

УДК 667.64:678.026

DOI: <https://doi.org/10.26661/2071-3789-2021-1-07>

**Сапронов Олександр Олександрович**, професор, доктор технічних наук, Херсонська державна морська академія. ORCID; 0000-0003-1115-6556

**Чернявська Тетяна Василівна**, аспірант, Херсонська державна морська академія. ORCID; 0000-0003-01-9715

**Сапронова Ганна Вікторівна**, аспірант, Херсонська державна морська академія. ORCID; 0000-0002-4327-4293

**Соценко Віталій Віталійович**, аспірант, Херсонська державна морська академія. ORCID; 0000-0003-4384-9373

**Антоніо Бертем Да Глорія Де Дауш**, аспірант, Херсонська державна морська академія

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МОДИФІКОВАНОЇ ФТАЛІМІДОМ ЕПОКСИДНОЇ МАТРИЦІ МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Для формування полімерних матеріалів як основний компонент для зв'язувача використовують епоксидний діановий олігомер ЕД-20. Для зшивання епоксидного олігомеру за кімнатної температури застосовують твердник поліетиленполіамін ПЕПА. Підвищення властивостей епоксидної матриці досягали шляхом використання модифікатора фталіміду (ізоіндолін-1,3-діон) за вмісту  $q = 0,25$  мас. ч. на  $q = 100$  мас. ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Досліджували активність поверхні модифікатора методом ІЧ-спектрального аналізу. Встановлено присутність активних груп:  $-NH-$ ,  $O-H$ ,  $C-H$ ,  $C-N$  у діапазоні хвильових чисел  $\nu = 3202 \dots 1971 \text{ см}^{-1}$ , карбонільних  $C=O$  – за  $\nu = 1759 \text{ см}^{-1}$ , амідних – у діапазоні хвильових чисел  $\nu = 1604 \dots 1467 \text{ см}^{-1}$ , аміногруп – у діапазоні хвильових чисел  $\nu = 648 \dots 794 \text{ см}^{-1}$ , що вказує на каталітичну активність модифікатора. Додатково проаналізовано динаміку змінювання інтенсивності пропускання, відносної площини смуг вихідної та модифікованої матриць, що дає змогу підтвердити попередні результати дослідження когезійної міцності полімерів.

Ключові слова: епоксидна матриця, зв'язувач, модифікатор, структура, ІЧ-спектральний аналіз, площа піку, інтенсивність пропускання

*Постановка проблеми.* На сьогодні дослідження, пов'язані із застосуванням модифікаторів під час формування полімерних матеріалів, розвиваються досить активно. За введенням їх до епоксидного зв'язувача суттєво змінюється структура полімерів, а отже і адгезійні, фізико-механічні, антикорозійні та технологічні властивості. Це зумовлено хімічною активністю поверхні модифікаторів через значну кількість хімічних зв'язків, які під час зшивання, впливають на основні параметри, такі як швидкість перебігу фізико-хімічних процесів, рухливість і деформованість олігомерних макроланцюгів, упорядкованість їх структури, створення вільних радикалів у структурі полімеру. Водночас, для чіткого розуміння процесів і закономірностей структуроутворення модифікованих епоксикомпозитів стандартизовані методи дослідження властивостей полімерів не є достатніми. У цьому плані перспективним є використання сучасних методів дослідження структури полімерів, зокрема методу ІЧ-спектрального аналізу [1–6].

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Показано [7], що використання активного модифікатора 2-метил-2-тіоціанато-3-(4-тіоціанатофеніл) пропіоаміду дає змогу підвищити адгезійну міцність матриці у 1,7 разів за рахунок активації амінних груп модифікатора а їх взаємодії з сегментами епоксидного олігомеру ЕД-20. Використання модифікатора 1,4-біс(п, п-діетилдітіокарбамато)бензен [8] сприяє підвищенню у два рази механічної міцності матриці за рахунок взаємодії азотовмісних груп із атомами бокових груп епоксидного зв'язувача. Застосування модифікатора парааміноазобензолу [9; 10],

суттєво впливає на процеси структуроутворення епоксидного зв'язувача та забезпечує поліпшення фізико-механічних і теплофізичних властивостей матриці за рахунок збільшення кількості хімічних зв'язків у об'ємі полімеру. Не зважаючи на одержані результати дослідження авторів, актуальним є дослідження властивостей і структури нових модифікованих полімерних матеріалів, що дозволить розширити напрямки їх використання у різних галузях промисловості. Отже, дослідження властивостей полімерних матеріалів і процесу взаємодії компонентів під час полімеризації із використанням методу ІЧ-спектрального аналізу є актуальним для полімерного матеріалознавства

*Мета роботи* – дослідження структури модифікованої фталімідом матриці методом ІЧ-спектроскопії.

*Матеріали та методика дослідження.* За основний компонент для зв'язувача під час формування епоксидних композитних матеріалів вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587–84), який характеризується високою адгезійною та когезійною міцністю, незначною усадкою, а також технологічністю за нанесенням складного профілю на поверхні.

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6–05–241–202–78), що дає змогу затверджувати матеріали за кімнатної температури. ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, що складається з таких взаємозв'язаних компонентів:  $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$ . Зшивали композитний матеріал, вводячи твердника у композицію за стехіометричним співвідношенням компонентів за вмісту (мас. ч.) – ЕД-20: ПЕПА – 100 : 10.

Як модифікатор використано фталімід (ізоіндолін-1,3-діон), що має молекулярну формулу:  $C_8H_5NO_2$ , молярну масу 147,13 г/моль і щільність 1,47 г/см<sup>3</sup>.

Епоксидні матриці формували за такою технологією [5,6]:

– підігрівання смоли до температури  $T = 353 \pm 2$  К і витримка за зазначеної температури впродовж часу  $\tau = 20 \pm 0,1$  хв.;

– гідродинамічне суміщення олігомеру та модифікатора впродовж часу  $\tau = 10 \pm 0,1$  хв.;

– ультразвукова обробка композиції впродовж часу  $\tau = 1,5 \pm 0,1$  хв.;

– охолодження композиції до кімнатної температури впродовж часу  $\tau = 60 \pm 5$  хв.;

– введення твердника і перемішування композиції впродовж часу  $\tau = 5 \pm 0,1$  хв.

Твердненню композитній матеріал піддавали за режимом:

– формування зразків та їх витримання впродовж часу  $\tau = 12,0 \pm 0,1$  год. за температури  $T = 293 \pm 2$  К;

– нагрівання зі швидкістю  $v = 3$  К/хв. до температури  $T = 393 \pm 2$  К;

– витримання впродовж часу  $\tau = 2,0 \pm 0,05$  год, повільне охолодження до температури  $T = 293 \pm 2$  К.

З метою стабілізації структурних процесів у композиті зразки витримували впродовж часу  $\tau = 24$  год. на повітрі за температури  $T = 293 \pm 2$  К з наступним виконанням експериментальних випробувань.

Для дослідження хімічних зв'язків на поверхні модифікатора та їх змінювання у вихідній і модифікованій матрицях використовували ІЧ-спектральний аналіз [11–14]. ІЧ-спектри реєстрували на спектрофотометрі марки «IRAffinity-1» (Японія) у ділянці хвильових чисел  $\nu = 400 \dots 2400$  см<sup>-1</sup> однопроменевим методом у відбитому світлі. Розгортку спектру за хвильовими числами  $\lambda^{-1} = \nu$  здійснювали на діаграмі в межах 225 мм у діапазоні вибраних частот. Хвильові числа, інтенсивність пропускання, напівширину та площу смуги поглинання визначали за допомогою комп'ютерної програми «IRsolution». Похибка визначення хвильового числа –  $\nu = \pm 0,01$  см<sup>-1</sup>, визначення точності розташування піку –  $\nu = \pm 0,125$  см<sup>-1</sup>. Фотометрична точність становила  $\pm 0,2\%$  за програмним управлінням щільною та тривалістю інтегрування –  $t = 10$  с. Крок інтегрування –  $\Delta\lambda = 4$  см<sup>-1</sup>.

*Експериментальні результати.* Попередньо визначали хімічну активність поверхні модифікатора фталіміду, тобто наявність активних груп в його структурі методом ІЧ-спектрального аналізу (рис. 1). Характерні смуги поглинання у діапазоні хвильових чисел  $\nu = 400 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$ , які відповідають функціональним групам модифікатора наведено у табл. 1. Для встановлення закономірностей перебігу фізико-хімічних процесів за структуроутворенням полімерного матеріалу виконували ІЧ-спектральний аналіз вихідної та модифікованої епоксидної матриці. Виходячи з попередніх досліджень когезійної міцності полімерних матеріалів, вважали за доцільне здійснювати ІЧ-спектральний аналіз модифікованої матриці із вмістом модифікатора  $q = 0,25$  мас. ч. На основі ІЧ-спектрального аналізу встановлено існування широкого спектру смуг поглинання, які характеризують валентні, маятникові та деформаційні коливання бокових груп та сегментів макромолекул полімеру (рис. 1).

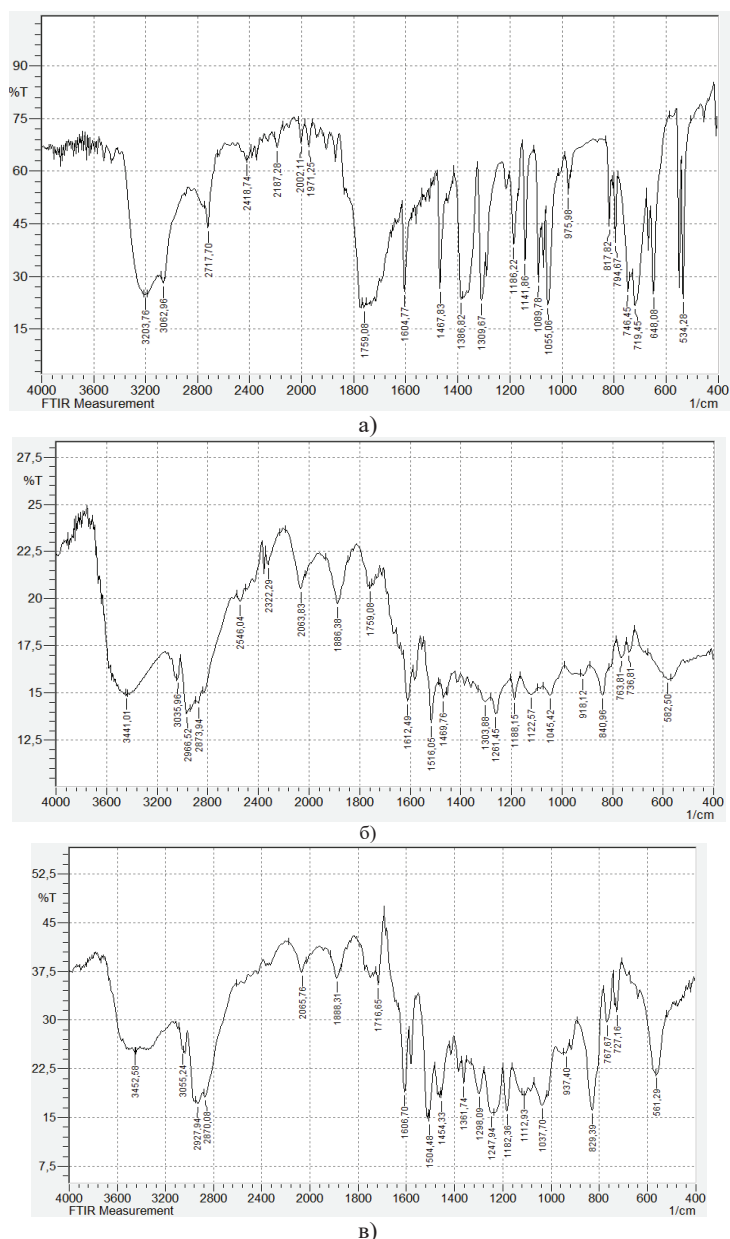


Рисунок 1 – ІЧ-спектри у ділянці хвильових чисел  $\nu = 400 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$ :  
 а – ІЧ-спектр модифікатора фталіміду; б – ІЧ-спектр епоксидної матриці;  
 в – ІЧ-спектр композиту із вмістом модифікатора  $q = 0,25$  мас. ч.

Слід зауважити, що зазначені смуги є ідентичними, проте після введення модифікатора більшість з них (табл. 2) зміщуються за частотою і характеризуються збільшеною інтенсивністю пропускання ( $T, \%$ ) та відносною площею піку ( $S, \%$ ). Це свідчить про різну кількість хімічних зв'язків у полімері, а, отже, і змінювання ступеня зшивання розроблених композитів.

Для модифікованої матриці смуга поглинання за  $\nu = 582 \text{ см}^{-1}$  зміщується у бік менших хвильових чисел (відносно епоксидної матриці) на  $\Delta\nu = 21 \text{ см}^{-1}$ . При цьому суттєво збільшується основний параметр – площа піку на  $\Delta S = 23 \%$ , що свідчить про збільшення кількості бензолних кілець у полімері. Особливої уваги слід звернути на смуги поглинання за  $\nu = 736 \dots 763 \text{ см}^{-1}$ , які відповідають аміним групам, що безпосередньо впливають на перебіг процесу полімеризації.

Для модифікатора фталімід додатково спостерігали присутність розщепленої смуги за  $\nu = 648 \text{ см}^{-1}$  (рис. 1, а), тоді як у сформованому матеріалі (модифікованій матриці) смуга зникає. Це опосередковано вказує на взаємодію функціональних аміногруп модифікатора з активними центрами твердника ПЕПА та епоксидного зв'язувача за його зшиванням.

Також спостерігали збільшення інтенсивності смуг поглинання та відносної площі піків за  $\nu = 840 \dots 1612 \text{ см}^{-1}$ , що вказує на збільшення  $-NH-$ ,  $-CH-$ ,  $-C-C-$ ,  $-C-N-$ ,  $-C-O-$  і епоксидних груп, оскільки вони легко взаємодіють одна з однією та створюють тривимірну структуру полімеру.

Особливої уваги слід звернути на динаміку змінювання кількості карбонільних  $C=O$  груп ( $\nu = 1759 \text{ см}^{-1}$ ). У вихідному матеріалі, тобто самому модифікаторі має перевагу кількість  $C=O$  груп, про що свідчить основний параметр –  $S = 101,0 \%$  (табл. 1). Для епоксидної матриці кількість  $C=O$  груп є найменшою ( $S = 7,9 \%$ ), проте введення модифікатора за вмісту  $q = 0,25$  мас. ч. забезпечує підвищення кількості  $C=O$  груп у два рази ( $S = 15,3 \%$ ) та зміщення смуги поглинання у бік менших хвильових чисел на  $\Delta\nu = 43 \text{ см}^{-1}$  (табл. 2).

Таблиця 1 – Характеристичні смуги поглинання згідно ІЧ-спектрального аналізу модифікатора фталіміду

Групи, що відповідають характеристичним смугам поглинання	Хвильове число, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$	Інтенсивність, $T$ , %	Відносна площа піка, $S$ , %
$-CH$ -група, бензолні і ароматичні кільця	534	23,7	9,5
аміни: $-NH_2$ ; $CH_2NH_2$	648	25,0	18,9
	719	21,7	26,5
	794	39,7	4,6
	деформаційні коливання $C-H$ -груп	975	53,5
$C-C$ -зв'язки ароматичного кільця	1055	22,0	19,1
	1089	28,3	9,5
	1141	34,6	11,3
валентні коливання $-C-O$ -груп	1186	39,3	10,7
	1309	23,3	15,4
	1386	23,5	12,8
аміди: $(C(=O)NH-)$	1467	26,6	12,5
аміди: $(C(=O)NH-)$	1604	25,7	14,5
валентні коливання карбонільних $C=O$ груп	1759	21,0	101,0
маятникові коливання $C-H$ -груп	1971	63,0	4,5
валентні коливання $C-N$ -груп	2418	63,0	7,0
валентні коливання $C-H$ -груп	2717	44,0	26,5
коливання $O-H$ -груп	3062	28,0	16,4
валентні коливання $-NH$ -груп	3203	24,7	13,9

Таблиця 2 – Характеристичні смуги поглинання згідно ІЧ-спектрального аналізу вихідної та модифікованої епоксидних матриць

Характеристики смуги		ІЧ-спектри вихідної епоксидної матриці і модифікованої ( $q = 0,25$ мас. ч. фталіміду)			
		Вихідна матриця		Модифікована матриця	
Група	$\nu$ , $\text{cm}^{-1}$	$T$ , %	$S$ , %	$T$ , %	$S$ , %
$-CH_2$ -група, пара бензол	582	15,7	69,8	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 21 \text{ cm}^{-1}$	
$-NH$ -, $-CH$ -маятникові коливання, первинні аміни: $-NH_2$ ; $CH_2-NH_2$	736	17,1	23,3	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 9 \text{ cm}^{-1}$	
	763	16,8	32,3	Зміщення $\leftarrow$ $\Delta\nu = 4 \text{ cm}^{-1}$	
$-NH$ -, $-CH$ -маятникові коливання, $-C-C$ -валентні коливання, первинні аміни: $CH_2NH_2$ , $CH-NH_2$ , епоксидцикл,	840	14,8	61,7	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 11 \text{ cm}^{-1}$	
$-OH$ -деформаційні коливання, $-C-N$ -, $-C-O$ -валентні коливання, епоксидцикл, первинні аміни: $-NH_2$	1261	14,5	63,7	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 14 \text{ cm}^{-1}$	
$-NH$ - деформаційні коливання, вторинні аміни: $-HN-R$ , $CH-HN-CH$ , $CH_2-HN-CH_2$	1516	13,4	47,0	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 1 \text{ cm}^{-1}$	
$-NH$ - деформаційні коливання, $-C=C$ -, $-C=N$ -валентні коливання, $-NH_2$ первинні аміни: $-CH_2-NH_2$ аміді: $-CO-NH_2$	1612	14,5	31,1	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 6 \text{ cm}^{-1}$	
валентні коливання карбонільних $C=O$ груп	1759	20,5	7,9	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 43 \text{ cm}^{-1}$	
валентні коливання епоксидної групи	1886	19,7	57,6	Зміщення $\leftarrow$ $\Delta\nu = 2 \text{ cm}^{-1}$	
$-C\equiv N$ -валентні коливання, алкінна група: $-C\equiv C-H$	2063	20,5	101,0	Зміщення $\leftarrow$ $\Delta\nu = 2 \text{ cm}^{-1}$	
$-CH$ -валентні коливання, метиловий радикал $CH_3-C$ , метилен $-CH_2-$	2966	13,8	60,5	Зміщення $\rightarrow$ $\Delta\nu = 39 \text{ cm}^{-1}$	
$-OH$ -, $-NH$ -валентні коливання	3441	14,8	12,7	Зміщення $\leftarrow$ $\Delta\nu = 11 \text{ cm}^{-1}$	

Вважали, що за таких умов відбувається реакція взаємодії, тобто приєднання та зшивання макроланцюгів модифікатора із макроланцюгами епоксидного олігомеру під час полімеризації. Додатково встановлено збільшення інтенсивності смуг поглинання модифікованої матриці в діапазоні хвильових чисел  $\nu = 1886 \dots 3441 \text{ cm}^{-1}$ , які є характерними для епоксидних, алкінних і метиленових груп та валентних коливань  $-OH$  груп.

Отже, встановлена взаємодія функціональних груп модифікатора та епоксидного олігомеру під час структуроутворення матеріалів на молекулярному рівні забезпечує синергійний ефект поліпшення когезійної міцності розроблених матеріалів за визначеного вмісту фталіміду ( $q = 0,25$  мас. ч.).

**Висновки.** Аналіз ІЧ-спектрів представлених полімерних матриць (вихідної та модифікованої), дає змогу констатувати, що під час введення модифікатора за вмісту  $q = 0,25$  мас. ч. змінюється надмолекулярна організація структури, що зумовлює активацію та взаємодію макромолекул фталіміду з макромолекулами компонентів зв'язувача. Це, в свою чергу, забезпечує підвищення властивостей модифікованих епоксидком-позитних матеріалів.



**Бібліографічний перелік**

1. Kashytskyi V., Sadova O., Liushuk O., Davydiuk O., Myskovets S. Examining a mechanism of generating the fragments of protective film in the tribological system «epoxycomposite – steel». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No 2/11(86). S. 10–16.
2. Kashytskyi V., Savchuk P., Malets V., Herasymiuk Y., Shcheglov S. Examining the effect of physical fields on the adhesive strength of protective epoxy composite coatings *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No. 3/12(87). S. 16–22.
3. Stukhlyak P.D., Moroz K.M. Influence of porosity in the epoxy matrix-polyvinyl alcohol-disperse filler system on the impact toughness. *Materials Science*. 2011. Vol. 46, No 11. P. 455–463.
4. Stukhlyak P., Holotenko O., Dobrotvor I., Mytnyk M. Investigation of the adhesive strength and residual stresses in epoxy composites modified by microwave electromagnetic treatment. *Materials Science*. 2015. Vol. 51. No. 2. S. 208–212.
5. Букетов А.В., Негруца Р.Ю., Яцюк В.М. Вплив модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'карбонної кислоти на адгезійні властивості та залишкові напруження захисних полімерних покриттів. *Наукові нотатки*. Луцьк : ЛНТУ. 2019. Вип. 65. С. 30–38.
6. Букетов А.В., Сметанкин С.А. Влияние модификатора 4, 4-сульфонилбис (4,1-фелен) бис(N,N-диэтилдитиокарбамата) на адгезионные свойства эпоксидной матрицы. *Механика композиционных материалов и конструкций*. 2018. Т. 24. № 2. С. 242–265.
7. Букетов А.В. Браило Н.В., Сапронов О.О., Яцюк В.Н., Акимов А.В. Исследование влияния модификатора 2-метил-2-тиоцианато-3-(4-тиоцианатофенил)пропиоамида на структуру и свойства эпоксидной матрицы. *Механика композиционных материалов и конструкций*. 2014. № 4(20). С. 539–554.
8. Букетов А.В., Сапронов А.А., Яцюк В.Н., Гришук Б.Д., Барановський В.С. Исследование влияния 1,4-бис(N,N диметилдитиокарбамато)бензена на механические свойства эпоксидной матрицы. *Пластические массы*. 2014. № 3–4. С. 26–34.
9. Ходаковський О.В., Амелін М.Ю., Букетова Н.М., Сапронов О.О., Яцюк В.М. Дослідження фізико-механічних властивостей модифікованих парааміноазобензолом епоксидних композитів для ремонту засобів транспорту. *Науковий вісник ХДМА*. 2017. № 1(16). С. 113–120.
10. Ходаковський О.В., Амелін М.Ю., Букетова Н.М., Яцюк В.М. Теплофізичні властивості модифікованих парааміноазобензолом епоксидних матриць для захисних покриттів деталей транспортної галузі. *Науковий вісник ХДМА*. 2017. № 1(16). С. 216–225.
11. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. Москва : Мир, 1991. 536 с.
12. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. Москва : Мир, 1965. 216 с.
13. Рабек Я.Р. Экспериментальные методы в химии полимеров: пер. с англ. Москва : Мир, 1983. Ч. 1. 384 с.
14. Казацyna Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии: Учеб. пособие для вузов. Москва : Высшая школа, 1971. 264 с.

**References**

1. Kashytskyi V., Sadova O., Liushuk O., Davydiuk O., Myskovets S. Examining a mechanism of generating the fragments of protective film in the tribological system «epoxycomposite – steel». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No 2/11 (86). S. 10–16.
2. Kashytskyi V., Savchuk P., Malets V., Herasymiuk Y., Shcheglov S. Examining the effect of physical fields on the adhesive strength of protective epoxy composite coatings *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No 3/12(87). S. 16–22.
3. Stukhlyak P.D., Moroz K.M. Influence of porosity in the epoxy matrix-polyvinyl alcohol-disperse filler system on the impact toughness. *Materials Science*. 2011. Vol. 46, No 11. S. 455–463.
4. Stukhlyak P., Holotenko O., Dobrotvor I., Mytnyk M. Investigation of the adhesive strength and residual stresses in epoxy composites modified by microwave electromagnetic treatment. *Materials Science*. 2015. Vol. 51. No 2. S. 208–212.
5. Byketov A.V., Negruca R.Yu., Yatsyuk V.M. Vplyv modyfikatora 2,4-diaminoazobenzol-4'karbonovoy kisloty na adgeziyni vlastyvosti ta zalyshkovi napruzhennya zakhysnykh polilernykh pokryttiv. *Naukovi notatky*. Luc'k : LNTU. 2019. Iss. 65. S. 30–38.
6. Byketov A.V., Smetankin S.A. Vliyanie modifikatora 4, 4-syl'fonilbis (4,1-felen)bis(N,N-dietilditiokarbamata) a adgezionnye svoystva epoksidnoy matritsy. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksiy*. 2018. T. 24. No. 2. S. 242–265.

7. Byketov A.V., Brailo N.V., Saprionov O.O., Yatsyuk V.N., Akimov A.V. Issledovanie vliyaniya modifikatora 2-metil-2-tiocianato-3-(4-tiocianatofenil)propioamida na strukturu i svoystva epoksidnoy matrici. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksiy*. 2014. No. 4(20). S. 539–554.
8. Byketov A.V., Saprionov A.A., Yatsyuk V.M., Grishchuk B.D., Baranovskiy V.S. Issledovanie vliyaniya 1,4-bis(N,N dimetilditiokarbamato)benzene na mekhanicheskie svoystva epoksidnoy matrici. *Plasticheskie massy*. 2014. No. 3–4. S. 26–34.
9. Khodakovskiy O.V., Amelin M.Yu., Buketova N.M., Saprionov O.O., Yatsyuk V.M. Doslidzhennya fizyko-mekhanichnykh vlastyvostry modyfikovanykh paraaminoazobenzolom epoksydnykh kompozytiv dlya remontu zasobiv transportu. *Naukovyy visnyk KHDMA*. 2017. No. 1(16). S. 113–120.
10. Khodakovskiy O.V., Amelin M.Yu., Buketova N.V., Yatsyuk V.N. Teplofizichni vlastyvostry modyfikovanykh paraaminoazobenzolom epoksydnykh matryts' dlya zakhysnykh pokryttiv detaley transportnoy galuzi. *Naukovyy visnyk KHDMA*. 2017. No. 1(16). S. 216–225.
11. Nakamoto K. UK-spktry KR neorganichnykh i koordynatsionnykh soedineniy. Moskva : Mir, 1991. 536 s.
12. Nakanisi K. Infrakrasnye spektry i stroenie organicheskikh soedinenikh. Moskva : Mir, 1965. 216 s.
13. Rabek Ya.R. Eksperimental'nye metody v khimii polimerov. Moskva: Mir, 1983. Ch. 1. 384 s.
14. Kazacina L.A., Kupletskaya N.B., Primenenie UF-, IK- i YAMP-spektroskopii v organicheskoy khimii. Ucheb. posobie dlua vuzov. Moskva : Vysshaya shkola, 1971. 264 s.

**Saprionov Oleksander**, professor, doctor technical science, Kherson state sea academy. ORCID: 0000-0003-1115-6556

**Cherniavskya Tetiana**, aspirant, Kherson state sea academy. ORCID: 0000-0003-01-9715

**Saprionova Anna**, aspirant, Kherson state sea academy. ORCID: 0000-0002-4327-4293

**Sotsenko Vitaliy**, aspirant, Kherson state sea academy. ORCID: 0000-0003-4384-9373

**Antonio Bertem**, aspirant, Kherson state sea academy

## INVESTIGATION OF THE STRUCTURE OF PHTHALIMIDE-MODIFIED EPOXY MATRIX BY IR-SPECTRAL ANALYSIS

Epoxy diane oligomer ED-20 was used as the main component for the formation of polymeric materials. It is characterized by a set of properties, namely: high adhesive strength, the possibility of curing at low temperatures, low shrink-age, manufacturability when applied to long-dimensional parts of a complex profile, the presence of a significant number of analogues, including in Ukraine. Polyethylene polyamine (PEPA) hardener was used to crosslink the epoxy oligomer at room temperature. Improving the properties of the epoxy matrix was achieved by using a modifier of phthalimide (isoindoline-1,3-dione) at a content of  $q = 0.25$  pts.wt. at  $q = 100$  pts.wt. of epoxy oligomer ED-20. The combination of components in the formation of polymeric materials was performed using ultrasonic dispersion. The operating frequency range was  $\nu = 20...25$  kHz, ultrasonic power  $N = 400...1200$  W. The amplitude of oscillations of the dispersant was  $A = 10...20$   $\mu\text{m}$ , and the operating range was  $d = 20$  mm. Under these parameters, ultrasonic treatment was performed for a time  $\tau = 1.5 \pm 0.1$  min, followed by cooling the composition to room temperature and the introduction of a hardener. The activity of the surface of the modifier was investigated by IR-spectral analysis. The main parameters of the IR spectra were determined using the computer program IRsolution. By the method of IR spectral analysis the presence of active groups:  $-NH-$ ,  $O-H$ ,  $C-H$ ,  $C-N$  in the range of wave numbers  $\nu = 3202...1971$   $\text{cm}^{-1}$ , carbonyl  $C=O$  – at  $\nu = 1759$   $\text{cm}^{-1}$ , amide – in the range wave numbers of  $\nu = 1604...1467$   $\text{cm}^{-1}$ , amino groups – in the range of wave numbers  $\nu = 648...794$   $\text{cm}^{-1}$ , which indicates the catalytic activity of the modifier were found. Additionally, the dynamics of changes in the transmittance intensity, the relative area of the bands of the original and modified matrices were analyzed, which allowed to confirm the preliminary results of the study of the cohesive strength of polymers by increasing the number of chemical bonds in the volume of the polymer.

Keywords: epoxy matrix, binder, modifier, structure, IR-spectral analysis, peak area, transmittance

Стаття надійшла: 30.01.2021 р.