох і більш компонентних системах. Дані дослідження узагальнюються та систематизуються компактним чином у вигляді діаграм стану в координатах температура T – склад C . У випадку розчинів стан системи можливо змінювати ще й шляхом варіювання складу, що значно збагачує можливості у виборі ТАМ. Діаграма стану дозволяє позначити параметри суміші, що найбільш підходять за тепловими властивостями до вимог, передбачених до ТАМ: склад, температуру плавлення, ступінь переохолодження, ентальпії плавлення й кристалізації, а також їх стійкість до численного термоциклювання. Це стосується не тільки відомих діаграм стану. У літературі найчастіше відсутні діаграми стану речовин, що використовуються в теплових акумуляторах у вигляді робочого тіла. У першу чергу це стосується суміші кристалогідратів, суміші низькомолекулярних органічних речовин тощо. Тому для створення надійних ТАМ необхідний науковий підхід до побудови й аналізу рівноважних і нерівноважних діаграм стану, а також до вивчення термодинаміки й кінетики фазових перетворень як індивідуальних речовин, так і їх сумішей. Опираючись на подібні дослідження, що проведені на кафедрі фізики й фізичного матеріалознавства ДонНАБА протягом останніх років, розроблені склади сумішей для використання як ТАМ, які представлено в таблиці 2. Як приклад, на рис. 6–8 наведені діаграми стану кристалогідратів $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O - Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ (рис. 6), $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O - Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ (рис. 7).

Із затемнених ділянок цих систем (що характеризують метастабільні зони), видно, що найбільш прийнятними сполуками є суміші евтектичних складів, в яких величина переохолодження близька до нуля з високими значеннями теплот фазових перетворень. Аналогічна тенденція спостерігається й у системі вуглеводнів. Наприклад, дифеніл – нафталін (рис. 8).

На цій діаграмі праворуч наведені деякі термограми охолодження, що характеризують зменшення переохолодження при наближенні до евтектичного складу. Крім того, на підставі численного термоциклювання встановлено, що величина переохолодження зменшується при зниженні перегріву суміші відносно евтектичної температури. Це явище наявно продемонстроване на прикладі евтектичного сплаву бензойна кислота – нафталін (рис. 8). Евтектичні склади, найбільш прийнятні до ТАМ, що розроблені нами для різних систем, наведені в таблиці 2.

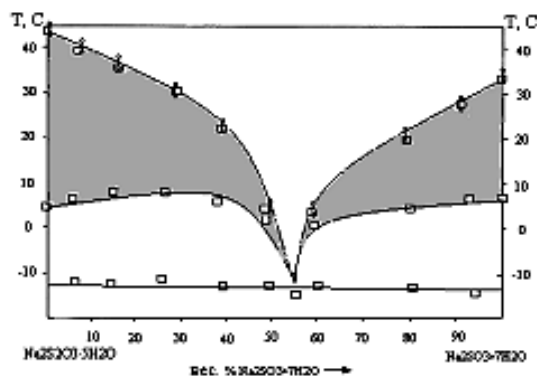


Рисунок 6 – Діаграма стану кристалогідратів $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ з метастабільними зонами (затемнені зони).

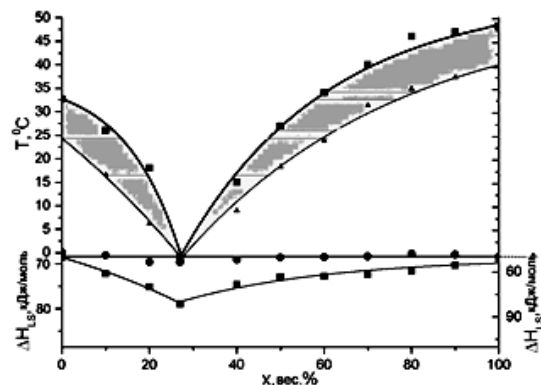


Рисунок 7 – Діаграма стану $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ з метастабільними зонами (затемнені зони).

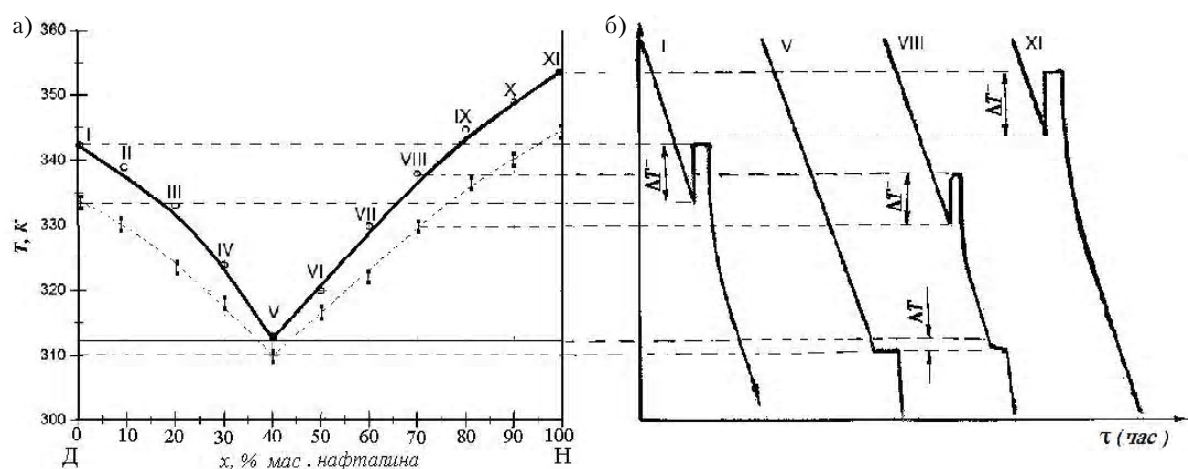


Рисунок 8 – Діаграма стану дифеніл – нафталін (а) (суцільна лінія) з межами метастабільного стану (пунктирні лінії) і схематичні термограми плавкості (б): для дифенілу (I), нафталіну (XI), евтектичної суміші V і заевтектичного складу VIII.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. № 62417 (UA), МКП F01P 3/22 (2006.01), НТУ, UA. Система регулювання температури охолоджуючої рідини газопоршневого електроагрегату з утилізацією теплоти з тепловим акумулятором [Текст] / І. В. Грицук, З. І. Краснокутська, Д. С. Адров і др. – № u 2011 01845 ; дата подання 17.02.2011 ; опуб. 25.08.2011, Бюл. № 16. – 6 с.
2. Кенисарин, М. М. Кратковременное аккумулярование солнечной энергии. 1. Низкотемпературные фазопереходные материалы [Текст] / М. М. Кенисарин // Гелиотехника. – 1993. – № 2. – С. 46–63.
3. Александров, В. Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред [Текст] / В. Д. Александров. – Донецк : Донбасс, 2011. – 580 с.
4. Кидяров, Б. И. Кинетика образования кристаллов из жидкой фазы [Текст] / Б. И. Кидяров. – Новосибирск : Наука СО АН СССР, 1979. – 132 с.
5. Пат. 33399A Україна, МПК 6G 01N 25/02. Спосіб термічного аналізу [Текст] / заявники Александров В. Д., Баранніков О. О., власники патенту Александров В. Д., Баранніков О. О. – № 99020930 ; дата подання 18.02.1999 ; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1 (П ч.). – 7 с. : іл.
6. Александров, В. Д. Исследование кинетики реального зародышеобразования при кристаллизации переохлажденного расплава и аморфной среды [Текст] : дис. ... доктора хим. наук : 12. 03. 92 / Александров Валерий Дмитриевич. – Донецк, 1992. – 299 с.
7. Пат. 83721 Україна, МПК (2006) G 01N 25/02 G 01N 25/20. Спосіб сумісного циклічного та диференційного термічного аналізу [Текст] / заявники Александров В. Д., Фролова С. О., Постніков В. А., Прокоф'єв С. В., власник патенту Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – № a2006 08831 ; дата подання 07.08.2006 ; опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15 (П ч.). – 4 с. : іл.

Отримано 16.05.2013

В. Д. АЛЕКСАНДРОВ ^a, Ш. К. АМЕРХАНОВА ^b, И. В. ГРИЦУК ^c,
Ю. В. КОСТАНДА ^a, В. В. ОСТАПЕНКО ^a, В. А. ПОСТНИКОВ ^a, О. В. СОБОЛЬ ^a,
Н. В. ЩЕБЕТОВСКАЯ ^a

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ

^a Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^b Карагандинский
государственный университет им. академика Е. А. Букетова, ^c Институт
железнодорожного транспорта

В статье в концентрированной форме излагаются основные принципы разработки теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) на основе фазовых процессов. Дана классификация веществ (легкоплавких металлов, неорганических соединений, кристаллогидратов, низкомолекулярных углеводородов), из которых в лабораториях кафедры физики и физического материаловедения разрабатываются смеси, подходящие под требования, предъявляемые к ТАМ. Дана методика изучения основных свойств ТАМ методами циклического термического анализа и дифференциального термического анализа, а также построения и анализа равновесных и неравновесных диаграмм состояния смесей из перечисленных веществ. Приведены некоторые смеси эвтектического состава для использования в качестве термоаккумуляторов.

теплоаккумулирующие материалы, фазовые переходы, плавление, кристаллизация, металлы, кристаллогидраты, углеводороды, диаграммы состояния, термический анализ, эвтектические составы, переохлаждение, термоциклы

VALERY ALEKSANDROV ^a, SHAMSHIYA AMERKHANOVA ^b, IGOR GRITSUK ^c,
YURIY KOSTANDA ^a, VITALIY OSTAPENKO ^a, VALERIY POSTNIKOV ^a,
OKSANA SOBOLOVA ^a, NATALIYA SHCHEBETOVSKAYA ^a

DEVELOPMENT OF HEAT-STORAGE MATERIALS BASED ON PHASE DIAGRAMS

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Karahandinskyy State
University Academician E. A. Buketova, ^c Institute of Railway Transport

In the article in a concentrated form the main principles for the development of heat-retaining material (TAM) based on the phase transition are given. The classification of substances (fusible metals, inorganic compounds, crystalline, low molecular weight hydrocarbons), of which the laboratories of the department of physics and materials science developed a mixture suitable for requirements for TAM has been also given. The method for studying the basic properties of TAM by cyclic thermal analysis and differential thermal analysis, and design and analysis of equilibrium and non-equilibrium phase diagrams of mixtures of these substances has been given. Some of the eutectic mixtures for use as a thermal storage have been given.

heat-storage materials, phase transitions, melting, crystallization, metal, crystal hydrates, hydrocarbons, phase diagrams, thermal analysis, eutectic compositions, supercooling, thermal cycles

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

Амерханова Шамшія Кенжегазінівна – 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 низкомолекулярними 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).

Грицук Ігор Валерійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри рухомий склад залізниць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Наукові інтереси: системи регулювання енергетичних установок стаціонарних і транспортних засобів, акумулятори теплової енергії.

Костанда Юрій Васильович – завідувач лабораторіями кафедри фізики і фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вплив коливальних процесів на кристалізацію переоохолоджених розплавів.

Остапенко Віталій Валерійович – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозберігаючі технології в системах теплопостачання.

Постніков Валерій Анатолійович – кандидат хімічних наук, доцент, докторант кафедри фізики і фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: термодинаміка та кінетика фазових перетворень.

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

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

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.

Амерханова Шамшия Кенжегазиновна – 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 низкомолекулярными 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).

Гришук Игорь Валериевич – кандидат технических наук, доцент кафедры подвижной состав железных дорог Донецкого института железнодорожного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Научные интересы: системы регулирования энергетических установок стационарных и транспортных средств, аккумуляторы тепловой энергии.

Костанда Юрий Васильевич – заведующий лабораториями кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: влияние колебательных процессов на кристаллизацию переохлажденных расплавов.

Остапенко Виталий Валериевич – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения.

Постников Валерий Анатольевич – кандидат химических наук, доцент, докторант кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: термодинамика и кинетика фазовых превращений.

Соболь 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.

Щебетовская Наталья Витальевна – 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.

Aleksandrov Valery – DSc(Eng), Professor; 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.

Amerkhanova Shamshiya – PhD in Chemistry, Professor of Physical and Analytical Chemistry Department, Buketov 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).

Gritsuk Igor – PhD (Eng.), Associate Professor of Railway Rolling Stock Donetsk Institute of Rail Transport Ukrainian State Academy of Railway Transport. Scientific interests: systems of adjusting of the power settings of stationary and transport facilities, accumulators of thermal energy.

Kostanda Yuriy – head of laboratory, Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the influence of wave-processes on crystallization of up-cold melted substances.

Ostapenko Vitaliy – the assistant of Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technologies of the savings of energy in systems of a heat supply.

Postnikov Valeriy – PhD (Chem.Sc.), Associate Professor, Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermodynamics and kinetics of phase transformations.

Sobol Oksana – PhD (Chem.Sc.), Associate 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.

Shchebetovskaya Nataliya – PhD (Chem.Sc.), Associate 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.