

## ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ПАРААМІНОАЗОБЕНЗОЛОМ ЕПОКСИДНИХ МАТРИЦЬ ДЛЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

**Ходаковський О. В.**, к.т.н., доцент кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі Херсонської державної морської академії, e-mail: dzgeron@rambler.ru;

**Амелін М. Ю.**, аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі Херсонської державної морської академії, e-mail: dzgeron@rambler.ru;

**Букетова Н. М.**, к.т.н., науковий співробітник наукової групи при кафедрі транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: buketov@tntu.edu.ua;

**Яцюк В. М.**, аспірант кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: buketov@tntu.edu.ua

*На основі проведених випробувань теплофізичних властивостей епоксикомпозитів, наповнених модифікатором парааміноазобензолом, з використанням сучасних методів дослідження встановлено допустимі межі температури, при яких можливо використовувати розроблені матеріали. Досліджено термічний коефіцієнт лінійного розширення ( $\alpha$ ), теплостійкість ( $T$ ) та термостійкість епоксикомпозитів. Встановлено абсолютні значення термічного коефіцієнта лінійного розширення матеріалів, які можливо використовувати у різних температурних діапазонах. Методом диференціально-термічного й термогравіметричного аналізу проведено дослідження термостійкості і структурних особливостей матеріалів при зростанні температури. Встановлено, що для формування композитних матеріалів з підвищеними показниками теплофізичних властивостей, доцільно використовувати модифікатор у кількості  $q = 1,0$  мас.ч. Такий матеріал характеризуються найбільшою енергією активації, стійкістю до структурних перетворень при максимальних температурах та інтенсивною взаємодією функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення на молекулярному рівні серед усіх досліджуваних матеріалів.*

**Ключові слова:** епоксидний композит, теплостійкість, термостійкість, деструкція, екзоефект.

**Постановка проблеми.** Розвиток транспортних технологій на сучасному етапі ставить умови покращення не лише логістики міжнародних перевезень, але й розроблення нових матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками для підвищення надійності засобів транспорту. У цьому плані перспективним є використання нових матеріалів на полімерній основі, які відзначаються поліпшеними антикорозійними властивостями і зносостійкістю. Однак, відомо [1, 2], що для поліпшення властивостей полімерів, у тому числі й на епоксидній основі, у зв'язувач вводять модифікатори, пластифікатори, наповнювачі. Слід зазначити, що перспективним є введення модифікаторів, позаяк такі добавки за незначного вмісту (1...5 %) дозволяють суттєво підвищити показники адгезійної і когезійної міцності компаундів. Останні, у свою чергу, доцільно використовувати у вигляді матриць для захисних покриттів робочих деталей, у тому числі й під час їх ремонту в умовах рейсу суден морського та річкового транспорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Авторами [3–5] доведено й обґрунтовано важливість використання модифікаторів за незначних концентрацій у епоксидній матриці для поліпшення їх когезійних властивостей. При цьому важливим є вибір модифікатора, який містить активні до фізичної і хімічної взаємодії з епоксидним олігомером гідроксильні, карбонільні, нітрильні та інші групи. Додатково показано, що актуальним є встановлення критичного вмісту добавки у полімері, оскільки надлишкова його кількість призводить до збільшення золь-фракції у матеріалах, що призводить до погіршення їх когезійної міцності.

У цьому контексті цікавим є використання як модифікатора парааміноазобензолу. Попередньо доведено [6], що введення даної добавки приводить до суттєвого підвищення показників адгезійної міцності епоксидних композитів. Враховуючи, що розроблені

матеріали можна досить ефективно використовувати для захисту устаткування, яке експлуатують за підвищених температур, вважали за доцільне провести дослідження стосовно визначення впливу природи і вмісту модифікатора парааміноазобензолу на теплофізичні властивості епоксидної матриці.

**Мета роботи** – дослідити вплив вмісту модифікатора парааміноазобензолу на теплофізичні властивості епоксикомпозитних матеріалів.

**Матеріали та методика дослідження.** Як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується високою адгезійною та когезійною міцністю, незначною усадкою і технологічністю при нанесенні на поверхні складного профілю.

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Відомо [1], що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких взаємозв'язаних компонентів:  $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$ . Зшивали КМ, вводячи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20 : ПЕПА – 100 : 10.

Як модифікатор використано парааміноазобензол (ПААБ). Хімічна формула парааміноазобензолу має наступний вигляд:  $C_{12}H_{11}N_3$ . Модифікатор вводили у зв'язувач за вмісту від 0,10 до 2,00 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 (тут і далі за текстом мас. ч. наводять на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20). Молекулярна маса парааміноазобензолу – 197. Температура плавлення – 400 К. Модифікатор розчинний у бензолі, етанолі, ацетоні, малорозчинний у воді. Використовується як азобарвник та синтон для одержання більш складних азобарвників.

У роботі досліджували наступні властивості КМ: термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), теплостійкість ( $T$ ), термостійкість (ДТА і ТГА-аналіз).

Теплостійкість (за Мартенсом) КМ визначали згідно з ГОСТ 21341-75. Методика дослідження полягає у визначенні температури, при якій досліджуваний зразок нагрівали зі швидкістю  $v = 3$  К/хв під дією постійного згинаючого навантаження  $F = 5 \pm 0,5$  МПа, внаслідок чого він деформується на задану величину ( $h = 6$  мм).

Термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) матеріалів розраховували за кривою залежності відносної деформації від температури, апроксимуючи цю залежність експоненціальною функцією. Відносну деформацію визначали за зміною довжини зразка при підвищенні температури у стаціонарних умовах (ГОСТ 15173-70). Розміри зразків для дослідження:  $65 \times 7 \times 7$  мм, непаралельність шліфованих торців складала не більше 0,02 мм. Перед дослідженням вимірювали довжину зразка з точністю  $\pm 0,01$  мм. Швидкість підняття температури становила  $v = 2$  К/хв.

Відхилення значень при дослідженні показників теплофізичних властивостей КМ (теплостійкість (за Мартенсом), ТКЛР) становило 4...6 % від номінального.

Для дослідження впливу кількості наповнювача на термічні перетворення у композитах застосовували метод термогравіметричного (ТГА) і диференціально-термічного (ДТА) аналізу, використовуючи дериватограф «Thermoscan-2». Дослідження проводили у температурному діапазоні  $\Delta T = 298...873$  К, використовуючи кварцові тиглі для зразків об'ємом  $V = 0,5$  см<sup>3</sup>. Під час дослідження швидкість підняття температури становила  $v = 10$  К/хв, при цьому як еталонну речовину використовували  $Al_2O_3$  ( $m = 0,5$  г), наважка досліджуваного зразка становила –  $m = 0,3$  г. Похибка визначення температури становила  $\Delta T = \pm 1$  К. Точність визначення теплових ефектів – 3 Дж/г. Точність визначення зміни маси зразка –  $\Delta m = 0,001$  г.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Для аналізу механізму впливу модифікатора на характеристики матриці, а також з метою встановлення його критичного вмісту у композитному матеріалі (КМ) досліджували комплекс властивостей матеріалів. Зокрема, теплостійкість, ТКЛР, термостійкість та їх похідні характеристики. Вважали, що

лише комплексний підхід до встановлення оптимальної концентрації добавки дозволить опосередковано дослідити перебіг процесів структуроутворення композитів і, як наслідок, спрогнозувати поведінку матеріалів в умовах експлуатації у виробничих умовах.

На початковому етапі досліджували теплостійкість матриці, що є однією з визначальних характеристик композитів при їх експлуатації в умовах підвищених температур. Попередньо встановлено (рис. 1), що теплостійкість вихідної (немодифікованої), однак, обробленої ультразвуком епоксидної матриці, становить  $T = 341$  К. Введення модифікатора у зв'язувач, навіть за незначної кількості ( $q = 0,10 \dots 0,25$  мас.ч.) приводить до суттєвого підвищення теплостійкості КМ, позаяк її показники зростають від  $T = 341$  К до  $T = 345 \dots 358$  К. Максимум на кривій залежності  $q - T$  спостерігали при вмісті добавки у КМ у кількості  $q = 0,50 \dots 1,00$  мас.ч. Для таких композитів теплостійкість (за Мартенсом) становить  $T = 360 \dots 362$  К. Експериментально доведено (рис. 1, крива 1), що збільшення вмісту модифікатора (понад  $q = 1,00$  мас.ч.) призводить до суттєвого погіршення теплостійкості КМ. Отримані результати дослідження можна пояснити наступним. За відносно незначного вмісту добавки ( $q = 0,10 \dots 0,25$  мас.ч.) відбувається інтенсифікація процесів структуроутворення КМ, що передбачає підвищення їх когезійної міцності і, як наслідок, теплостійкості. Однак кількість модифікатора не є достатньою для формування міцнозшитої тривимірної структурної сітки матриці. Водночас, введення ПААБ за критичного вмісту ( $q = 0,50 \dots 1,00$  мас.ч.) забезпечує отримання матриці з максимальними значеннями теплостійкості.

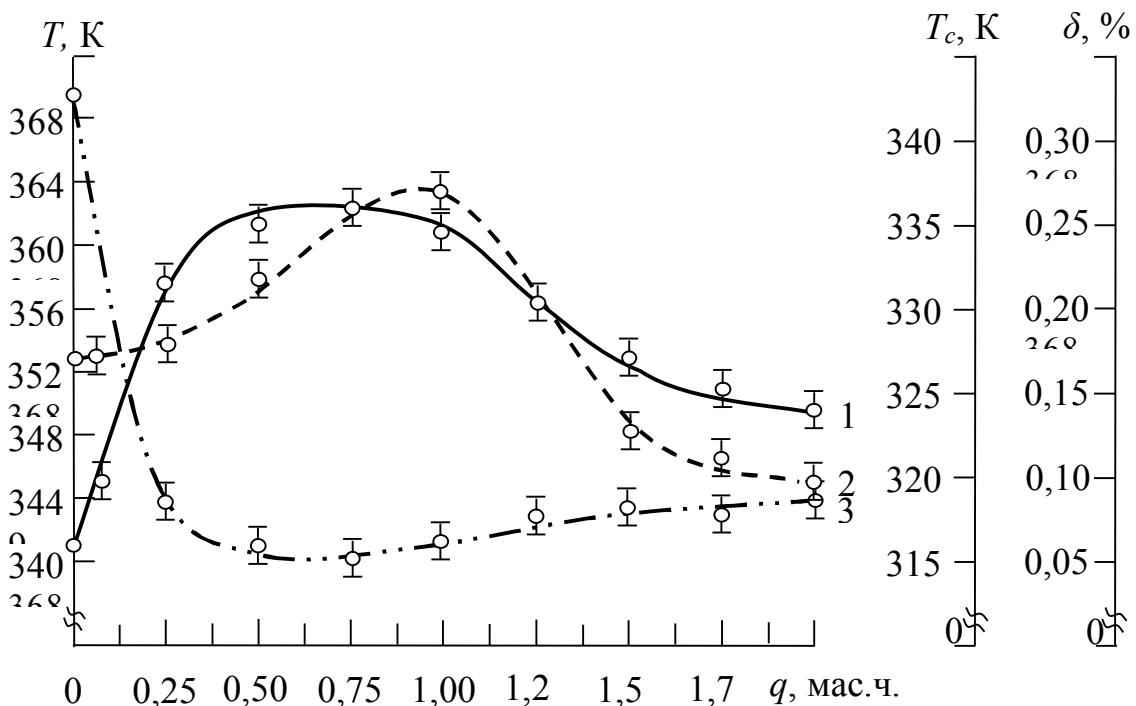


Рисунок 1 – Залежність теплофізичних властивостей епоксидної матриці від вмісту модифікатора парааміноазобензолу: 1 – теплостійкість (за Мартенсом) ( $T$ ); 2 – температура склування ( $T_c$ ); 3 – усадка ( $\delta$ )

Вважали, що у цьому випадку формується КМ з рівномірно розподіленою структурою, яка характеризується значною кількістю хімічних зв'язків за об'ємом. Надалі збільшення кількості модифікатора (понад  $q = 1,00$  мас.ч.) призводить до перенасичення системи добавкою. Це, у свою чергу, призводить до збільшення міжмолекулярного розподілу у об'ємі композиції. Тобто, молекули модифікатора не є зшитими, що

обумовлює збільшення вільного об'єму у структурній сітці епоксидної матриці. А це відповідно спричиняє зменшення теплостійкості розроблених КМ.

Отримані результати випробувань теплостійкості (за Мартенсом) порівнювали з результатами дослідження температури склування і усадки розроблених КМ. Доведено (рис. 1, крива 2), що температура склування зростає зі збільшенням кількості модифікатора до його критичної концентрації у епоксидній матриці. При цьому показники зростають від  $T_c = 327$  К (для вихідної епоксидної матриці) до  $T_c = 330...335$  К. Надалі збільшення вмісту добавки призводить до суттєвого погіршення теплофізичних властивостей КМ, позаяк показники температури склування знижуються до  $T_c = 320...323$  К, що є меншим від показників вихідної матриці.

Дослідженням усадки підтверджено результати наведених вище випробувань. Показано (рис. 1, крива 3), що усадка вихідної матриці (при дослідженні у діапазоні температур  $\Delta T = 303...473$  К) становить  $\delta = 0,32$  %. Введення модифікатора приводить до зменшення усадки КМ до значень  $\delta = 0,05...0,10$  %. Тобто, наявність добавки незалежно від її вмісту забезпечує суттєве зменшення усадки, що свідчить про суттєвий вплив модифікатора ПААБ на формування структурної сітки компаундів. А це відповідно поліпшує теплофізичні властивості розроблених матеріалів.

На наступному етапі досліджували ТКЛР вихідної і модифікованих епоксидних матриць. Експериментально встановлено (табл. 1), що у діапазоні температур  $\Delta T = 303...323$  К введення модифікатора забезпечує зниження ТКЛР у 2,1...3,2 рази (від  $\alpha = 6,30 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  для вихідної епоксидної матриці до  $\alpha = (1,96...2,96) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  для модифікованих матриць). Цікавим з наукової і практичної точки зору є аналіз діапазону температур, який охоплює область склування полімерних композитів. Показано (табл. 1), що у діапазоні температур  $\Delta T = 303...423$  К ТКЛР модифікованих матеріалів також є значно меншим порівняно з вихідною матрицею (ТКЛР зменшується від  $\alpha = 9,92 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  для вихідної епоксидної матриці до  $\alpha = (4,29...5,25) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  для модифікованих матриць). На кінцевому етапі дослідження у діапазоні температур  $\Delta T = 303...473$  К різниця ТКЛР між вихідною і модифікованими матрицями є вже не такою суттєвою ( $\Delta\alpha = (0,6...0,9) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ). Це свідчить про те, що розроблені матеріали можна експлуатувати у діапазоні температур  $\Delta T = 303...473$  К, оскільки під впливом теплового поля відбувається не лише руйнування фізичних зв'язків у структурній сітці розроблених КМ, але й збільшується рухливість сегментів та бокових груп макромолекул. А це призводить до погіршення когезійних властивостей макросистем, що позначається на показниках їх теплофізичних характеристик. Крім того, слід зазначити, що найменшими показниками ТКЛР серед усього спектру досліджуваних діапазонів температур відзначаються матеріали, які містять модифікатор у кількості  $q = 1,00$  мас.ч. Зокрема доведено (табл. 1), що для контрольних діапазонів впливу теплового поля (у області склування КМ –  $\Delta T = 303...423$  К і критичних температур –  $\Delta T = 303...473$  К) КМ, які містять модифікатор за даної концентрації, відрізняються у 1,2...2,3 рази меншими значеннями ТКЛР, порівняно з вихідною епоксидною матрицею (ТКЛР зменшується від  $\alpha = 9,92 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  до  $\alpha = 4,29 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  та від  $\alpha = 10,91 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  до  $\alpha = 8,95 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  відповідно). Отже, можна констатувати, що введення модифікатора ПААБ у епоксидний зв'язувач за такого вмісту дозволяє сформувати КМ, який дозволяє забезпечити стійкість розроблених матеріалів до лінійних та об'ємних деформацій у процесі експлуатації.

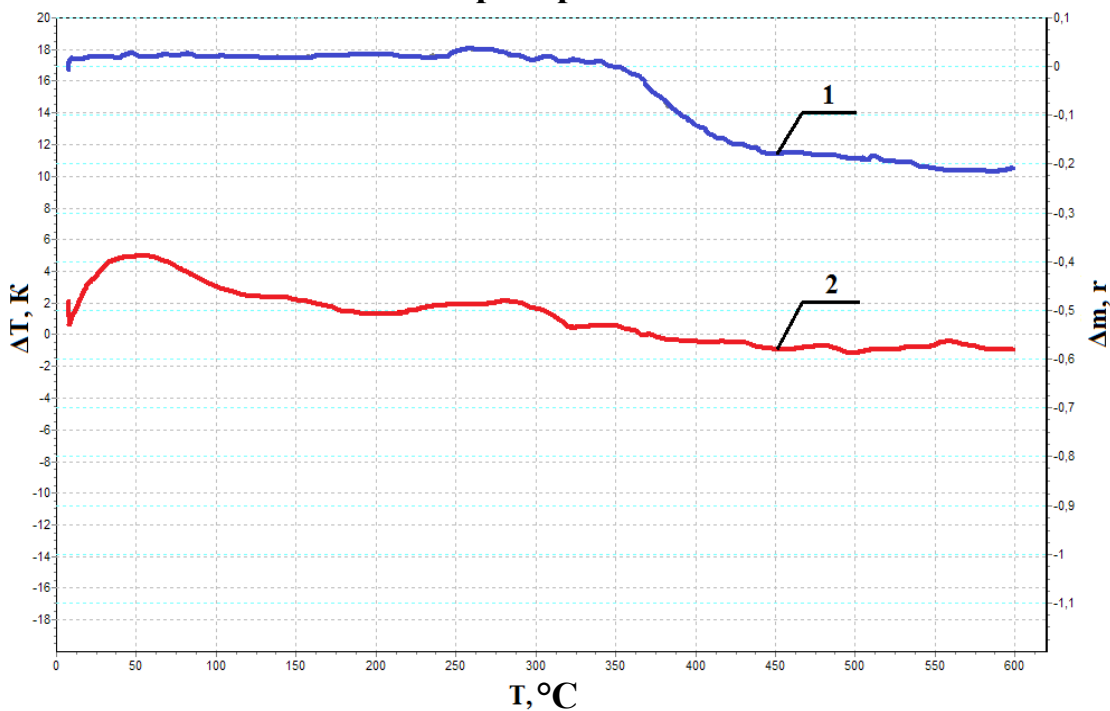
У роботі додатково досліджували й аналізували поведінку епоксидних композитів за підвищених температур (термостійкість) методом термогравіметричного (ТГА) та диференційно-термічного (ДТА) аналізу (рис. 2). Встановлено (табл. 2), що початкова температура деструкції, яка є визначальним фактором у процесі експлуатації розроблених матеріалів, для вихідної матриці є найнижчою ( $T_0 = 600$  К) серед усіх досліджуваних зразків (виняток становить лише модифікована ПААБ матриця ( $T_0 = 589$  К), яка містить  $q = 1,5$  мас.ч. добавки. Максимальним значенням температури початку деструкції характеризується КМ із вмістом модифікатора у кількості  $q = 1,0$  мас.ч., яка становить

$T_0 = 628 \text{ K}$ , що на  $\Delta T = 28 \text{ K}$  більше порівняно з аналогічним показником для зразка з епоксидної матриці. При цьому значення втрати маси становить  $\varepsilon_m = 66,6 \%$ , що є найменшим значенням серед досліджуваних КМ (для вихідної матриці даний показник становить  $\varepsilon_m = 73,3 \%$ ). Це свідчить про підвищену стійкість модифікованого матеріалу до впливу температурного поля. Крім того, релаксація залишкових напружень за підвищених температур і самоорганізація структури тривимірної сітки в процесі перебігу термодинамічних процесів забезпечує підвищення стійкості КМ з оптимальним вмістом добавки в критичних умовах експлуатації.

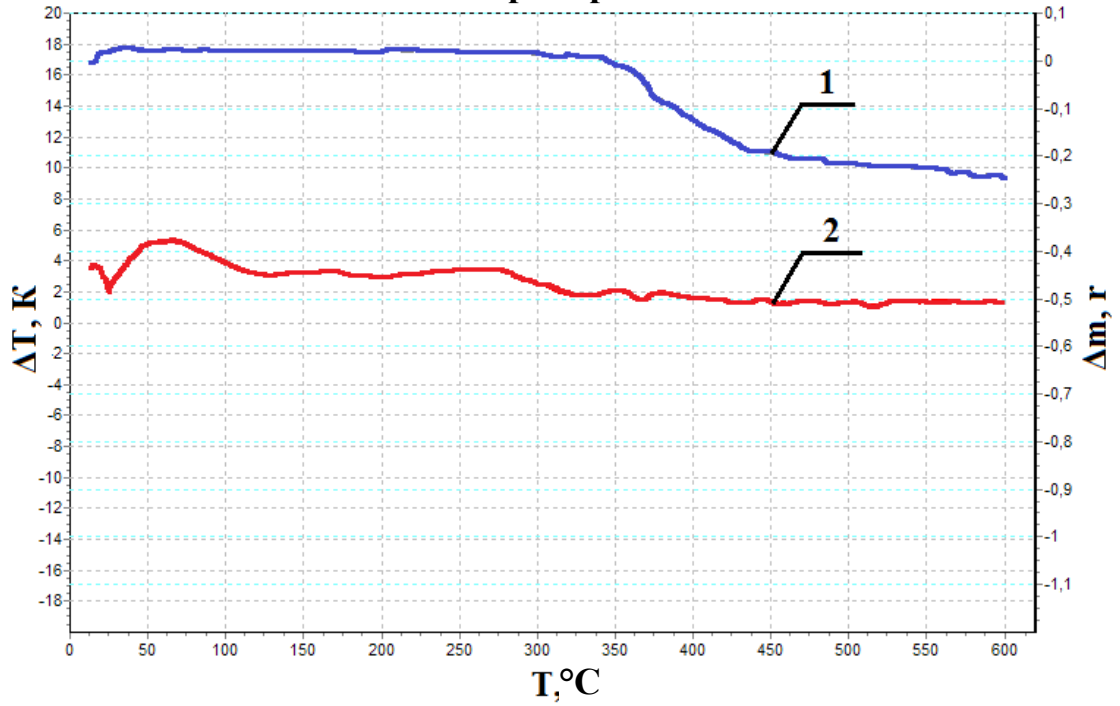
Таблиця 1 – Термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) КМ при різних температурних діапазонах дослідження

№	Вміст модифікатора ПААБ, $q$ , мас.ч.	Термічний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \times 10^{-5}, \text{K}^{-1}$			
		Температурні діапазони дослідження, $\Delta T, \text{K}$			
		303...323	303...373	303...423	303...473
1	–	6,30	6,81	9,92	10,91
2	0,25	2,79	3,25	4,29	10,02
3	0,50	2,96	3,21	4,54	10,08
4	1,00	1,96	1,40	4,29	8,95
5	1,50	2,75	3,71	5,25	10,26

### Термограма

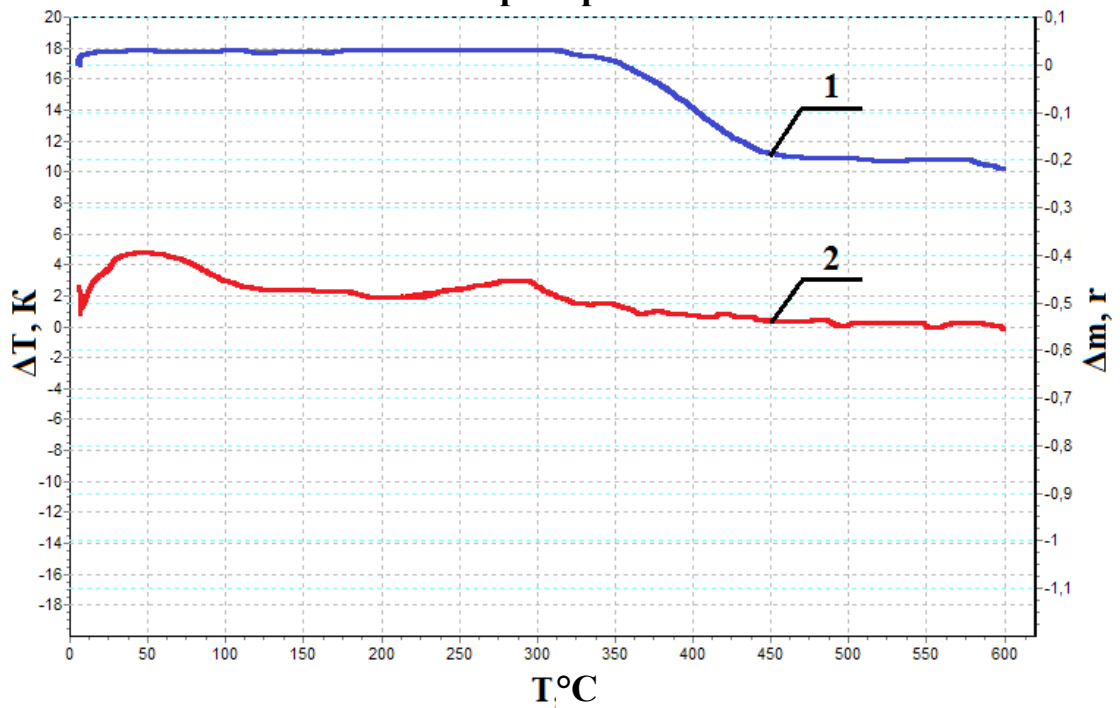


Термограма



б)

Термограма



в)

### Термограма

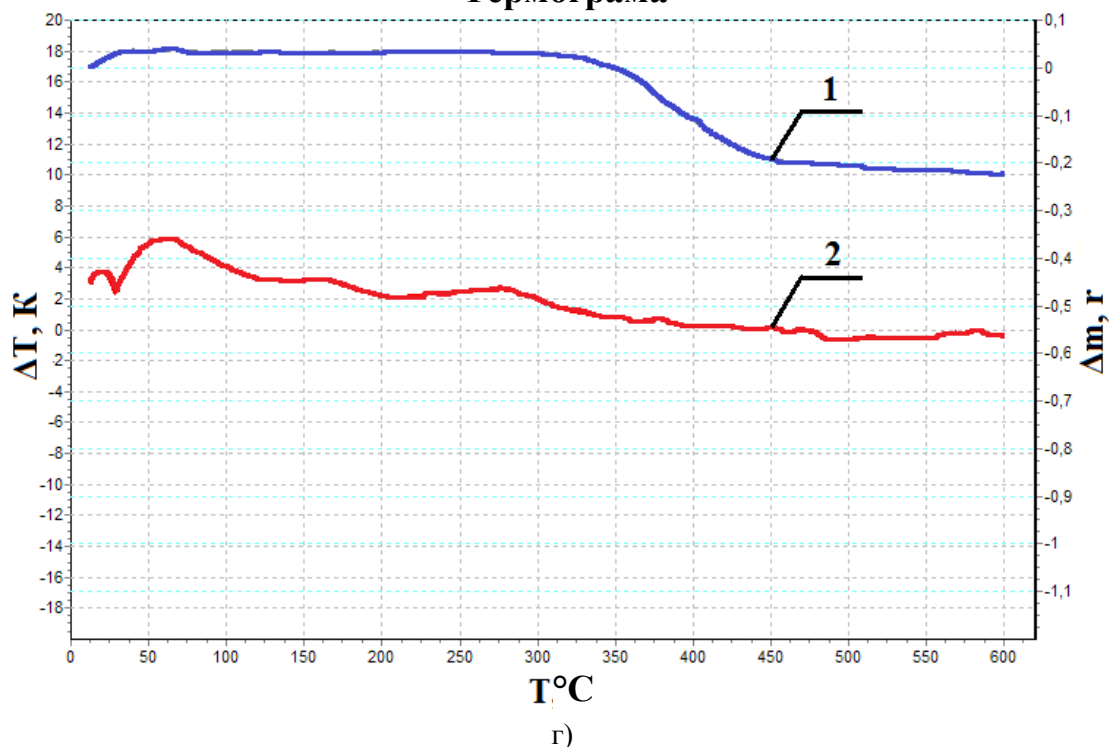


Рисунок 2 – Дериватограми модифікованих парааміноазобензолом епоксидних матриць:  
 а)  $q = 0,25$  мас.ч. модифікатора; б)  $q = 0,50$  мас.ч. модифікатора; в)  $q = 1,00$  мас.ч. модифікатора;  
 г)  $q = 1,50$  мас.ч. модифікатора

Таблиця 2 – Термостійкість модифікованих ПААБ КМ

Вміст модифікатора ПААБ, $q$ , мас.ч.	$T_0$ , K	$T_5$ , K	$T_{10}$ , K	$T_{20}$ , K	$T_k$ , K	$\epsilon_m$ , %
–	600	619	626	645	734	73,3
0,25	617	631	639	648	714	68,6
0,50	616	629	636	644	810	74,6
1,00	628	629	636	644	824	66,6
1,50	589	617	629	641	843	80,0

Примітка:  $T_0$  – початкова температура втрати маси (початок деструкції);  $T_5$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{20}$  – температури втрати маси (5 %, 10 %, 20 %);  $T_k$  – кінцева температура втрати маси (завершення деструкції);  $\epsilon_m$  – відносна втрата маси.

Одним із визначальних параметрів при експлуатації розроблених матеріалів є значення екзотермічних ефектів ( $T_n$ ,  $T_{max}$ ), які характеризують початок деформації та структурні перетворення в основних ланцюгах макромолекул епоксидної матриці (табл. 3). Аналіз ДТА-кривих КМ дозволив виявити екзотермічні ефекти у діапазоні температур  $\Delta T = 520 \dots 620$  K (табл. 3). Встановлено, що максимальне значення екзоэффекту  $T_{max} = 558$  K характерне для КМ із вмістом модифікатора у кількості  $q = 1,0$  мас.ч. Зміщення піку екзотермічного ефекту в область високих температур зумовлене стійкістю фізико-хімічних зв'язків до руйнування, а, отже, такі матеріали відзначаються поліпшеною термостійкістю. Також зменшення інтервалу екзоэффекту від  $\Delta T_I = 85$  K (для епоксидної матриці) до  $\Delta T_I = 352$  K свідчить про зменшення рухливості і деформації компонентів епоксидного зв'язувача.

Таблиця 3 – Температурні інтервали екзофектів КМ згідно з ДТА

Вміст модифікатора ПААБ, <i>q</i> , мас.ч.	Температурні інтервали екзофектів				Максимальне значення екзофектів, $T_{max}$ , К
	$T_n$ , К	$T_k$ , К	$\Delta T_1$ , К	$\Delta T_2$ , К	
–	598	683	85	2	618
0,25	479	655	176	2	553
0,50	515	685	169	2	539
1,00	509	861	352	2	558
1,50	486	753	267	3	547

Примітка:  $T_n$  – початкова температура екзофекту;  $T_k$  – кінцева температура екзофекту;  $\Delta T_1$  – температурний інтервал екзофекту;  $\Delta T_2$  – різниця температур між зразком, у якому відбуваються перетворення, і еталоном, у якому перетворень немає.

Якісна комплексна оцінка дериватограм дозволяє стверджувати, що КМ, наповнені модифікатором ПААБ у кількості  $q = 1,0$  мас.ч., характеризуються поліпшеними теплофізичними властивостями. У цілому можна припустити, що встановлений механізм взаємодії функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення матеріалів на молекулярному рівні забезпечує поліпшення теплофізичних властивостей матриці на макрорівні. Це свідчить про значне підвищення термостабільності КМ та формування систем без суттєвого підвищення стабільності хімічних зв'язків порівняно із епоксидною матрицею.

**Висновки.** На основі проведених випробувань теплофізичних властивостей з використанням сучасних методів дослідження встановлено допустимі межі температури, при яких можливо використовувати модифіковані парааміноазобензолом епоксидні композити. Крім того, встановлено:

1. Для формування композитного матеріалу чи захисного покриття з поліпшеними теплофізичними властивостями у епоксидний зв'язувач доцільно вводити модифікатор парааміноазобензол у кількості  $q = 1,0$  мас.ч. на  $q = 100$  мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Формування такого матеріалу дозволяє підвищити теплостійкість (за Мартенсом) порівняно з вихідною (немодифікованою) епоксидною матрицею від  $T = 341$  К до  $T = 362$  К, температуру склування від  $T_c = 327$  К до  $T_c = 335$  К, а усадка у діапазоні температур  $\Delta T = 303...473$  К при цьому зменшується від  $\delta = 0,32$  % до  $\delta = 0,08$  %. Вважали, що введення у епоксидний олігомер модифікатора за критичного вмісту забезпечує формування матеріалу з рівномірно розподіленою структурою, яка характеризується значною кількістю хімічних зв'язків за об'ємом.

2. Експериментально встановлено, що найменшими показниками ТКЛР серед усього спектру досліджуваних діапазонів температур відзначаються матеріали, які містять модифікатор у кількості  $q = 1,0$  мас.ч. Доведено, що для контрольних діапазонів впливу теплового поля (у області склування композитів –  $\Delta T = 303...423$  К і критичних температур –  $\Delta T = 303...473$  К) матеріали, які містять модифікатор за даної концентрації, відрізняються у 1,2...2,3 рази меншими значеннями ТКЛР порівняно з вихідною епоксидною матрицею (ТКЛР зменшується від  $\alpha = 9,92 \times 10^{-5}$  К<sup>-1</sup> до  $\alpha = 4,29 \times 10^{-5}$  К<sup>-1</sup> та від  $\alpha = 10,91 \times 10^{-5}$  К<sup>-1</sup> до  $\alpha = 8,95 \times 10^{-5}$  К<sup>-1</sup> відповідно). Отже, можна констатувати, що введення модифікатора парааміноазобензолу у епоксидний зв'язувач за такого вмісту дозволяє сформувати композит, який дозволяє забезпечити стійкість розроблених матеріалів до лінійних та об'ємних деформацій у процесі експлуатації.

3. Методом термогравіметричного та диференціально-термічного аналізу досліджено термостійкість модифікованих композитів. Встановлено, що відносна втрата маси для усіх зразків модифікованої матриці у діапазоні температур  $\Delta T = 550...850$  К складає  $\varepsilon_m = 66...80$  %. Максимальне значення екзофекту становить  $T_{max} = 558$  К для композиту, наповненого модифікатором парааміноазобензолом у кількості  $q = 1,0$  мас.ч. Крім того, такий матеріал відзначається наступними показниками термостійкості:



початкова температура екзоэффекту –  $T_n = 509$  К; кінцева температура –  $T_k = 861$  К, а відносна втрата маси –  $\varepsilon_m = 66$  %.

### СИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Buketov A. V. Nanommodified dispersed particles- and synthetic fibers-filled epoxy composite materials for the metal-polymer tribosystems of transport vehicles / A. V. Buketov, D. O. Zinchenko, S. O. Smetankin // *Nanomechanics Science and Technology: An International Journal*. – 2017. – Vol. 8. – P. 41–54.

2. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Saprionov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // *Transport*. – 2016. – Vol. 31 (3). – P. 333–342.

3. Чернин Н. Е. Эпоксидные материалы и композиции / Н. Е. Чернин. – М. : Химия, 1982. – 228 с.

4. Buketov A. V. The thermophysical properties of epoxy composites filled with silver carbonate microdisperse particles / A. V. Buketov, O. O. Saprionov, D. O. Zinchenko, V. M. Yatsyuk // *Visnyk of Kherson National Technical University*. – 2015. – № 4 (55). – P. 192–195.

5. Букетов А. В. Улучшение теплофизических свойств композиционных материалов на основе пластифицированной эпоксидной матрицы путем введения огнеупорных мелкозернистых наполнителей различной физической природы / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, А. В. Акимов, Н. В. Браило, Д. А. Зинченко // *Механика композиционных материалов и конструкций* – 2016. – № 2. – С. 254–268.

6. Ходаковський О. В. Дослідження впливу парааміноазобензолу на адгезійні властивості епоксидної матриці для захисних покриттів засобів транспорту / О. В. Ходаковський, М. Ю. Амелін, С. О. Сметанкін, О. В. Акімов, В. М. Яцюк // *Вісник НТУ «ХП»*. – 2016. – № 50 (1222). – С.42–46.

### REFERENCES

1. Buketov A. V. Nanommodified dispersed particles- and synthetic fibers-filled epoxy composite materials for the metal-polymer tribosystems of transport vehicles / A. V. Buketov, D. O. Zinchenko, S. O. Smetankin // *Nanomechanics Science and Technology: An International Journal*. – 2017. – Vol. 8. – P. 41–54.

2. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Saprionov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // *Transport*. – 2016. – Vol. 31 (3). – P. 333–342.

3. Чернин Н. Е. Эпоксидные материалы и композиции / Н. Е. Чернин. – М. : Химия, 1982. – 228 с.

4. Buketov A. V. The thermophysical properties of epoxy composites filled with silver carbonate microdisperse particles / A. V. Buketov, O. O. Saprionov, D. O. Zinchenko, V. M. Yatsyuk // *Visnyk of Kherson National Technical University*. – 2015. – № 4 (55). – P. 192–195.

5. Buketov A. V. Uluchshenie teplofizicheskikh svoystv kompozicionnykh materialov na osnove plastificirovannoy ehpoksidnoy matricih putem vvedeniya ogneupornnykh melkozernistnykh napolniteley razlichnoy fizicheskoy prirodi / A. V. Buketov, A. A. Saprionov, A. V. Akimov, N. V. Brailo, D. A. Zinchenko // *Mekhanika kompozicionnykh materialov i konstrukciy* – 2016. – № 2. – S. 254–268.

6. Khodakovskiy O. V. Doslidzhennya vplivu paraaminoazobenzolu na adgeziyjni vlastivosti epoksidnoy matrici dlya zakhisnykh pokrittiv zasobiv transportu / O. V. Khodakovskiy, M. Yu. Amelin, S. O. Smetankin, O. V. Akimov, V. M. Yacyuk // *Visnik NTU «KhPI»*. – 2016. – № 50 (1222). – S.42–46.

**Ходаковский А. В., Амелин М. Ю., Букетова Н. Н., Яцюк В. Н. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПАРААМИНОАЗОБЕНЗОЛОМ ЭПОКСИДНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ**

*На основе проведенных испытаний теплофизических свойств эпоксикомпозитов, наполненных модификатором парааминоазобензолом, с использованием современных методов исследования установлены допустимые пределы температуры, при которых возможно внедрять разработанные материалы. Исследован термический коэффициент линейного расширения ( $\alpha$ ), теплостойкость ( $T$ ) и термостойкость эпоксикомпозитов. Установлены абсолютные значения термического коэффициента линейного расширения материалов, которые можно использовать в различных температурных диапазонах. Методом дифференциально-термического и термогравиметрического анализа проведено исследование термостойкости и структурных особенностей материалов при увеличении температуры. Установлено, что для формирования композитных материалов с повышенными показателями теплофизических свойств, целесообразно использовать модификатор в количестве  $q = 1,0$  масс.ч. Такой материал характеризуется наибольшей энергией активации, устойчивостью к структурным преобразованиям при максимальных температурах и интенсивным взаимодействием функциональных групп наполнителя с эпоксидным олигомером при структурообразовании на молекулярном уровне всех исследуемых материалов.*

**Ключевые слова:** эпоксидный композит, теплостойкость, термостойкость, деструкция, экзоэффект.

**Khodakovskii A. V., Amelin M. Yu., Buketova N. M., Yatsyuk V. M. THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF PARA-AMINOAZOBENZENE-MODIFIED EPOXY MATRICES FOR PROTECTIVE COATINGS IN THE TRANSPORT INDUSTRY**

*On the basis of tests of thermal properties of epoxy composites filled with modifier using modern research methods permissible limits of temperature, at which it is possible to implement the developed materials are established. The thermal expansion coefficient ( $\alpha$ ), heat resistance ( $T$ ) and thermal of epoxy composites are investigated. We set the absolute values of the thermal expansion coefficient of materials which can be used in different temperature ranges. The method of differential thermal and thermogravimetric analysis studied the thermal stability of materials and structural characteristics as the temperature increases. It is found the formation of composite materials with enhanced thermal properties, it is advisable to use as a modifier in an amount of  $q = 1,0$  %. This material is characterized by the highest activation energy, resistance to structural change at the highest temperatures and intense interaction of the functional groups of the filler with an epoxy oligomer with the structure formation at the molecular level, all of the materials.*

**Keywords:** epoxy composite, heat resistance, heat resistance, destruction, exoeffect.

© Ходаковський О.В., Амелін М.Ю., Букетова Н.М., Яцюк В.М.

Статтю прийнято  
до редакції 21.05.17