

## ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХИСНИХ ТЕПЛОСТІЙКИХ АНТИКОРОЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РЕМОНТУ І ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Букетов А. В.**, *д.т.н., професор, завідувач кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, e-mail: buketov@tntu.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9836-3296;*

**Кулініч В. Г.**, *викладач кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, e-mail: kulinich2000@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-0323-8236;*

**Кулініч В. В.**, *старший викладач кафедри судноводіння Херсонської державної морської академії, e-mail: victorykulinich@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6764-7886;*

**Сметанкін С. О.**, *PhD, старший викладач кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, e-mail: rabota.hdma.10@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9658-2492;*

**Палагній В. І.**, *старший викладач кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, e-mail: vpalagniy@ukr.net.*

*Розроблено два нових композитних матеріали і покриття на їх основі, які впроваджено у ПП «Інтелектуальні морські технології» м. Миколаїв. Даний результат забезпечує підвищення довговічності деталей засобів морського та річкового транспорту за рахунок підвищеної теплостійкості та корозійної стійкості розроблених полімерних композитних матеріалів та захисних покриттів на їх основі. Підвищення корозійної стійкості досягнуто за допомогою використання захисного полімеркомпозитного покриття на основі епоксидного діанового олігомеру ЕД-20, модифікованого 3,3-дихлор-4,4-діамінодифенілметаном, наповненого полістиролом «Оазис» та затвердженого поліетиленполіаміном ПЕПА. Введення до епоксидного зв'язувача таких інгредієнтів дозволяє підвищити показники руйнівних напружень при згинанні епоксикомпозитів від  $\sigma_{z2} = 48,0$  МПа (для епоксидної матриці) до  $\sigma_{z2} = 110,6$  МПа. Захисне покриття виокремлюється підвищеною когезійною міцністю, що забезпечує сповільнення проникності агресивних середовищ у об'єм розробленого епоксикомпозиту. Формування захисного покриття із підвищеною теплостійкістю забезпечено шляхом введення в сполучне модифікатора 4,4-діамінодифенілметану, наповнювача полістирола «Оазис» та твердника ПЕПА. За такого вмісту забезпечено формування композитних матеріалів із поліпшеними показниками теплостійкості від  $T = 341$  К (для епоксидної матриці) до  $T = 355$  К. Отримані фізико-механічні, теплофізичні властивості та корозійна стійкість розроблених матеріалів порівняні із відомими світовими аналогами. Це є неопосередкованим свідченням їх конкурентоспроможності на світовому ринку. Слід зазначити, що розроблені захисні покриття дозволили збільшити показники руйнівних напружень при згинанні у 2,0...2,3 рази, а корозійної стійкості у 1,6 разів порівняно із немодифікованою епоксидною матрицею.*

**Ключові слова:** *епоксидний олігомер, покриття, модифікатор, наповнювач, полістирол «Оазис», 3,3-дихлор-4,4-діамінодифенілметан, 4,4-діамінодифенілметан, корозійна стійкість, теплостійкість, руйнівні напруження при згинанні.*

**DOI: 10.33815/2313-4763.2021.2.25.029-037**

**Постановка проблеми.** Експлуатація морського та річкового транспорту передбачає фактор постійного впливу агресивного середовища та температурного поля на деталі устаткування. Це супроводжується позаплановим ремонтом, або заміною деталей, що призводить до суттєвих економічних витрат. Основний напрям вирішення даної проблеми складає розробка нових захисних покриттів із комплексом необхідних поліпшених властивостей: фізико-механічних, теплофізичних, корозійної стійкості тощо. Крім того, вагомою складовою є необхідність багаторазового відновлення робочої поверхні. Серед існуючих шляхів вирішення даної проблеми окреме місце займають захисні покриття на епоксидній основі через переваги, зумовлені необхідними технологічними та експлуатаційними властивостями. В цьому плані перспективною є їхня

фізична і хімічна модифікація водночас із наповненням дисперсними частками, що зумовлює формування матеріалу із поліпшеними у комплексі властивостями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує широкий спектр полімерних композитних матеріалів (КМ) із підвищеною корозійною стійкістю та поліпшеними фізико-механічними та теплофізичними властивостями [1–4]. У даному напрямку ведеться активна розробка таких композитів, у тому числі й відомими українськими та закордонними вченими. Вагомим фактором для проведення досліджень у даному напрямку є експлуатація деталей засобів транспорту у агресивних середовищах – річкова та морська вода, бензин, нафта та різні кислоти. Водночас дані деталі регулярно зазнають впливу теплового поля. Підвищення надійності та міжремонтного ресурсу устаткування досі не втрачає своєї актуальності.

У зв'язку із науково-технічним прогресом більш пріоритетним є вдосконалення відомих покриттів з точки зору економії коштів та часу. Загальновідомо, що використання захисних покриттів на основі епоксидного олігомеру ЕД-20 та затверджених поліетиленполіаміном ПЕПА [5, 6] забезпечує підвищення міжремонтного ресурсу деталей засобів морського та річкового транспорту. Для поліпшення фізико-механічних і теплофізичних властивостей використовують модифікатори та наповнювачі за критичного вмісту. В даному напрямку доцільним є використання матеріалів із активними до міжфазової взаємодії групами та подібною структурою, що забезпечує підвищення когезійної міцності за рахунок щільно зшитої структури.

Встановлено [7], що одним із перспективних засобів формування полімерного КМ із поліпшеними фізико-механічними властивостями є введення до епоксидного зв'язувача модифікатора 3,3'-Дихлор-4,4'-діамінодифенілметану (ДХДАФМ) за критичного вмісту  $q = 0.25$  мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного діанового олігомеру ЕД-20.

Для формування КМ із поліпшеними теплофізичними властивостями доцільним є введення модифікатора 4,4'-діамінодифенілметану (ДАФМ) [8, 9].

Модифікація існуючих полімерів є більш швидким та економічним засобом отримання нових матеріалів із необхідними властивостями у порівнянні із розробкою нових матеріалів. Відомим способом отримання необхідного результату є сумішування полімера з іншими сполуками. Особливий пріоритет займає використання вторинних ресурсів, оскільки відпрацьовані полімери призводять до забруднення навколишнього середовища [10, 11]. Авторами [11] обґрунтовано пріоритетність використання вторинних ресурсів у виробництві у порівнянні із складуванням або спалюванням останніх. Одним із засобів вирішення існуючої проблеми є можливість застосування промислових полімерних відходів у вигляді подрібненої крошки, отриманої з некондиційних, забруднених та бракованих виробів із термопластів [12]. Полістирол «Оазис» виокремлюється відносно невисокою собівартістю та можливістю використання у якості вторинного ресурсу, що в свою чергу забезпечує зменшення забруднення навколишнього середовища.

**Мета роботи** – розроблення захисних полімеркомпозитних покриттів із підвищеною корозійною тривкістю та теплостійкістю для подальшого їх впровадження у промисловість.

**Матеріали та методика дослідження.** В якості епоксидного зв'язувача вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78) використовували в якості твердника. Використання ПЕПА надає можливість зшивання епоксидних композицій при кімнатних температурах. Стехіометричне співвідношення компонентів «епоксидний олігомер – твердник» складає 100 : 10.

З метою забезпечення поліпшення фізико-механічних властивостей використовували хімічну модифікацію композиції 3,3'-дихлор-4,4'-діамінодифенілметаном (ДХДАФМ). Даний модифікатор використовують в якості

твердника епоксидних смол, поліуретанів та склопластиків. Не є розчинним у воді, легко утворює солі із мінеральними кислотами, розчинний у органічних розчинниках.

Для формування КМ, призначених для експлуатації в умовах впливу температурного поля, вибрано модифікатор 4,4-діамінодифенілметан (ДАФМ), який є важливим продуктом у хімічній промисловості, використовується у якості твердника епоксидних смол та термопластів. Продукти, які виробляють за його допомогою, відрізняються поліпшеними механічними властивостями, електроізоляцією, термостійкістю та зносостійкістю.

У обраних модифікаторів подібна структура та наявні активні ароматичні групи  $\text{NH}_2$ , подібні до існуючих у твердника ПЕПА. Це забезпечує підвищення реакційної здатності компонентів.

Структура наповнювача полістиролу «Оазис» є подібною до існуючої у епоксидного діанового олігомеру ЕД-20. Обидва компоненти мають ідентичні бензольні кільця та «-СН» групи. Встановлено, що для формування КМ із оптимальними фізико-механічними та теплофізичними властивостями доцільно вводити наповнювач вмістом  $q = 0,06$  мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Молекулярна формула наповнювача:  $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)]_n$ . ПО широко розповсюджений у флористичній сфері, крім того виокремлюється відносно.

Для дослідження антикорозійної стійкості розроблених покриттів для деталей транспорту, які експлуатують у агресивних середовищах, встановлено зміну маси зразків, модифікованих ДХДАФМ/ДАФМ і наповнених ПО. Зразки витримували у агресивних середовищах часом 720 год за температури  $T = 293 \pm 2$  К. Зразки з масою 1,0...1,2 г зважували на аналітичних вагах марки ВЛР-200 з точністю до  $\pm 0,001$  г перед дослідженням і після витримки в агресивних середовищах.

Розрахунок проникності агресивних середовищ при збільшенні маси зразків проводили згідно формули:

$$\chi = \frac{b-a}{a} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Навпаки, при зменшенні маси зразків проникність агресивної маси середовищ розраховували за формулою:

$$\chi = \frac{a-b}{a} \cdot 100\% , \quad (2)$$

де  $\chi$  – корозійна тривкість, %;  $a$  – маса зразків до випробувань, г;  $b$  – маса зразків після випробування, г.

Руйнівні напруження і модуль пружності КМ при згинанні визначали згідно ГОСТу 4648-71 і ГОСТу 9550-81 відповідно.

Вимірювання теплостійкості проведено згідно з ГОСТ 21341-75.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Перший етап досліджень складав випробування корозійної стійкості розроблених матеріалів після витримки у агресивних середовищах впродовж часу  $t = 720$  год за температури  $T = 293 \pm 2$  К. Для підтвердження достовірності проведених експериментів водночас випробували відомі розроблені КМ.

Проведено випробування п'яти складів антикорозійних КМ:

- епоксидна матриця (контрольний зразок), яку сформовано за наступного співвідношення компонентів – епоксидний олігомер ЕД-20 : твердник ПЕПА – 100 : 10;
- КМ 1, сформований за наступного співвідношення компонентів – епоксидний олігомер ЕД-20, модифікатор ДХДАФМ, наповнювач ПО і твердник ПЕПА - 100 : 0,25 : 0,06 : 10;
- КМ 2, сформований за наступного співвідношення компонентів – епоксидний олігомер ЕД-20, модифікатор ДАФМ, наповнювач ПО і твердник ПЕПА - 100 : 1,00 : 0,06 : 10;

– КМ 3, сформований за наступного співвідношення компонентів – модифікований зв’язувач : синтезована полімерна шихта СПШ : суміш дискретних волокон (ДВ 2: поліакрил (40 %), шерсть натуральна (40 %), бамбук (20 %)) ( $l = 1,5 \dots 2,0$  мм,  $d = 30 \dots 35$  мкм) – 100 : 0,05 : 0,05) [13];

– КМ 4, сформований за наступного співвідношення компонентів – модифікований зв’язувач : СПШ: ДВ 2 – 100 : 0,05 : 0,10 [13].

Згідно з проведеними дослідженнями (табл. 1) встановлено, що найменша проникність агресивних середовищ характерна для композитного матеріалу КМ1. Це зумовлено високою хімічною стабільністю у розробленого матеріалу. Сповільнення проникності агресивних середовищ у захисне покриття зумовлено збільшенням показників когезійної міцності, яка, в свою чергу, забезпечена взаємодією активних груп модифікатора і наповнювача у процесах зшивання епоксикомпозиту. В результаті відбувається формування щільної просторової сітки полімеру, що забезпечує поліпшення фізико-механічних властивостей сформованих матеріалів.

Таблиця 1 – Результати дослідження корозійної стійкості КМ

| Агресивне середовище                 | Зміна маси зразків, % |      |      |      |      |
|--------------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
|                                      | Матриця               | КМ 1 | КМ 2 | КМ 3 | КМ 4 |
| Нафта                                | 2,9                   | 1,6  | 2,0  | 2,2  | 2,6  |
| Бензин                               | 2,8                   | 1,7  | 2,1  | 2,2  | 2,7  |
| Морська вода                         | 3,2                   | 1,6  | 2,0  | 2,0  | 2,9  |
| Ацетон                               | 3,0                   | 1,7  | 2,1  | 2,4  | 2,7  |
| NaOH (50 %)                          | 3,1                   | 1,5  | 2,0  | 2,1  | 2,9  |
| HCl (10%)                            | - 0,3                 | -0,1 | -0,3 | -0,2 | -0,3 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (10%) | - 0,5                 | -0,2 | -0,2 | -0,3 | -0,4 |

Примітка. Склад КМ 1 – епоксидний олігомер ЕД-20, модифікатор ДХДАФМ, наповнювач ПО і твердник ПЕПА - 100 : 0,25 : 0,06 : 10; Склад КМ 2 – епоксидний олігомер ЕД-20, модифікатор ДАФМ, наповнювач ПО і твердник ПЕПА - 100 : 1,00 : 0,06 : 10; Склад КМ 3 – модифікований зв’язувач : синтезована порошкова шихта (СПШ) : суміш дискретних волокон (ДВ 2: поліакрил (40 %), шерсть натуральна (40 %), бамбук (20 %)) – 100 : 0,05 : 0,05) [10]; Склад КМ 4 – модифікований зв’язувач : СПШ: ДВ 2 – 100 : 0,05 : 0,10 [13].

Розроблені матеріали КМ1 і КМ2 доцільно використовувати для відновлення і підвищення надійності деталей засобів морського та річкового транспорту, які експлуатують в умовах впливу агресивних середовищ. Матеріал КМ1 необхідно застосовувати для підвищення показників корозійної стійкості деталей, при їх експлуатації в умовах впливу агресивних середовищ. Матеріал КМ 2 розроблено для захисту деталей, які використовують в умовах дії температурних навантажень. У вигляді зв’язувача при формуванні розроблених матеріалів використано епоксидний олігомер ЕД-20, у який вводили модифікуючі добавки ДХДАФМ/ДАФМ та наповнювач ПО, які забезпечують підвищення ступеня зшивання полімеру і когезійної міцності гетерогенних композитів.

Для формування КМ 1 інгредієнти вводили у наведеному нижче співвідношенні (мас.ч.).

У результаті проведених досліджень розроблено два композити (КМ1 і КМ2) та покриття на їх основі із підвищеною корозійною тривкістю та теплостійкістю, які відповідають вимогам експлуатації сучасних транспортних засобів.

КМ1 – епоксидний композит з поліпшеними антикорозійними властивостями.

Основне призначення – ремонт і підвищення надійності деталей засобів морського та річкового транспорту, які контактують із агресивним середовищем. Доцільним є використання для відновлення та підвищення надійності конструкцій корпусу суден (надбудова, кришки та комінгси трюмів, тощо).

Склад КМ1 (мас.ч.):

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| – епоксидний діановий олігомер ЕД-20 | 100    |
| – твердник ПЕПА                      | 9...11 |
| – модифікатор ДХДАФМ                 | 0,25   |
| – наповнювач ПО                      | 0,06   |

КМ2 – епоксидний композит з поліпшеними теплофізичними властивостями.

Основне призначення – ремонт і підвищення надійності деталей засобів морського та річкового транспорту при їх роботі в умовах впливу теплового поля. Доцільним є використання для відновлення та підвищення надійності конструкцій корпусу суден.

Склад КМ2 (мас.ч.):

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| – епоксидний діановий олігомер ЕД-20 | 100    |
| – твердник ПЕПА                      | 9...11 |
| – модифікатор ДАФМ                   | 1,00   |
| – наповнювач ПО                      | 0,06   |

Запропоновано застосування розроблених композитів КМ1 і КМ2 у вигляді захисних покриттів на деталях морського і річкового транспорту, а саме на корпусі швартовної лебідки, надбудови, трубопроводів, сепараторі очистки льяльних вод, тощо. У вигляді першого шару запропоновано використання епоксидного діанового олігомеру ЕД-20 із твердником ПЕПА, як композиту із оптимальними адгезійними властивостями. КМ2 обрано у вигляд формування другого шару через поліпшені теплофізичні властивості поряд із достатніми показниками модуля пружності при згинанні. В якості третього шару обрано КМ1 через оптимальні антикорозійні та фізико-механічні властивості такого композиту. Розроблені шари покриття доцільно використовувати як незалежно, так і у комплексі (у вигляді тришарового адгезиву) для ремонту і збільшення надійності деталей транспорту. Розроблену схему змішування та нанесення композиції наведено на рис. 1.

Для оптимізації процесу формування і нанесення покриттів на поверхню устаткування розроблено технологію, яка полягає у наступному (рис. 1): попереднє підігрівання епоксидного діанового олігомеру ЕД-20 до температури  $T = 353 \pm 2$  К із подальшою витримкою часом  $\tau = 20 \pm 0,1$  хв. Надалі проводиться дозування компонентів із подальшим їх гідродинамічним суміщенням ультразвуковою обробкою (УЗО). Після змішування епоксидної смоли, модифікатора і наповнювача часом  $\tau = 1,5 \pm 0,1$  хв композицію охолоджують до кімнатної температури часом  $\tau = 60 \pm 5$  хв. Наступний етап складає підігрівання композиції до  $T = 353 \pm 2$  К після введення твердника. Нанесення покриття здійснюється пневматичним розпиленням впродовж часу  $\tau = 60...80$  хв із подальшою витримкою часом  $\tau = 12,0 \pm 0,05$  год.

Згідно з ГОСТ 27.002-2015 термін «надійність» охоплює ряд таких функцій, як безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність, збережуваність та готовність. Розроблено захисні покриття на композитній основі, які передбачають підвищений строк експлуатації в умовах агресивних середовищ та температурного впливу. Це забезпечує безвідмовність та довговічність деталей засобів морського та річкового транспорту. Перевагами розробки, порівняно із традиційними матеріалами, є забезпечення необхідного терміну експлуатації адгезивів – 4...6 років водночас із відносно низькою вартістю розроблених матеріалів на світовому ринку.

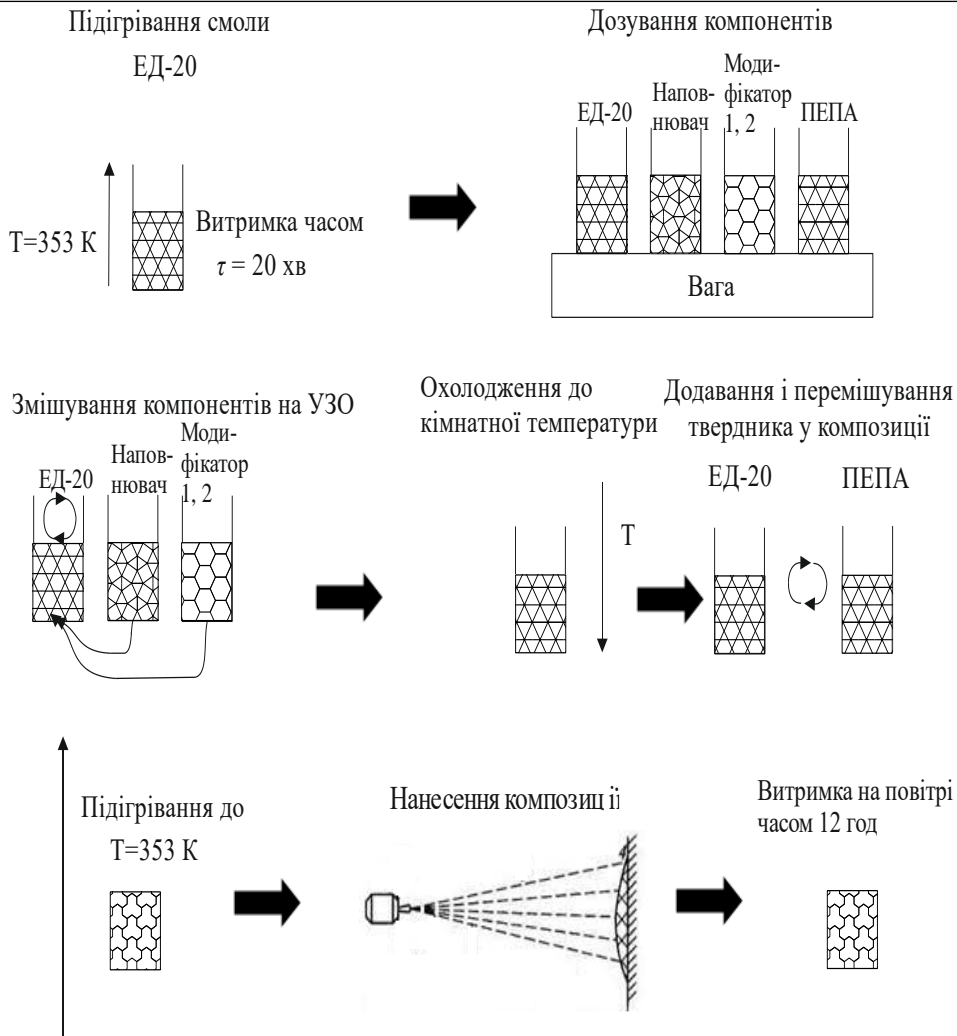


Рисунок 1 – Технологічна схема формування захисних покриттів

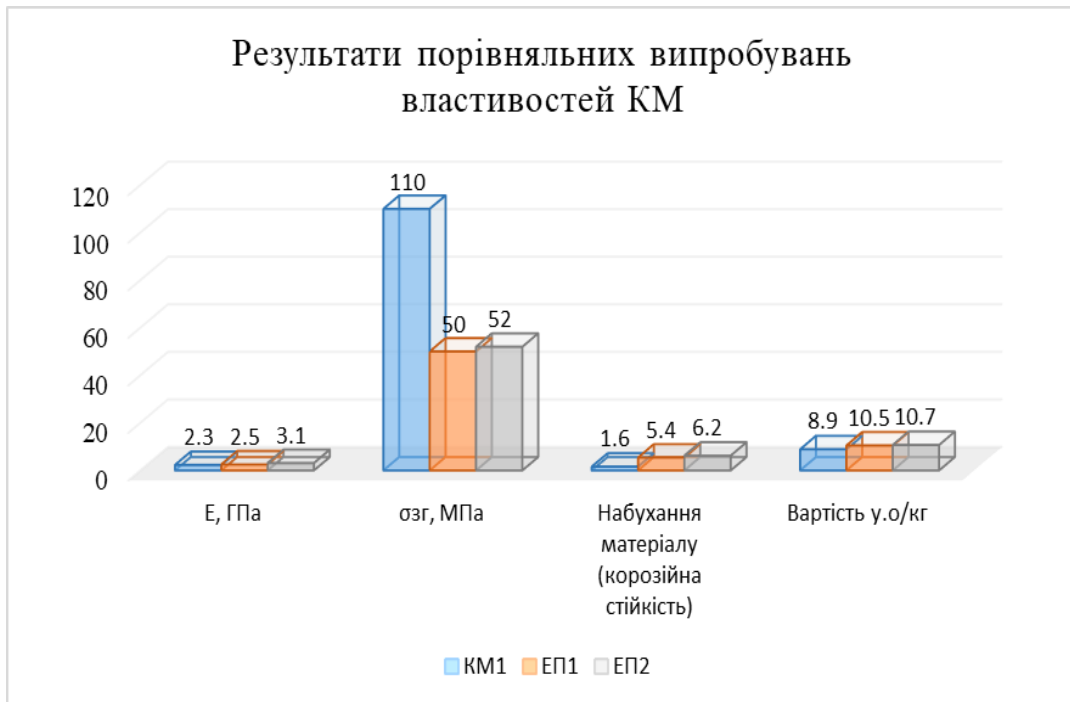


Рисунок 2 – Порівняння КМ1 із світовими аналогами:  
 КМ1 – розроблений композит; ЕП 1 – композит Епіпрайм-046 (Tikkurila, Фінляндія);  
 ЕП 2 – композит Wilkorox 500 (WILCKENS FARBEN, Німеччина)

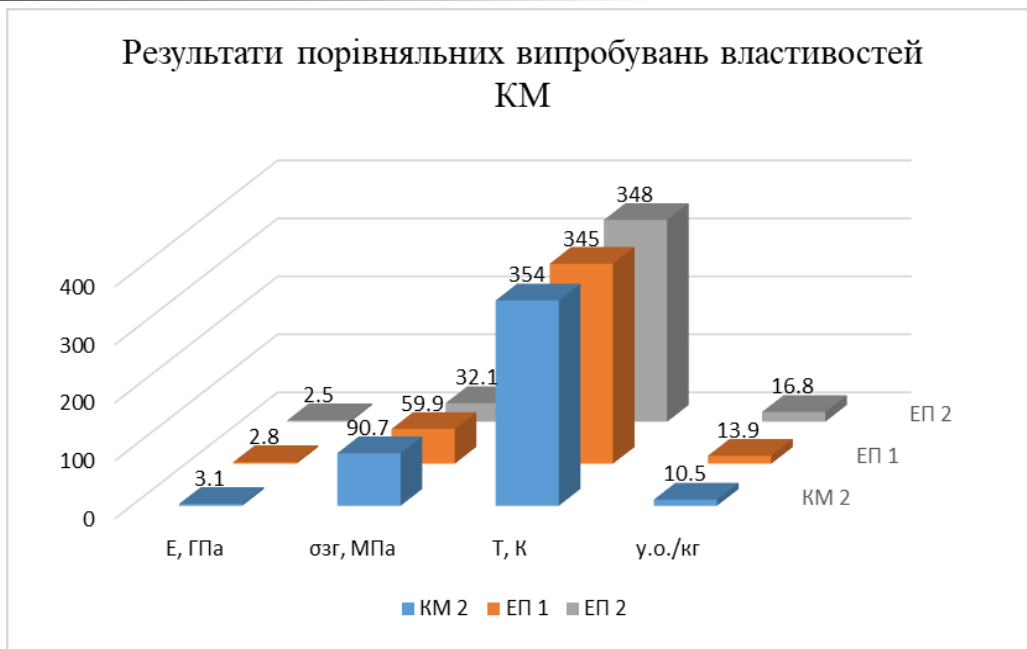


Рисунок 3 – Порівняння КМ2 із світовими аналогами:

КМ2 – розроблений композит; ЕП 1 – композит фірми Belzona 1161 (Великобританія);

ЕП 2 – композит Hemptadur Multi-Strength 35842 (Hempel, Німеччина)

На рис. 2, 3 наведено порівняння показників фізико-механічних і теплофізичних властивостей, а також корозійної тривкості розроблених композитних матеріалів поряд із відомими світовими аналогами. Доведено наявність конкурентоспроможності розроблених КМ у промисловості.

**Висновки.** За результатами експериментальних досліджень розроблено композитні матеріали, захисні покриття на їх основі і технології їх формування і нанесення на деталі засобів річкового та морського транспорту. Впровадження розроблених у ПП «Інтелектуальні морські технології» (м. Миколаїв) забезпечило:

- збільшення показників руйнівних напружень при згинанні у 2,0...2,3 рази;
- підвищення корозійної стійкості у 1,6 разів.

Розроблені матеріали доцільно застосовувати для захисту устаткування, яке використовують у агресивних середовищах та умовах підвищених температурних навантажень. Конкурентоспроможність підтверджено порівнянням із аналогами відомих світових виробників. Надійність забезпечено за рахунок підвищення довговічності та міжремонтного ресурсу захисних покриттів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Словник-довідник зі зварювання та склеювання пластмас / М. В. Юрженко та ін. ; за ред. Б. Є. Патона. Київ : Наукова думка, 2018. 368 с.
2. Юрженко М. В., Кораб М. Г. Зварювання високотехнологічних пластмас : монографія. Суми : Університетська книга, 2016. 319 с.
3. Старокадомский Д. Л. Влияние дисперсности и концентрации аэросила в составе полиэпоксидных композиций на их набухание в кислых средах. *Укр. хим. журн.* 2010. №7–8. С. 89–96.
4. Корякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. Москва : Химия, 1988. 272 с.
5. Букетов А. В., Стухляк П. Д., Чихіра І. В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів. Тернопіль : Крок, 2011. 201 с.
6. Энциклопедия полимеров: / редкол.: В. А. Кабанов и др. Москва : Советская Энциклопедия, 1974. Т. 2. 1032 с.

7. Processes of dynamic thermal destruction of composite epoxy materials as a function of 3,3-dichloro-4,4-diaminodiphenylmethane content / A.V. Buketov, V.G. Kulinich, S.A. Smetankin and other. *Compos. Mech. Comput. Appl.* 2020. V. 11. P. 77–98.
8. Вплив модифікаторів  $C_{13}H_{12}Cl_2N_2$  та  $C_{13}H_{14}N_2$  на механічні властивості епоксидної матриці / А. В. Букетов, В. Г. Кулініч, С. А. Сметанкін та ін. *Наукові нотатки*. 2019. С. 37–45.
9. Buketov A. V, Saprionov O. O., Brailo M. V. Investigation of the physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites with a two-component bidisperse filler. *Strength of Materials*. 2014. V.46. N. 5. P. 717–721.
10. Любешкина Е. Г., Гуль В. Е. Эффективные технологии вторичной переработки термопластов (обзор). *Пластические массы*. 1991. № 2. С. 3–11.
11. Решняк В. И., Витязева О. В. Исследование возможности утилизации пластиковых отходов, образующихся на объектах водного транспорта. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. 2016. №3 (37). С. 45–52.
12. Носков Д. В., Артеменко С. Е., Овчинникова Г. П. Модификация вторичных полимеров. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2003. Т.46. Вып.1. С. 131–133.
13. Corrosion resistance of epoxy composite coatings for the transport industry in aggressive environments / A. V. Buketov, O.M. Bezbakh, N.M. Buketova and other. *Journal of hydrocarbon power engineering*. 2020. № 7 (1). P. 26–30.

## REFERENCES

1. Slovník-dovodník zivariuvannia ta skleiuuvannia plastmas / M. V. Yurzhenko ta in.; za red. B. Ye. Patona. Kyiv : Naukova dumka, 2018. 368 s.
2. Iurzhenko M. V., Korab M. H. Zvariuvannia vysokotekhnologichnykh plastmas : monohrafiia. Sumy : Universytetska knyha, 2016. 319 s.
3. Starokadomskiy D. L. Vliyanye dyspersnosti y kontsentratsyy aerosyla v sostave polyepoksydnykh kompozitsyy na ykh nabukhaneye v kyslykh sredakh. *Ukr. khym. zhurn.* 2010. №7–8. S. 89–96.
4. Koriakyna M. Y. Ysrytanye lakokrasochnykh materiyalov y pokrytyi. M. : Khymyia, 1988. 272 s.
5. Buketov A. V., Stukhliak P. D., Chykhira I. V. Vlastyvoli modyfikovanykh ultrazvukom epoksyplastiv. Ternopil: Krok, 2011. 201 s.
6. Entsyklopedyia polymerov: / redkol.: V. A. Kabanov y dr. M. : Sovetskaia Entsyklopedyia, 1974. T. 2. 1032 s.
7. Processes of dynamic thermal destruction of composite epoxy materials as a function of 3,3-dichloro-4,4-diaminodiphenylmethane content / A.V. Buketov, V.G. Kulinich, S.A. Smetankin and other. *Compos. Mech. Comput. Appl.* 2020. V. 11. P. 77–98.
8. Vplyv modyfikatoriv  $C_{13}H_{12}Cl_2N_2$  ta  $C_{13}H_{14}N_2$  na mekhanichni vlastyvoli epoksydnoi matrytsi / A. V. Buketov, V. H. Kulinich, S. A. Smetankin ta in. *Naukovi notatky*. 2019. S. 37–45.
9. Buketov A. V, Saprionov O. O., Brailo M. V. Investigation of the physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites with a two-component bidisperse filler. *Strength of Materials*. 2014. V.46. N. 5. P. 717–721.
10. Liubeshkina E. H., Hul V. E. Effektyvnye tekhnolohyy vtorychnoi pererabotky termoplastov (obzor). *Plastycheskye massy*. 1991. №2. S. 3–11.
11. Reshniak V. Y., Vytiyazeva O. V. Yssledovanye vozmozhnosti utylyzatsyy plastykovykh otkhodov, obrazuiushchyhsia na ob'ektakh vodnoho transporta. *Vestnyk Hosudarstvennoho unyversyteta morskoho y rechnoho flota ymeny admyrala S. O. Makarova*. 2016. №3 (37). S. 45–52.
12. Noskov D. V., Artemenko S. E., Ovchynnykova H. P. Modyfykatsyia vtorychnykh polymerov. *Yzv. vuzov. Khymyia y khym. tekhnolohyia*. 2003. T.46. Выр.1. S. 131–133.



13. Corrosion resistance of epoxy composite coatings for the transport industry in aggressive environments / A. V. Buketov, O.M. Bezbakh, N.M. Buketova and other. Journal of hydrocarbon power engineering. 2020. № 7 (1). P. 26–30.

**Букетов А. В., Кулинич В. Г., Кулинич В. В., Сметанкин С. А., Палагний В. И. ВНЕДРЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ ТЕПЛОСТОЙКИХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РЕМОНТА И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*Разработаны два новых композитных материала и покрытия на их основе, внедренные в ЧП «Интеллектуальные морские технологии» г. Николаев. Это обеспечивает повышение долговечности деталей средств морского и речного транспорта за счет повышенной теплостойкости и коррозионной стойкости разработанных полимерных композитных материалов и защитных покрытий на их основе. Повышение коррозионной стойкости обеспечено с помощью использования защитного полимеркомпозитного покрытия на основе эпоксидного дианового олигомера ЭД-20, модифицированного 3,3-дихлор-4,4-диаминодифенилметаном, наполненного полистиролом «Оазис» и отверждённого полиэтиленполиамином ПЕПА. Введение в эпоксидное связующее таких ингредиентов позволяет повысить показатели разрушающих напряжений при изгибе эпоксикомпозитов от  $\sigma_{изг} = 48,0$  МПа (для эпоксидной матрицы) до  $\sigma_{изг} = 110,6$  МПа. Сформированное защитное покрытие выделяется повышенной когезионной прочностью, что обеспечивает замедление проницаемости агрессивных сред в составе разработанного эпоксикомпозита. Формирование защитного покрытия с повышенной теплостойкостью обеспечено путем введения в ЭД-20 модификатора 4,4-диаминодифенилметана, наполнителя полистирола «Оазис» и отвердителя ПЕПА. При таком содержании обеспечено формирование композитных материалов с улучшенными показателями теплостойкости от  $T = 341$  К (для эпоксидной матрицы) до  $T = 355$  К. Проведено сравнение физико-механических, теплофизических свойств и коррозионной стойкости разработанных материалов с известными мировыми аналогами. Это является непосредственным доказательством возможности их конкурентоспособности на мировом рынке. Следует отметить, что разработанные защитные покрытия позволили увеличить показатели разрушающих напряжений при изгибе в 2,0...2,3 раза, а коррозионной стойкости в 1,6 раза по сравнению с немодифицированной эпоксидной матрицей.*

**Ключевые слова:** эпоксидный олигомер, покрытие, модификатор, наполнитель, полистирол «Оазис», 3,3-дихлор-4,4-диаминодифенилметан, 4,4-диаминодифенилметан, коррозионная стойкость, теплостойкость, разрушающие напряжения при изгибе.

**Buketov A. V., Kulinich V. G., Kulinich V. V., Smetankin S. O., Palagnii V. I. IMPLEMENTATION OF PROTECTIVE HEAT-RESISTANT ANTI-CORROSIVE COATINGS FOR REPAIR AND INCREASING OF VEHICLE PARTS' RELIABILITY**

*Two new composite materials and coatings based on them have been developed and implemented in the private concern "Intellectual Marine Technologies" in Nikolaev city. The result arranges the increasing of sea and river transport's details' durability due to the increased heat resistance and corrosion resistance of the developed polymeric composite materials and protective coverings based on them. An increasing in corrosion resistance was achieved by usage of the epoxy-based protective coatings, based on epoxy diane oligomer ED-20, modified by 3,3-dichloro-4,4-diaminodiphenylmethane, filled with "Oasis" polystyrene and hardened with polyethylene polyamine PEPA. The introduction of such ingredients into the epoxy binder allows to increase the destructive stresses during bending of epoxy composites from  $\sigma_f = 48,0$  MPa (for epoxy matrix) to  $\sigma_f = 110,6$  MPa. Formed protective coating was distinguished by increased cohesive strength, which allow the slowing down the permeation of aggressive media in the volume of the developed epoxy composite. The creation of a protective coating with increased heat resistance was accomplished by introducing into the epoxy oligomer ED-20 the modifier 4,4-diaminodiphenylmethane, the filler of polystyrene "Oasis" and the hardener PEPA. With this content, the formation of composite materials with improved heat resistance from  $T = 341$  K (for epoxy matrix) to  $T = 355$  K. The obtained physical mechanical, thermal physical properties and corrosion resistance of developed materials were compared with well-known world analogues. It was actual approval of their competitive ability on the world's market. It should be noted that the developed protective coatings allowed to increase the indicators of destructive bending stresses to 2,0...2,3 times, and corrosion resistance to 1,6 times in comparence with unmodified epoxy matrix.*

**Keywords:** epoxy oligomer, coating, modifier, filler, "Oasis" polystyrene, 3,3-dichloro-4,4-diaminodiphenylmethane, 4,4-diaminodiphenylmethane, corrosion resistance, heat resistance, flexural breaking stress.

© Букетов А. В., Кулініч В. Г., Кулініч В. В., Сметанкин С. О., Палагний В. І.

Статтю прийнято  
до редакції 6.11.21