

## ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СУДНОВОДІННЯ

**Безбах О. М.**, к.т.н., старший викладач кафедри інноваційних технологій та технічних засобів судноводіння Херсонської державної морської академії, ORCID: 0000-0002-8086-328, e-mail: ombezba@gmail.com

*Показано, що серед численних полімерних матеріалів найбільше практичне застосування в галузі суднобудування знаходять реактопласти на основі епоксидних зв'язувачів, такий вибір зумовлений цілим комплексом експлуатаційних та функціональних характеристик останніх. Одним з основних та найсучасніших засобів регулювання структури та властивостей епоксидних композитних матеріалів є їх фізична модифікаційного нанонаповнювачами різної природи. На основі експериментальних досліджень вивчено вплив фізико-хімічної модифікаційної добавки у вигляді пігментної газової сажі, розмір часток якої становить  $24 \pm 2$  нм, на теплофізичні властивості епоксидного діанового олігомера марки ЕД - 20. У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що введення пігментної газової сажі в кількості  $q = 1,00$  мас.ч. призводить до значного зниження усадки КМ від  $\delta = 0,032$  % (для вихідної матриці) до  $0,019$  % відповідно. Доведено, що з подальшим збільшенням концентрації добавки в епоксидну матрицю ( $q = 25,00$  мас.ч.) відповідні показники  $\delta$  КМ зменшуються несуттєво. Це опосередковано свідчить про те, що введення нанодисперсних часток газової сажі за оптимального вмісту забезпечує максимальне зшивання композиції та зумовлює підвищення як механічних, так і теплофізичних властивостей сформованих композитів. Розроблено нові НКМ та покриття на їх основі для відновлення і підвищення експлуатаційних характеристик технічних засобів судноводіння, конструкцій та механізмів морського та річкового транспорту.*

**Ключові слова:** епоксидний композит, фізична модифікація, нанонаповнювач, теплофізичні властивості, концентрація, усадка, надійність, експлуатація, морські транспортні засоби.

**DOI: 10.33815/2313-4763.2021.1.24.072-081**

**Постановка проблеми.** Інтенсивна глобалізація торгівлі призводить до безперервного збільшення кількості морських суден, їх розмірів, швидкості руху, завдяки чому постійно нарощуються обсяги вантажоперевезень у світі. Це зокрема активно впливає на підвищення старих та створення нових вимог безпеки мореплавства, яка значною мірою залежить від справної роботи морських транспортних засобів. У цьому полягають як технічні, так і економічні передумови виникнення проблеми надійності [1]. Так як недостатній рівень надійності – це додаткові витрати, викликані аваріями і простоями суден, зниженням їх швидкості і збільшенням часу вантажних операцій, а також додаткові витрати на ремонт і ТО обладнання. Вирішення цієї проблеми полягає у забезпеченні справної роботи всіх складових судна під час рейсу та збільшення його міжремонтного періоду роботи. Відомо, що до технічної експлуатації морських суден відноситься низка технологічних процесів [2–4]: технічне використання (забезпечення роботи судна), технічне обслуговування (підтримання судна в належному (робочому) стані), ремонтні роботи (відновлення справного технічного стану). Кожен із зазначених технологічних процесів забезпечує надійність експлуатації судна і вимагає безперервного розвитку і вдосконалення.

Нині, для ремонтних заходів та підтримки суднових пристроїв у робочому стані активно використовують інноваційні полімер-композитні матеріали (ПКМ) [5], які дозволяють захистити робочі поверхні суднового устаткування від впливу різноманітних експлуатаційних факторів, таких як: сонячна радіація, морська вода, атмосферні опади, а також механічні навантаження, викликані штормами. Це також дає можливість підвищити експлуатаційні характеристики технічних засобів судна, зокрема і особливо важливі, що відповідають за його управління [6–8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальновідомо [9–11], що одним з найбільших споживачів синтетичних полімерних матеріалів є сучасна суднобудівна промисловість, де перспективи їх використання практично необмежені. Також, серед

численних полімерних матеріалів найбільше практичне застосування в цій галузі знаходять реактопласти на основі епоксидних зв'язувачів, що зумовлено цілим комплексом експлуатаційних та функціональних характеристик останніх. Що підтверджується постійним зростанням кількості публікацій цієї тематики, як у закордонних, так і вітчизняних журналах [9–16]. Аналіз наведених вище праць дозволяє стверджувати, що одним із найперспективніших засобів регулювання структури та властивостей полімерних композитів залишається фізична модифікація епоксидної матриці, яка дозволяє значно покращувати основні адгезійні, термодформаційні та експлуатаційні характеристики розроблених матеріалів. У цьому аспекті одним з найбільш дієвих і ефективних способів модифікації епоксикомпозитів вважається цілеспрямоване введення в їх структуру нанонаповнювачів різної природи. Тому, актуальним є проведення досліджень впливу концентрації нанодисперсної сажі на теплофізичні властивості епоксидної матриці.

**Мета роботи.** Дослідити вплив нанодисперсної сажі на теплофізичні властивості епоксидної матриці для формування захисних покриттів із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

**Матеріали та методика дослідження.** Як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД–20 (ГОСТ 10587-84).

Для зшивання епоксидних композицій використано низькомолекулярний твердник поліетиленполіамін  $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$  (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Зшивали КМ, вводячи твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20: ПЕПА – 100: 10.

У вигляді фізико-хімічної модифікаційної добавки застосовували нанодисперсну пігментну газову сажу марки PowCarbon 2419G (CAS NO.: 1333-86-4, EINECS NO.: 215-609-9). Розмір часток порошку визначено за допомогою методу електронної мікроскопії і становить  $24 \pm 2$  нм.

Епоксидні КМ формували за технологією, наведеною у праці [17].

У роботі досліджували теплофізичні властивості КМ, а саме: термічний коефіцієнт лінійного розширення та розраховані на його основі температура склування й усадка.

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 підвищення температури становила  $v = 2$  К/хв.

Відхилення значень при дослідженнях показників теплофізичних властивостей КМ (ТКЛР) становило 4...6 % від номінального.

**Обговорення результатів експерименту.** Захисні покриття, що наносяться на відновлювані поверхні, повинні володіти безліччю властивостей, що забезпечують надійну роботу деталей і суттєво підвищують їх довговічність. До таких властивостей ПКМ відносяться: міцність з'єднання з основою (адгезія), фізико-механічні властивості, зносостійкість, втомна міцність і не менш важливі теплофізичні характеристики. Внаслідок того, що полімерні покриття застосовуються в основному для захисту металевих деталей, найважливішою умовою їх спільного використання є досить близьке співвідношення коефіцієнтів термічного розширення вище зазначених матеріалів. Крім того, відомо [18], що підвищені значення ТКЛР полімерів є джерелом значних внутрішніх напружень, які виникають у структурі захисних покриттів при зміні температури. Саме тому дослідження теплового коефіцієнта лінійного розширення ( $\alpha$ ) має важливе значення як метод вивчення властивостей розроблених ПКМ.

Отже, на початковому етапі за допомогою аналізу дилатометричних кривих (рис. 1) досліджували тепловий коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) розроблених епоксидних

нанокомпозитів. Як видно з рисунку 2 величина ТКЛР вищезазначених матеріалів зі збільшенням температури зростає. В той же час розрахунки заздалегідь заданих температурних діапазонів (рис. 2) ( $T = (303...473) \pm 2 \text{ K}$ ) показують, що найменшим значенням ТКЛР серед усього спектра досліджуваних композитів характеризуються ПКМ з концентрацією нанодисперсної газової сажі (в подальшому НДГС), яка становить  $q = 5,00...15,00$  мас.ч. Значення ТКЛР відповідних матеріалів у температурному діапазоні  $T = (303...373) \pm 2 \text{ K}$  коливається в межах  $\alpha = (2,24...3,47) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ . Підкреслимо, що при зростанні температури до  $\Delta T = (423...473) \pm 2 \text{ K}$  в області лінійного розширення зразки з вищеописаним вмістом наповнювача ( $q = 15,00 \dots 25,00$  мас.ч.) також характеризуються найменшими показниками ТКЛР –  $\alpha = (5,29...5,83) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  й  $\alpha = (10,02...10,04) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  відповідно.

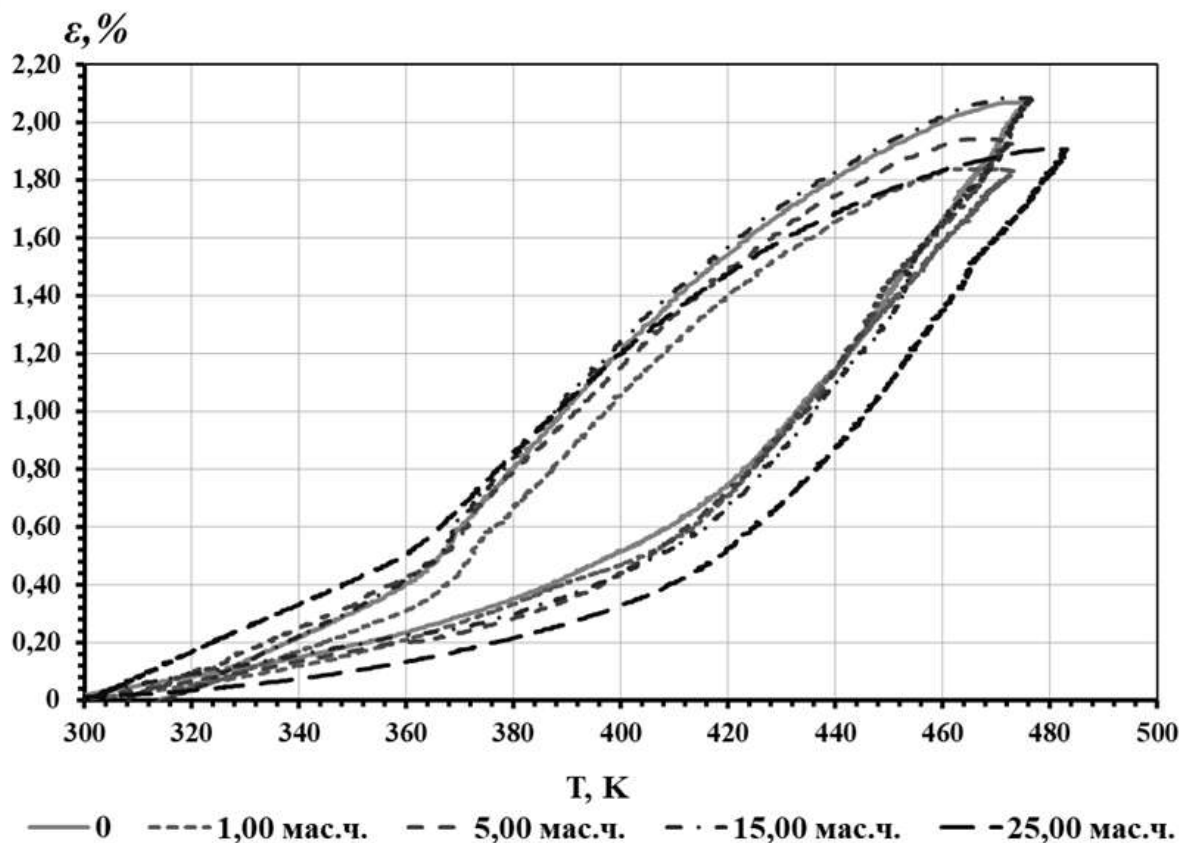


Рисунок 1 – Дилатометричні криві ПКМ із різним вмістом нанодисперсного наповнювача НДГС,  $q$ , мас.ч.

Окремо треба звернути увагу на ПКМ з концентрацією НДГС у кількості  $q = 5,00$  мас.ч. Зазначимо, що ці композити мають характеристики ТКЛР, які суттєво відрізняються від найменших показників, отриманих за вищезазначеного вмісту наповнювача. Експериментально доведено, що при введенні НДГС у кількості  $q = 5,00$  мас.ч. (рис. 2) розроблені композити в наступному температурному діапазоні –  $T = (303...373) \pm 2 \text{ K}$  характеризуються такими значеннями ТКЛР –  $\alpha = (3,27...3,78) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , у той же час при підвищеннях температур в області лінійного розширення  $T = (423...473) \pm 2 \text{ K}$  їх показники коливаються в межах  $\alpha = (5,68...10,12) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

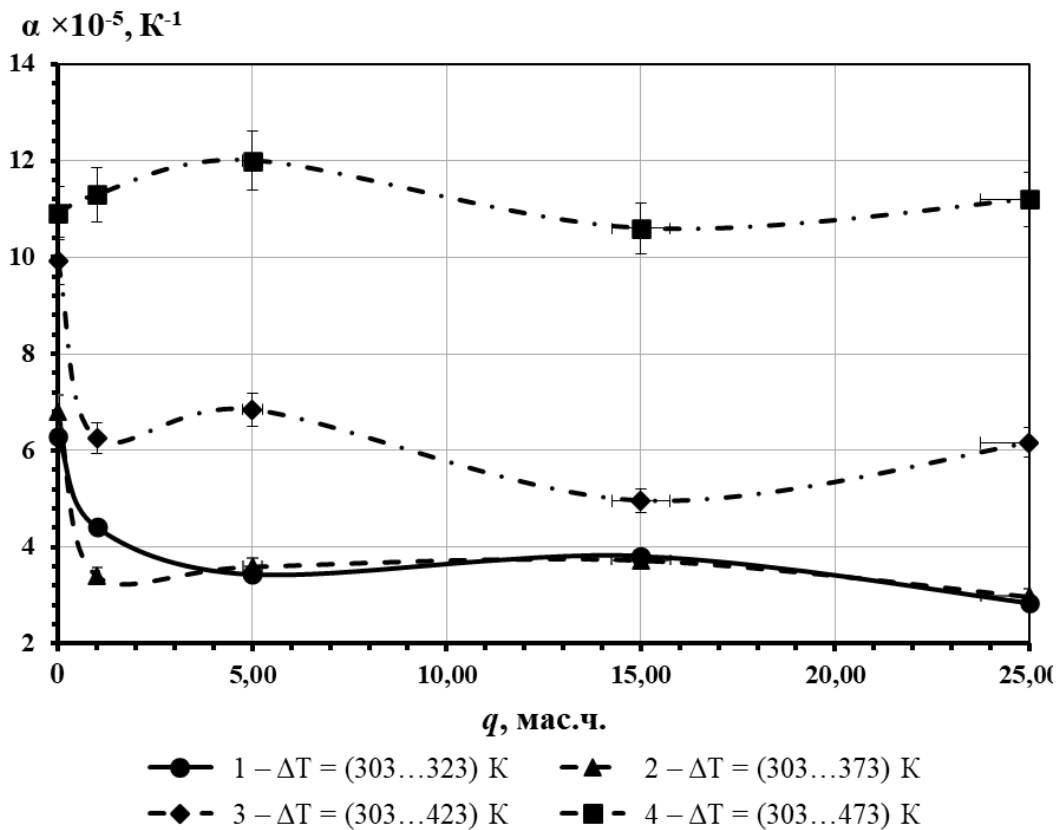


Рисунок 2 – Залежність теплового коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) від вмісту наповнювача НДГС за різних температурних діапазонів

Підсумовуючи з отримані результати експериментальних досліджень, треба зазначити, що введення часток НДГС в епоксидний олігомер за вмісту  $q = 5,00 \dots 25,00$  мас.ч. призводить до значного зменшення ТКЛР у наступному температурному діапазоні –  $T = 303 \dots 423$  К, на  $\Delta\alpha = 48 \dots 68\%$  та  $\Delta\alpha = 41 \dots 46\%$  відповідно, порівнюючи з матричними даними. Також зазначимо, що такі матеріали демонструють незначні зміни ТКЛР ( $\Delta\alpha = 0,86 \dots 0,98\%$ ) під дією максимально заданого теплового поля ( $T = 473$  К). Це, також свідчить про те, що модифікація епоксидної матриці добавкою НДГС за умови вищезазначеного діапазону концентрацій ( $q = 5,00 \dots 25,00$  мас.ч.) суттєво впливає на формування сітчастої будови полімеру, де завдяки рівномірно розподіленим у його об'ємі наночасткам значно ущільнюється та зміцнюється просторова структура створених матеріалів. Завдяки цьому відбувається обмеження рухливості ланцюгів епоксидного зв'язувача, що приводить до зменшення ТКЛР, і як наслідок, забезпечує стійкість отриманих ПКМ або захисних покриттів до лінійних деформацій у наступному діапазоні температур –  $T = 303 \dots T = 423$  К. Водночас, варто зазначити, що експериментально отримані результати дослідження композитів, наповнених за різного вмісту НДГС добре корелюють з нижче наведеними розрахунковими даними температури склування й усадки.

На наступному етапі роботи досліджували температуру склування ( $T_c$ ) розроблених КМ, модифікованих НДГС. Установлено (рис. 3), що при введенні у епоксидний зв'язувач наповнювача в кількості  $q = 1,00 \dots 5,00$  мас.ч.  $T_c$  КМ істотно зменшується ( $T_c = 318 \dots 320$  К.). Треба зазначити, що це на 2...3 % менше, ніж у контрольних зразків ( $T_c = 327$  К.). Максимальним значенням температури склування ( $T_c = 328$  К) серед усіх випробуваних матеріалів характеризується КМ із вмістом НДГС  $q = 15,00$  мас.ч. Як видно на рис. 3, з урахуванням похибки експерименту, максимум температури склування майже не збільшується щодо епоксидної основи ( $T_c = 327$  К), що свідчить про незначний вплив добавки на цей показник.

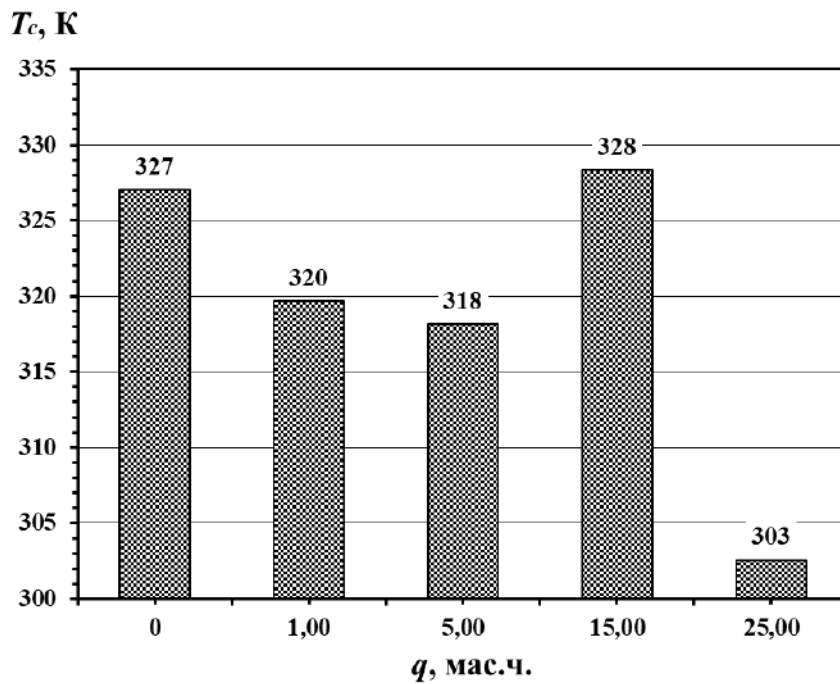


Рисунок 3 – Температура склування ( $T_c$ , К) розроблених композитів, наповнених частками НДГС

У процесі подальшого збільшення концентрації НДГС у полімерній композиції до  $q = 25,00$  мас.ч. спостерігали значне зменшення величин  $T_c$  до 302,7 К, що на  $\Delta T_c = 7,6\%$  менше значення матриці, наведеного вище. Підсумовуючи, з аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що збільшення вмісту добавки, яка перевищує допустиму її концентрацію ( $q = 15,00$  мас.ч.) призводить до значного зменшення  $T_c$  розроблених епоксидних нанокompозитів.

Одночасно досліджували усадку КМ залежно від уведеної кількості добавки НДГС. Аналізуючи рис. 4, можна помітити, що цей показник для КМ істотно знижується зі збільшенням вмісту вуглецевого нанонаповнювача. Доведено, що при введенні в епоксидний

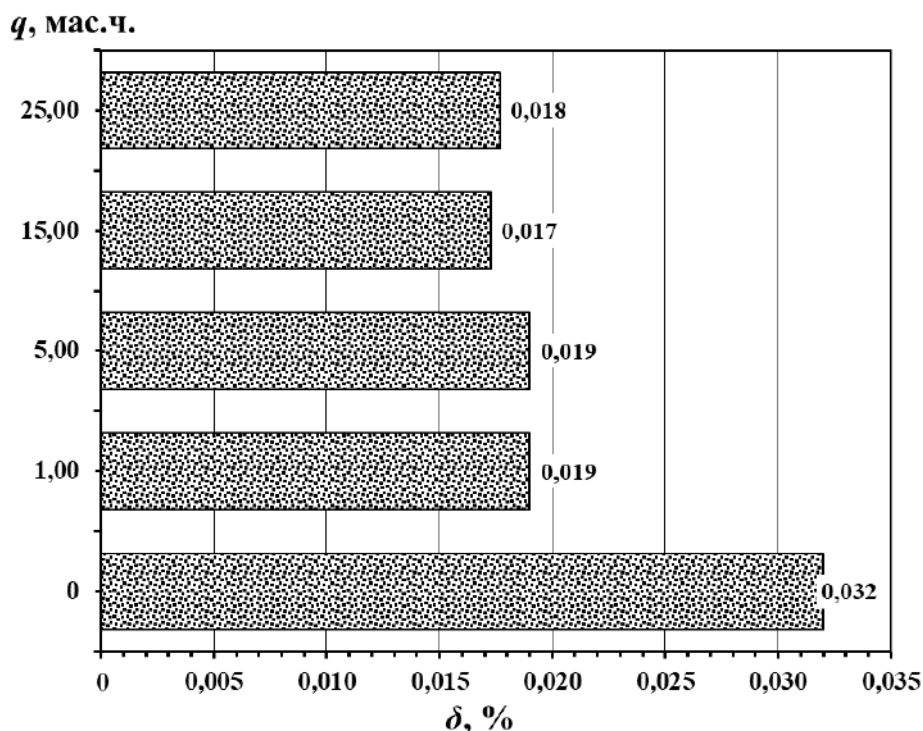


Рисунок 4 – Залежність лінійної усадки ( $\delta$ , %) КМ від вмісту наповнювача НДГС

зв'язувач частинок НДГС у мінімальному концентраційному діапазоні ( $q = 1,00 \dots 5,00$  мас.ч.), усадка КМ знижується від  $\delta = 0,0323$  % (для вихідної матриці) до  $0,019$  % відповідно. Наступне збільшення концентрації наповнювача ( $q = 15,00 \dots 25,00$  мас.ч.) в епоксидних композиціях демонструє подальше, але в межах похибки експерименту, незначне зменшення  $\delta$  КМ до  $0,018 \dots 0,017$  %. Треба зазначити, що найменшими показниками усадки КМ характеризуються матеріали із вмістом НДГС  $q = 15,00$  мас.ч. (рис. 4). Також зауважимо, що ці результати узгоджуються з описаними вище показниками температури склування, де нанокompозити з аналогічним умістом наповнювача характеризуються максимальним значенням  $T_c$  (рис. 2,  $q = 15,00$  мас.ч.). Це також опосередковано свідчить про те, що введення нанодисперсних часток пігментної газової сажі за оптимального вмісту забезпечує максимальне зшивання композиції, та зумовлює підвищення як механічних, так і теплофізичних властивостей сформованих ПКМ.

На основі раніше отриманих експериментальних результатів дослідження композитних матеріалів, а саме в'язкості [14], фізико-механічних властивостей [19] та з урахуванням наведених у цій роботі їх теплофізичних характеристик, є передумови розробки інженерних методів їх нанесення на зовнішню поверхню казанка (котелка) суднового магнітного компаса, майданчика для кріплення, а також на сам тримач датчика (вібратора) ехолота, кронштейни й тримачі суднових антен (рис. 5) з метою попередження корозійного руйнування вищезазначених деталей. Це також зменшить періодичність відновлення дефектних ділянок деталей приблизно у  $1,3 \dots 1,9$  рази відповідно.

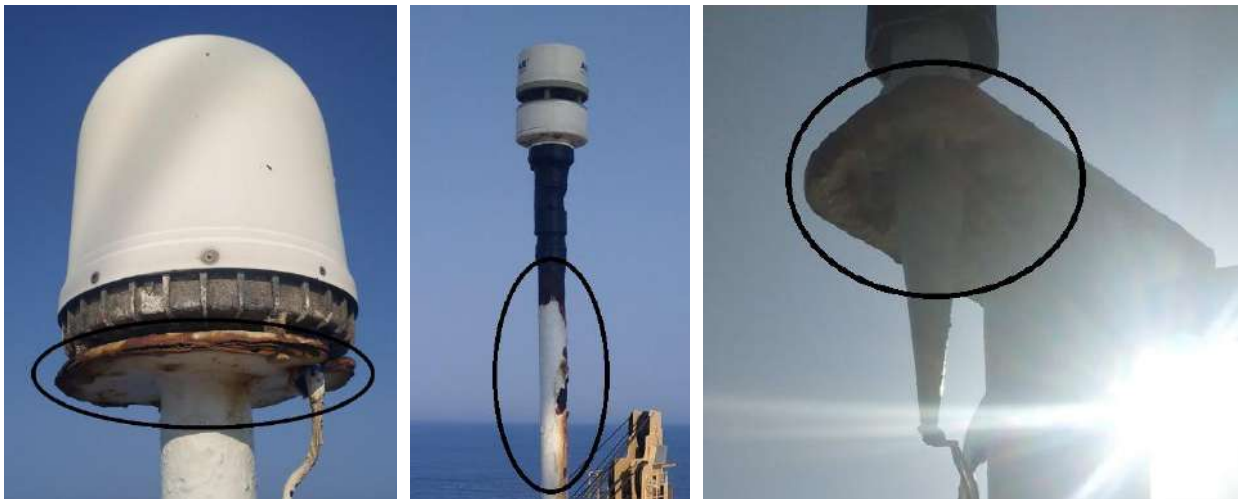


Рисунок 5 – Види пошкоджень поверхонь кронштейнів, кріплень суднових антен

**Висновки.** На основі експериментальних досліджень теплового коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) розроблених епоксидних нанокompозитів встановлено, що зі збільшенням температури цей параметр зростає. Розрахунки заздалегідь заданих температурних діапазонів ( $T = (303 \dots 473) \pm 2$  К) показують, що найменшим значенням ТКЛР серед усього спектра досліджуваних композитів характеризуються ПКМ з концентрацією нанодисперсної газової сажі, яка становить  $q = 5,00 \dots 15,00$  мас.ч. Це також, свідчить про те, що модифікація епоксидної матриці відповідною добавкою за умови вищезазначеного діапазону концентрацій ( $q = 5,00 \dots 25,00$  мас.ч.) суттєво впливає на формування сітчастої будови полімеру, де завдяки рівномірно розподіленим у його об'ємі вуглецевим наночасткам значно ущільнюється та зміцнюється просторова структура створених матеріалів, забезпечуючи стійкість отриманих ПКМ або захисних покриттів до лінійних деформацій у наступному діапазоні температур –  $T = 303 \dots T = 423$  К.

Доведено, що при введенні у епоксидний зв'язувач наповнювача у кількості  $q = 1,00 \dots 5,00$  мас.ч. температура склування розроблених КМ зменшується порівняно з матричними значеннями ( $T_c = 327$  К) на  $2 \dots 3$  %. Максимальним значенням  $T_c$  серед усіх випробуваних зразків, яке становить  $328$  К, характеризується КМ із вмістом нанодобавки

$q = 15,00$  мас.ч. Подальше збільшення вмісту відповідного модифікаційного інгредієнта призводить до значного зменшення температури склування розроблених епоксидних нанокompозитів.

Установлено, що при введенні в епоксидний зв'язувач наночастинок газової сажі в мінімальному концентраційному діапазоні ( $q = 1,00 \dots 5,00$  мас.ч.), усадка КМ знижується від  $\delta = 0,0323$  % (для вихідної матриці) до  $0,019$  % відповідно. Наступне збільшення концентрації наповнювача ( $q = 15,00 \dots 25,00$  мас.ч.) в епоксидних композиціях демонструє подальше, але в межах похибки експерименту, незначне зменшення  $\delta$  КМ до  $0,018 \dots 0,017$ %.

Узгодженість експериментально отриманих теплофізичних характеристик розроблених нанокompозитів опосередковано вказує на те, що введення часток пігментної газової сажі за оптимального вмісту забезпечує максимальне зшивання композиції та зумовлює підвищення як механічних, так і теплофізичних властивостей сформованих ПКМ.

Розроблено нові нанокompозити та покриття на їх основі для відновлення і підвищення експлуатаційних характеристик технічних засобів судноводіння, конструкцій та механізмів морського та річкового транспорту.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

а. Парасюк В. І., Кондратьєв А. В. Основи надійності технічних систем: навчальний посібник до лабораторного практикуму. Харків : Харківський авіаційний інститут, 2010. 72 с.

б. Emi H., Yuasa M., Kumano A., Yamamoto N., Arima T. and Umino M. A. Study on life assessment of ships and offshore structures. 3rd report: corrosion control and condition evaluation for a long life service of the ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*. 1993. Vol. 174. P. 735–747.

в. Soares C. G., Garbatov Y., Zayed A., Wang G. Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere. *Corrosien Scien* 51. 2009. P. 2014–2026. DOI:10.1016/j.corsci.2009.05.028

г. Abbas M., Shafiee M. An overview of maintenance management strategies for corroded steel structures in extreme marine environments. *Marine Structures*. 2020. Vol. 71. 102718. DOI:https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102718

д. Колосов О. Є., Сівецький В. І., Сокольський О. Л., Івіцький І. І., Куриленко В. М. Матеріали та технології для одержання функціональних полімерних композиційних матеріалів. *Наукові нотатки*. 2017. № 58. С. 184–192.

е. Донцов С. В. Магнитные компасы : учебное пособие. Одесса : ОНМА, 2014. 70 с.

ж. Appleyard S. F., Linford R. S., Yarwood P. J. *Marine Electronic Navigation*. Abingdon : Routledge, 2005. 616 p.

з. Смирнов Е. Л., Яловенко А. В., Перфильев В. К., Воронов В. В., Сизов В. В. Технические средства судовождения. Конструкция и эксплуатация: учебник для вузов. Санкт-Петербург : Элмор, 2000. 656 с.

и. Красильникова О. А., Кольчурин А. И. Применение полимерных конструкционных материалов в судостроении. *European research*. 2016. Вып. 5(16). С. 22–24.

й. Баженов С. Л., Берлин А. А., Кульков А. А., Ошмян В. Г. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный : Издательский дом «Интеллект», 2010. 352 с.

к. Курников А. С., Орехов В. А., Ефремов С. Ю. Технология судоремонта : монография. Нижний Новгород : ВГАВТ, 2008. 237 с.

л. Sapronov O., Buketov A., Sapronova A., Sotsenko V., Brailo M., Yakushchenko S., Maruschak P., Smetankin S., Kulinich A., Kulinich V., Poberezhna L. The Influence of the Content and Nature of the Dispersive Filler at the Formation of Coatings for Protection of the

Equipment of River and Sea Transport. SAE International *Journal of Materials and Manufacturing*. 2020, Vol. 13 (1). P. 81–91. DOI: <https://doi.org/10.4271/05-13-01-0006>.

m. Buketov A. V., Brailo M. V., Yakushchenko S. V., Sapronov O. O., Smetankin S. O. The formulation of epoxy-polyester matrix with improved physical and mechanical properties for restoration of means of sea and river transport. *Journal of Marine Engineering & Technology*. 2020, Vol. 19. № 3. P. 109–114. DOI: <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1530171>.

n. Buketov A., Smetankin S., Maruschak P., Yurenin K., Sapronov O., Matvyeyev V., Menou A. New black-filled epoxy coatings for repairing surface of equipment of marine ships. *Transport*. 2020. Vol. 35,(6). P. 679–690. DOI: [doi.org/10.3846/transport.2020.14286](https://doi.org/10.3846/transport.2020.14286).

o. Rubino F., Nisticò A., Tucci F. & Carlone P. Marine Application of Fiber Reinforced Composites, A Review. *Journal of Marine Science and Engineering & Technolog*. 2020. Vol 8(1), P. 26. DOI: [10.3390/jmse8010026](https://doi.org/10.3390/jmse8010026)

p. Mouritz A. P., Gellert E., Burchill P. Review of advanced composite structures for naval ships and submarines. *Compos Struct*. 2001, Vol. 53, P. 21-41.

q. Букетов А. В., Сапронов А. А., Яцюк В. Н., Скирденко В. О. Исследование влияния модификатора 4,4-метиленбис (4,1-фенилен)бис(N,N-диэтилдитиокарбамату) на структуру и свойства эпоксидной матрицы. *Пластические массы*. 2014. № 7–8. С. 9–16.

г. Санжаровский А. Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий. Москва : Химия, 1975. 264 с.

s. Buketov A., Smetankin S., Yakushchenko S., Yurenin K., Sotsenko V., Brailo M., Kulinich V., Sapronov O., Kulinich A., Vrublevskiy R. & Bezbakh O. Physical-mechanical properties of epoxy composites filled with carbon black nano-dispersed powder for protection of transport vehicles. *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal*. 2021. Vol. 12 (2). P. 1–12. DOI: [10.1615/CompMechComputApplIntJ.2021037544](https://doi.org/10.1615/CompMechComputApplIntJ.2021037544).

## REFERENCES

1. Parasiuk V.I., Kondratiev A. V. (2010). *Osnovy nadiinosti tekhnichnykh system: navchalnyi posibnyk do laboratornoho praktykumu*. Kharkiv: Kharkivskiy aviatsiyniy instytut.
2. Emi H., Yuasa M., Kumano A., Yamamoto N., Arima T. & Umino M. A. (1993). Study on life assessment of ships and offshore structures. 3rd report: corrosion control and condition evaluation for a long life service of the ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*. Vol. 174, 735–747.
3. Soares C. G., Garbatov Y., Zayed A. & Wang G. (2009). Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere. *Corrosien Scien* 51. DOI [10.1016/j.corsci.2009.05.028](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.05.028)
4. Abbas M., Shafiee M. (2020). An overview of maintenance management strategies for corroded steel structures in extreme marine environments. *Marine Structures*, Vol. 71, 102718, <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102718>
5. Kolosov O. Ye., Sivetskyi V. I., Sokolskyi O. L., Ivitskyi I. I. & Kurylenko V. M. (2017). Materialy ta tekhnolohii dlia oderzhannia funktsionalnykh polimernykh kompozytsiynykh materialiv. *Naukovi notatky*, 58. 184–192.
6. Doncov S. V. (2014). *Magnitnihe kompasih : uchebnoe posobie*. Odessa : ONMA.
7. Appleyard S. F., Linford R. S., Yarwood P. J. (2005). *Marine Electronic Navigation*. Abingdon : Routledge.
8. Smirnov E. L., Yalovenko A. V., Perfiljev V. K., Voronov V. V. & Sizov V. V. (2020). *Tekhnicheskie sredstva sudovozhdeniya. Konstrukciya i ehkspluatatsiya: uchebnyk dlya vuzov*. Sankt-Peterburg : Ehlmor.
9. Kurnikov A. S., Orekhvo V. A., Efremov S. Yu. (2008). *Tekhnologiya sudoremonta : monografiya*. Nizhniy Novgorod : VGAVT.
10. Bazhenov S. L., Berlin A. A., Kuljkov A. A. & Oshmyan V. G. (2010). *Polimernihe kompozicionnihe materialih*. Dolgoprudniy : Izdateljskiy dom Intellekt.



11. Kurnikov A. S., Orekhvo V. A., Efremov S. Yu. (2008). *Tekhnologiya sudoremonta : monografiya*. Nizhnij Novgorod : VGAVT.
12. Saprionov O., Buketov A., Saprionova A., Sotsenko V., Brailo M., Yakushchenko S., Maruschak P., Smetankin S., Kulinich A., Kulinich V. & Poberezhna L. (2020). The Influence of the Content and Nature of the Dispersive Filler at the Formation of Coatings for Protection of the Equipment of River and Sea Transport. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing, Vol. 13(1)*, 81–91. DOI: <https://doi.org/10.4271/05-13-01-0006>.
13. Buketov A. V., Brailo M. V., Yakushchenko S. V., Saprionov O. O. & Smetankin S. O. (2020). The formulation of epoxy-polyester matrix with improved physical and mechanical properties for restoration of means of sea and river transport. *Journal of Marine Engineering & Technology.*, Vol. 19. 3, 109–114. DOI: <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1530171>.
14. Buketov A., Smetankin S., Maruschak P., Yurenin K., Saprionov O., Matvyeyev V. & Menou A. (2020). New black-filled epoxy coatings for repairing surface of equipment of marine ships. *Transport, Vol. 35 (6)*, 679–690. DOI: [doi.org/10.3846/transport.2020.14286](https://doi.org/10.3846/transport.2020.14286).
15. Rubino F., Nisticò A., Tucci F. & Carlone P. (2020). Marine Application of Fiber Reinforced Composites, A Review. *Journal of Marine Science and Engineering & Technolog. Vol. 8 (1)*, 26. DOI:10.3390/jmse8010026.
16. Mouritz A. P., Gellert E., Burchill P. (2001). Review of advanced composite structures for naval ships and submarines. *Compos Struct, Vol. 53*, 21–41.
17. Buketov A. V., Saprionov A. A., Yacyuk V. N. & Skirdenko V. O. (2014). Issledovanie vliyaniya modifikatora 4,4'-metilenbis (4,1-fenilen)bis (N,N-dietilditiokarbamatu) na strukturu i svoystva ehпоксидной матрицы. *Plasticheskie massih, 7–8*, 9–16.
18. Sanzharovskiy A. T. (1975). *Fiziko-mekhanicheskie svoystva polimernikh i lakokrasochnikh pokritiy*. Moskva : Khimiya.
19. Buketov A., Smetankin S., Yakushchenko S., Yurenin K., Sotsenko V., Brailo M., Kulinich V., Saprionov O., Kulinich A., Vrublevskiy R. & Bezbakh O. (2021). Physical-mechanical properties of epoxy composites filled with carbon black nano-dispersed powder for protection of transport vehicles. *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal, Vol. 12 (2)*, 1–12. DOI 10.1615/CompMechComputApplIntJ.2021037544.

**Безбах О. М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СУДОВОЖДЕНИЯ**

Показано, что среди многочисленных полимерных материалов наибольшее практическое применение в области судостроения находят реактопласты на основе эпоксидных связующих, такой выбор обусловлен целым комплексом эксплуатационных и функциональных характеристик последних. Одним из основных и современных средств регулирования структуры и свойств эпоксидных композитных материалов является их физическая модификация нанонаполнителей различной природы. На основе экспериментальных исследований изучено влияние физико-химической модифицирующей добавки в виде пигментной газовой сажи, размер частиц которой составляет  $24 \pm 2$  нм, на теплофизические свойства эпоксидного дианового олигомера марки ЭД - 20. В результате анализа полученных данных установлено, что введение пигментной газовой сажи в количестве  $q = 1,00$  мас.ч. приводит к значительному снижению усадки КМ от  $\delta = 0,032\%$  (для исходной матрицы) к  $0,019\%$  соответственно. Доказано, что с дальнейшим увеличением концентрации добавки в эпоксидную матрицу ( $q = 25,00$  мас.ч.) соответствующие показатели  $\delta$  КМ уменьшаются не существенно. Это косвенно свидетельствует о том, что введение нанодисперсных частиц газовой сажи при оптимальном содержании обеспечивает максимальное сшивания композиции и приводит к повышению как механических, так и теплофизических свойств сформированных композитов. Разработаны новые НКМ и покрытия на их основе для восстановления и повышения эксплуатационных характеристик технических средств судовождения, конструкций и механизмов морского и речного транспорта.

**Ключевые слова:** эпоксидный композит, физическая модификация, нанонаполнитель, теплофизические свойства, концентрация, усадка, надежность, эксплуатация, морские транспортные средства.

**Bezbakh O. M. THE USE OF INNOVATIVE POLYMER COMPOSITE COATINGS TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF TECHNICAL MEANS OF NAVIGATION**

*It has been testified that among numerous polymer materials, the most practical applications in the field of shipbuilding are reactoplasts based on epoxy binders, due to a range of operational and functional characteristics of the latter. One of the main and most modern means of regulating the structure and properties of epoxy composite materials is their physical modification by nanofillers of different nature. Based on experimental studies, the effect of physicochemical modifying additive in the form of pigment gas soot, the particle size of which is  $24 \pm 2$  nm, on the thermophysical properties of epoxy diene oligomer brand ED-20 has been studied. As a result of the analysis of the obtained data, it has been discovered that the introduction of pigment gas soot in the amount of  $q = 1.00$  wt.h. leads to a significant reduction in KM shrinkage from  $\delta = 0.032\%$  (for the original matrix) to  $0.019\%$ , respectively. It has been proved that with a further increase in the concentration of the additive in the epoxy matrix ( $q = 25.00$  parts by weight), the corresponding values of  $\delta$  KM do not decrease significantly. This indirectly indicates that the introduction of nanodispersed particles of carbon black at the optimal content provides maximum crosslinking of the composition, and leads to an increase in both mechanical and thermophysical properties of the formed composites. New NCMs and coatings based on them have been developed to restore and improve the performance of technical means of navigation, structures and mechanisms of sea and river transport.*

**Keywords:** epoxy composite, physical modification, nanofiller, thermophysical properties, concentration, shrinkage, reliability, operation, marine vehicles.

© Безбах О. М.

Статтю прийнято  
до редакції 26.04.21