

УДК 678.664:678.066

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.2\(50\).96-104](https://doi.org/1034169/2414-0651.2026.2(50).96-104)

Ю. В. САВЕЛЬЄВ, доктор хімічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0003-3356-9087>

Л. А. МАРКОВСЬКА, кандидат хімічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-9427-9786>

О. М. ГОНЧАР, кандидат хімічних наук
<https://orcid.org/0000-0001-8356-9283>
(Інститут хімії високомолекулярних сполук
НАН України, м. Київ)

К. А. ОЛІЙНИК
<https://orcid.org/0000-0001-8007-6686>
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Є. О. ШУЛЬЖЕНКО
(Командування логістики ВМС ЗС України, м. Одеса)

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНОГО ЗАХИСТУ КОНСТРУКЦІЙ ВІЙСЬКОВИХ КОРАБЛІВ

Захист особового складу на військових об'єктах від падіння і травмування, а металевих конструкцій цих об'єктів від корозії може бути запроваджений шляхом створення нековзних антикорозійних покриттів і розглядатися як комплексний. Інститутом хімії високомолекулярних сполук НАН України, при науково-технічному супроводженні робіт Центральним науково-дослідним інститутом озброєння та військової техніки Збройних Сил України, створено композиційне нековзне антикорозійне поліуретанове забарвлене покриття (НАПЗП) органо-органічного типу на основі суміші сітчастого/лінійного поліуретанів (СПУ/ЛПУ70/30) з різним вмістом органо-органічного наповнювача з пігментом (RAL7040). Властивості створених НАПЗП: стійкість до (а)біотичних і техногенних деструктуючих факторів, коефіцієнт тертя (μ) за різних умов (середовищ) і різного навантаження становить 0,60–0,83, демпфуючі властивості ($\tan\delta$) за температурних режимів $-10^\circ\text{C}/+25^\circ\text{C}/+50^\circ\text{C}$ дорівнюють відповідно 0,082/0,119/0,175 і коефіцієнт зносо-стійкості (G) за надвисоких навантажень $<0,02\%$ після дії природних (модельних) деструктуючих чинників відповідають заданим для покриттів, що експлуатуються за екстремальних умов. НАПЗП, як «зони безпеки», створені на верхній палубі катера проєкту 58155 (в/ч А0456). Проведення моніторингу, створеного НАПЗП при його експлуатації на верхній палубі катера протягом чотирнадцяти місяців (продовженого ще на один рік), підтвердило надійність антикорозійного захисту палуби корабля та безпечне обслуговування його екіпажем. Створене НАПЗП гарантує надійний за-

хист екіпажу від ковзання, що дозволяє йому виконувати завдання, уникаючи травматизму при знаходженні на палубі, а предметам не ковзати під час хитавиці. Водночас металевим поверхням забезпечений захист від агресивних техногенних і природних деструктуючих чинників, що покращує їх експлуатаційні властивості.

Ключові слова: військові об'єкти, екіпаж, нековзні покриття, пролонгований антикорозійний захист, надійна експлуатація, експлуатаційні властивості.

ВСТУП

Система гарантованого пролонгованого комплексного захисту військових об'єктів Військово-Морських Сил Збройних Сил України та безпечного обслуговування їх особовим складом, яка дозволяла б морякам виконувати свої завдання, уникаючи травматизму на корабельній палубі, зокрема та поліпшити експлуатаційні характеристики конструкцій корпусу корабля за умов експлуатації може бути запроваджена шляхом створення покриттів, з нековзними та антикорозійними властивостями водночас.

Дослідженням зі створення нековзних покриттів (anti-slip coatings) приділяється постійна увага. Вони створюються та проходять випробування у дослідницьких лабораторіях ВМС (NRL) закордонних країн, зокрема в Управлінні морських систем ВМС (NAVSEA). Управлінням військово-морських досліджень (ONR) створено Програму майбутніх військово-морських можливостей (Dr. Airan Perez), що підтримується Командуванням морських систем ВМС США. Вчені хімічного відділу Військово-морської дослідницької лабораторії (Chemistry Division at the Naval Research Laboratory) розробили нове двокомпонентне нековзне покриття на основі силосану для використання на польотних палубах та доріжках кораблів ВМС США. Нове покриття є більш міцним, стійким до впливу хімікатів, хімічно стійким та дешевшим завдяки довшому терміну служби, ніж традиційні покриття на основі епоксидної смоли. Повідомляється про покриття, де полімерною матрицею є епоксидна смола, поліуретан або суміші епоксидна смола/поліуретан та наночастинки, такі як оксид алюмінію, кремнезем, оксид титану, оксид цинку, глина та матеріали на основі вуглецю [1]. Питанню формування взаємопроникаючих полімерних сіток на основі поліуретан/епоксидної смоли присвячено огляд [2]. Показано, що використання двох полімерів привело до покращення механічних, термічних, демпфуючих властивостей. В статті [3] розглядаються швидкотвердіючі протиковзні покриття, що містять наповнювачі, які допомагають створити стійку до ковзання поверхню в місцях знаходження людей. На USS «Carl Vinson» нековзні покриття використовувалися, зокрема, на польотній палубі. Нековзні покриття можна також використовувати в приміщеннях, які мають більш складну конструкцію, наприклад, VLS (Vertical Launch System).

З іншого боку, надзвичайно актуальною і економічно важливою, з точки зору величезних матеріальних втрат, є проблема антикорозійного комплексного захисту військових об'єктів від руйнування внаслідок дії природних і техногенних деструктуючих чинників [4–6].

Метою статті є подальший розвиток та вдосконалення технологій комплексного захисту військових об'єктів для забезпечення безпеки особового складу під час виконання завдань та підвищення експлуатаційної надійності цих об'єктів за звичайних і специфічних умов. Це досягається шляхом створення технологічно та економічно доцільних нековзних антикорозійних композиційних полімерних покриттів із забарвленим фінішним шаром органо-органічного типу для захисту поверхонь, зокрема: палуб кораблів (корабельна сталь 10ХСНД), які матимуть як нековзні, так і захисні властивості проти руйнування під впливом різних деструкуючих чинників, високі показники адгезії та експлуатаційних властивостей.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На нашу думку, захист металевих конструкцій військових кораблів, їх безпечне обслуговування особовим складом та підвищення експлуатаційних властивостей за звичайних і специфічних умов може бути запроваджений шляхом створення нековзних антикорозійних покриттів з використанням технологічно та економічно доцільних поліуретанів різної структури (лінійної/зшиті) і різного складу (ароматичний/аліфатичний діізоціанати, поліетер синтетичний/відновлювана сировина – рослинна олія) із застосуванням наповнювачів – органічних речовин (гумова крихта, отримана методом рециклінгу) різних фракцій та вмісту, що дасть змогу створити нековзні покриття із забезпеченням високих антикорозійних властивостей, стійких до дії (а) біотичних і техногенних динамічних деструкуючих чинників (зокрема, морської води та соляного туману, нафто-хімічних агентів, тертя).

Надійну експлуатацію об'єктів і пролонговане збереження конструкцій об'єктів, які експлуатуються у водних, лужних, слабо кислих і сольових середовищах, а також за умов динамічних природних і техногенних навантажень гарантує використання антикорозійних захисних поліуретанових покриттів, що мають нековзні властивості [7–9]. Різноманітність структури (лінійна, розгалужена, лінійна/розгалужена) макромолекули поліуретанів, що є результатом взаємодії ізоціанатів і синтетичних поліетерів і гідроксилвмісних природних речовин, забезпечує стійкість поліуретанів до дії деструкторів. Стійкість до вібродинамічних і ударних навантажень в температурному діапазоні від $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ обумовлюється еластичністю цих матеріалів. Світлостійкості покриттів сприятиме використання аліфатичних діізоціанатів, не утворюючих під дією світла хіноїдних структур та пігменту RAL 7040, який надає світлостійкості покриттю. Поверхні, покриті антикорозійним захисним поліуретановим покриттям (АПП), стають довговічними тому, що використані захисні поліуретанові покриття є водо-, зносо-, світло-, бензо-, біостійкими, стійкими до дії хімічних середовищ та до тертя й динамічних навантажень.

Об'єкти досліджень

АПП синтезовано на основі сітчастого поліуретану (СПУ) – продукту взаємодії толуїлендіізоціанату (ТДІ) і триметилпропану та лінійного поліуретану (ЛПУ) на основі аліфатичного гексаметилендіізоціанату (ГМДІ)

та лапролу Л-1000, в результаті чого отримують антикорозійне полімерне покриття складу СПУ/ЛПУ70/30. В отриманий АПП додають пігмент RAL-7040 (5–10 % ваг.) та органічний наповнювач (ОН) – гумову крихту, з постійним переміщуванням, і таким чином, отримують нековзне антикорозійне полімерне забарвлене покриття, НАПЗП [10].

Фізико-механічні властивості АПП, а саме адгезійні властивості, когезійну міцність (σ) за межею міцності при розтягу, відносне видовження (ϵ) визначали згідно зі штатною нормативною документацією. Відтворення значень показників перевіряли за результатами понад 5 паралельних випробувань. **Життєздатність АПП** визначали візуально методом спостереження кожної доби до желеутворення. **Термостійкість** зразків плівок АПП визначали методом термогравіметрії (Derivatograf Q-1000, MOM Hungary). За температуру початку деструкції вважали температуру втрати 5 мас. % ваги. **В'язкопружні властивості АПП** досліджено методом динамічного механічного аналізу (ДМА), з використанням DMA 800 Analyzer (TA Instruments, USA). Для досліджених зразків отримано температурні залежності модуля пружності (E'), модуля механічних втрат (E''), тангенса механічних втрат ($\tan \delta$). **Стійкість АПП** до дії хімічних середовищ визначали згідно зі штатною нормативною документацією. **Стійкість КНАПЗП** на стиранність із різним вмістом ОН проведено згідно з [11].

Дослідження фізико-механічних властивостей показали, що вихідні АПП (СПУ/ЛПУ70/30) мають високі показники когезії, які становлять без пігменту та із вмістом 5 % пігменту RAL-7040 40,0 і 40,3 МПа, відповідно. НАПЗП на основі СПУ/ЛПУ70/30 характеризуються високою адгезією, адгезійна міцність їх менше одного балу (табл. 1).

Дослідження стійкості НАПЗП до дії природних та техногенних деструкторів: води (технічної та морської), хімічних середовищ (бензину, етилацетату, дизельного палива, 20 % водного розчину їдкою калію) показало високу ефективність полімерних покриттів (табл. 2).

Проведено дослідження в'язкопружних властивостей АПП та порівняльний аналіз їх показників за температур, наближених до температур використання матеріалу (табл. 3).

Показано, що значення E' зразків визначаються структурою матеріалу і залежать від температури, але всі синтезовані полімери характеризуються високими показниками модуля пружності. Порівняння в'язкопружних властивостей зразків СПУ/ЛПУ70/30 та СПУ/ЛПУ70/30 з додаванням пігменту показало, що додавання пігменту знижує T_g , на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ та приводить до зростання значень E'' та $\tan \delta$. Отже, матеріал, що містить пігмент, характеризується більш високою демпферною ефективністю.

Дослідження лабораторних зразків НАПЗП з визначення коефіцієнта тертя за різних умов і різного навантаження та зносостійкості показали високу стійкість цих покриттів до механічного тертя.

Сила зовнішнього тертя – сила опору, що виникає при зміщенні одного тіла по поверхні іншого і спрямована тангенціально до спільного кордону між двома

Таблиця 1. Значення фізико-механічних властивостей зразків НАПЗП

№ зразка	НАПЗП*	Наповнювач (ОН), г/м ²	Адгезійна міцність, бал	Термостійкість, °С
2	СПУ/ЛПУ _{70/30}	480	< 1,0	265
7	СПУ/ЛПУ _{70/30}	360	< 1,0	260
10	СПУ/ЛПУ _{70/30}	240	< 1,0	260

* +5% пігменту RAL7040

Таблиця 2. Стійкість НАПЗП до дії деструкторів протягом (термін до 90 діб)

НАПЗП*	Деструктори						
	1	5	10	20	30	60	90
Витримка у дистильованій воді**							
СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,00	-9,71	-1,39	0,11	0,11	0,11	0,11
Витримка у морській воді							
СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,00	-0,35	-1,08	0,34	0,34	0,34	0,34
Витримка у бензині							
СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,00	0,24	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27
Витримка у дизельному паливі							
СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,00	-1,04	-2,2	-2,61	-2,61	-2,61	-2,6
Витримка у етилацетаті							
СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,00	0,14	0,18	0,78	0,04	0,04	0,04
Витримка у 20% водному розчині їдкою калію							
СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,00	0,03	-0,16	-0,09	-0,08	-0,03	-0,03

* +5 % пігменту RAL7040

** приріст маси (+)/втрата маси(-)

Таблиця 3. Показники в'язкопружних властивостей синтезованих полімерів

АПП	Тс, °С	Е', МПа			Е'', МПа			tanδ		
		Температура, оС								
		-10	+25	+50	-10	+25	+50	-10	+25	+50
СПУ/ЛПУ _{70/30}	130	2730	1150	574	215	118	77	0,080	0,103	0,135
СПУ/ЛПУ _{70/30} + RAL7040	120	3018	1255	532	246	149	93	0,082	0,119	0,175

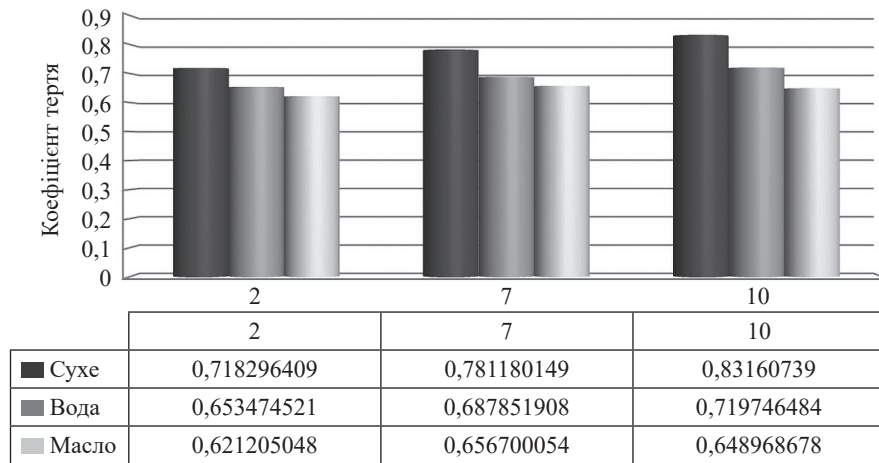
тілами. Відповідно до сучасних уявлень, тертя має двоїсту молекулярно-механічну природу. На площинах фактичного контакту поверхонь діють сили молекулярного тяжіння, що утворюють адгезійні зв'язки. При відносному зсуві тіл відбувається їх руйнування, що вимагає витрат енергії в незворотній формі. Механічна складова сили тертя залежить від глибини проникнення виступів одного тіла в інше і є складною функцією навантаження, геометричних і фізико-механічних характеристик поверхні. З огляду на різноманіття факторів, які впливають на величину сили тертя, коефіцієнт тертя визначається експериментально. У технічних розрахунках сила тертя обчислюється у вигляді частки нормальної складової реакції тиску поверхонь, що труться. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість невідомих сил у динамічних рівняннях руху пар тертя. Тоді сила тертя $F = \mu N$, де N – нормальна складова реакції поверхонь, що труться, μ – коефіцієнт тертя. Для кожного зразка проводили по шість паралельних вимірювань із ступінчастим збільшенням нормального навантаження. При цьому величина нормального на-

вантаження становила 110, 210 і 510 грамів з урахуванням ваги гумового бруска. Коефіцієнт тертя показує, як саме сила тертя залежить від сили нормальної реакції (ваги тіла), яку частку від неї становить. Коефіцієнт тертя – безрозмірна величина і для різних пар тертя має різне значення, де $F_{ср}$ – середнє арифметичне значення сил тертя – визначається для всіх випробуваних груп зразків; N – навантаження, що притискає гумовий брусок до зразків, які досліджуються. Результати вимірювань коефіцієнту тертя в різних середовищах (сухому, мокрому і з мастилом) зразків № 2, 7, 10 наведені на рис. 1.

Нижче представлені значення коефіцієнта тертя μ (табл. 4).

Нижче наведено графіки залежності коефіцієнта тертя від навантаження (рис. 2–4).

З представлених залежностей видно, що зі збільшенням навантаження збільшується значення коефіцієнта тертя зразків з наповнювачем на поверхні. Збільшення значень коефіцієнта тертя обумовлено наявністю виступів на поверхні, які зі збільшенням навантаження

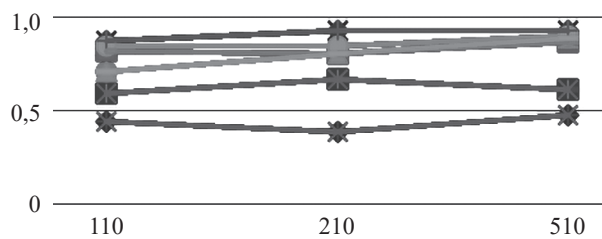


Р и с . 1. Усереднені значення коефіцієнту тертя досліджуваних зразків НАПЗП (№№ 2, 7, 10) у різних середовищах (сухому, вологому, з мастилом)

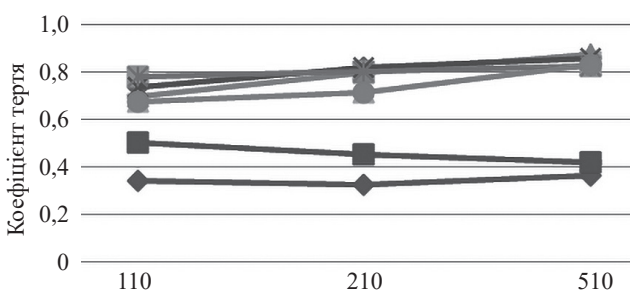
Т а б л и ц я 4. Значення коефіцієнта тертя зразків НАПЗП різних складів в різних середовищах (сухому, вологому, з мастилом)

N зразка	НАПЗП*	Фракції наповнювачів	Співвідношення фракцій наповнювачів крупна-дрібна	Наповнювач (ОН), г/м ²	Коефіцієнт тертя μ в різних середовищах		
					сухе	вологе	з мастилом
1	СПУ/ЛПУ _{70/30}	–	–	–	0,574	0,544	0,516
2	СПУ/ЛПУ _{70/30}	–	–	–	0,574	0,544	0,516
3	СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,8–1,0/0,4–0,5	50–50	480	0,718	0,654	0,621
4	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	0,8–1,0/0,4–0,5	60–40	480	0,780	0,657	0,638
5	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	0,8–1,0/0,4–0,5	70–30	480	0,740	0,641	0,626
6	СПУ/ЛПУ _{70/30}	1,0–1,2/0,4–0,5	30–70	480	0,770	0,660	0,630
7	СПУ/ЛПУ _{70/30}	2,0–2,5/0,4–0,5	70–30	240	0,730	0,670	0,64
8	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	1,0–1,2/0,4–0,5	70–30	360	0,781	0,688	0,657
9	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	2,0–2,5/0,4–0,5	70–30	360	0,76	0,671	0,642
10	СПУ/ЛПУ _{70/30}	1,0–1,2/0,4–0,5	30–70	360	0,832	0,720	0,649

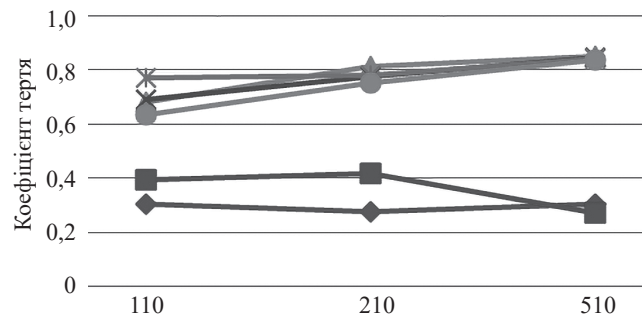
* +5 % пігменту RAL7040



Р и с . 2. Залежність коефіцієнта тертя від навантаження (сухий метал)



Р и с . 3. Залежність коефіцієнта тертя від навантаження (зволожений метал)



Р и с . 4. Залежність коефіцієнта тертя від навантаження (змащений метал)

глибше проникають в гумовий брусок, що збільшує механічну складову сили тертя.

Проведені дослідження поліуретанових покриттів НАПЗП із різним вмістом ОН **на стираність**. Результати дослідження наведено в табл. 5.

Результати випробувань на стираність НАПЗП показують найвищу ефективність та надійність захисту створених покриттів – як вихідні НАПЗП стійкі до стираності (їх стираність дорівнює нулю), так і наявність ОН

Таблиця 5. Значення стиранності зразків НАПЗП типів різних складів

№ зразка	НАПЗП	Фракції наповнювачів	Співвідношення фракцій наповнювачів крупна-дрібна	Наповнювач, г/м ² ОН	Стиранність G, г/см ²
1	СПУ/ЛПУ _{70/30}	–	–	–	0,000
2	СПУ/ЛПУ _{70/30}	–	–	–	0,000
3	СПУ/ЛПУ _{70/30}	0,8–1,0/0,4–0,5	50–50	480	0,000
4	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	0,8–1,0/0,4–0,5	60–40		0,000
5	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	0,8–1,0/0,4–0,5	70–30		0,000
6	СПУ/ЛПУ _{70/30}	1,0–1,2/0,4–0,5	30–70		0,000
7	СПУ/ЛПУ _{70/30}	2,0–2,5/0,4–0,5	70–30	240	0,000
8	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	1,0–1,2/0,4–0,5	70–30	360	0,000
9	СПУ/ ЛПУ _{70/30}	2,0–2,5/0,4–0,5	70–30		0,002
10	СПУ/ЛПУ _{70/30}	1,0–1,2/0,4–0,5	30–70		0,000
11	СПУ/ЛПУ _{70/30}	2,0–2,5/0,4–0,5	30–70	240	0,000

в складі НАПЗП не впливає на стійкість до стиранності покриттів і вона, із різним вмістом ОН, також дорівнює нулю (табл. 5).

Проведено випробування НАПЗП щодо дії **природних (модельних) деструкуючих чинників** (комплексного атмосферного фактору: УФ- та ІЧ-опромінення (сонячне світло), підвищена температура (50±5) °С і вологість повітря (96 %)). Випробування проводили в кліматичній камері протягом 360 годин, що еквівалентно терміну експлуатації в атмосферних умовах протягом 3 років. Слід відзначити, що когезійна міцність захисних покриттів із вмістом пігменту після витримки в кліматичній камері незначно збільшується (40,2 / 40,6 МПа, відповідно до і після).

Результати дослідження впливу комплексного атмосферного фактору на зразки НАПЗП представлені на рис. 5, 6.

Таким чином, результати дослідження впливу комплексного атмосферного фактору показують, що створене НАПЗП (органно-органічного типу) має стійкість до дії УФ- та ІЧ- опромінення, підвищених температури та вологості повітря.

Експериментальна перевірка надійності та ефективності НАПЗП

Випробування за натурних умов експериментального зразка покриття (сталь 10ХСНД, 100×50 см), протягом 6 місяців на артилерійському катері підтвердили його надійність, ефективність та стійкість до природних і техногенних чинників [12]. На базі отриманих результатів досліджень ефективності НАПЗП, проведених в лабораторних та натурних умовах, відпрацьована технологія створення нековзного антикорозійного поліуретанового забарвленого покриття для безпечного обслуговування військового корабля особовим складом та підвищення його експлуатаційної надійності за звичайних і специфічних умов. Створений лабораторний зразок АПП з використанням сировини, призначеної для створення НАПЗП органно-органічного типу заданої площі та проведено верифікацію його головних технологічних властивостей, яка підтвердила збереження заданих властивостей. Життєдіяльність полімерної композиції, до нанесення, перевищує 30 діб. Це є достатнім терміном для зберігання матеріалу, доставки його до об'єкта та створення НАПЗП. Адгезійна міцність за межами

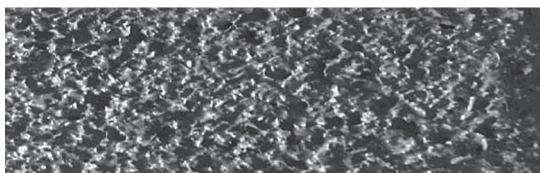
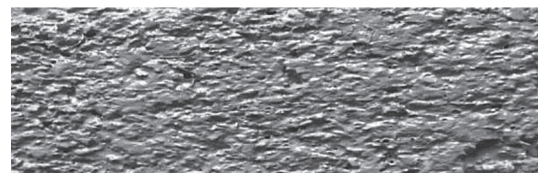
1 – СПУ/ЛПУ_{70/30}/5%RAL7040+70кр/30м2 – СПУ/ЛПУ_{70/30}/5%RAL7040+30кр/70м

Рис. 5. Фотографія зразків до випробувань

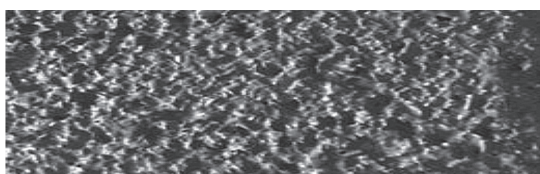
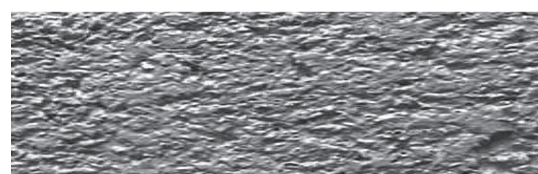
1 – СПУ/ЛПУ_{70/30}/5%RAL7040+70кр/30м2 – СПУ/ЛПУ_{70/30}/5%RAL7040+30кр/70м

Рис. 6. Фотографія зразків після випробувань

міцності при нормальному відриві (сталь–сталь): повне затвердіння 30 – 34 МПа; після витримки у воді протягом 30 діб 29 – 32 МПа. Зразки стійкі до дії агресивних середовищ: витримування в різних середовищах (вода технічна, вода морська, дизельне паливо, етилацетат, авіаційний бензин) протягом 90 діб підтвердили їхню стійкість. Випробування за натурних умов експериментального зразка покриття (сталь 10ХСНД, 100×50 см), протягом 6 місяців на катері проекту 58155 підтвердили його надійність, ефективність та стійкість до природних та техногенних чинників. Створений полімерний композиційний матеріал для отримання масштабного (24 м²) дослідного зразка НАПЗП. Проведений експрес-аналіз адгезивних властивостей покриття, яке наведено на рис. 7, протягом доби на палубі катера та експериментальних зразках покриттів (корабельна сталь 10ХСНД) підтвердив його високу ефективність (показник стійкості покриття має максимальне значення < 1). Виконане нанесення експериментального зразка нековзного антикорозійного полімерного забарвленого покриття органо-органічного типу розміром 24 м², як «зони безпеки» на палубі катера проекту 58155, який був залучений до бойових дій [13].

Підготовка поверхні під нанесення дослідного покриття піскострумом, ступінь підготовки поверхні – St2. Нанесення пензлем, валиком. Витрати АПП – 0,20–0,27 кг/м². Витрати ОН – 0,5–0,6 кг/м².



Рис. 7. Фотографія НАПЗП на палубі катера проекту 58155

Проведенням протягом **чотирнадцяти місяців моніторингу** стану НАПЗП органо-органічного нерегулярного типу, нанесеного на палубу катера (24 м²), в умовах регулярного тертя особовим складом під час його переміщення цією ділянкою палуби, підтверджено надійність зазначеного вище антикорозійного захисту палуби катера (відсутні порушення цілісності та відшарування) та безпечне знаходження на ній екіпажу [14] (рис. 8 а, б). Термін випробування ефективності та надійності НАПЗП був подовжений понад зазначений вище термін на один рік. Результат отримано той же – висока експлуатаційна ефективність та надійність захисного покриття.

Крім цього, слід відзначити, що створена технологія захисту металевих конструкцій кораблів на базі полімерних покриттів, які мають демпфуючу ефективність, унеможлиблює порушення адгезивного з'єднання полімер – метал під впливом довготривалих динамічних вібраційних навантажень, які призводять до порушення цілісності та відшарування захисного покриття (рис. 8 в).

Таким чином, створення НАПЗП на металевій поверхні кораблів гарантує пролонгований надійний захист екіпажу від ковзання, що унебезпечує його знаходження на палубі, зокрема, а самої металевій поверхні – від агресивних техногенних і природних деструктуючих чинників (соляний туман, морська вода).



а)



б)



в)

Рис. 8. Фотографія КНАПЗП на кормі катера проекту 58155: а) станом на 03.08. 2023 р.;

б) станом на 04.10. 2024 р.; в) захисне покриття іншого виробника на катері після експлуатації протягом 1 року

ВИСНОВКИ

1. Розроблено нековзні антикорозійні полімерні забарвлені покриття (НАПЗП) органо-органічного типу на основі суміші сітчастого/лінійного поліуретанів (СПУ/ЛПУ70/30) із різним вмістом органо-органічного наповнювача із пігментом (RAL7040).

2. Властивості створених НАПЗП: стійкість до природних і техногенних деструкуючих чинників, коефіцієнт тертя, за різних умов (середовищ) і різного навантаження $\mu = 0,60-0,83$, демпфуючі властивості $\tan\delta$ за температур $-10\text{ }^\circ\text{C} / +25\text{ }^\circ\text{C} / +50\text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює відповідно $0,082/0,119/0,175$ і коефіцієнт зносостійкості за надвисоких навантажень ($\Delta < 0,02\%$) до/після дії природних (модельних) деструкуючих чинників відповідають заданим для покриттів, що експлуатуються за екстремальних умов.

3. Випробування за натурних умов зразка НАПЗП (сталь 10ХСНД, 100×50 см), протягом 6 місяців на катері ВМС ЗС України підтвердили його надійність, ефективність та стійкість до природних та техногенних чинників. Позитивні результати випробувань підтверджені відповідним актом.

4. Виконане нанесення нековзного антикорозійного полімерного забарвленого покриття органо-органічного типу, як «зони безпеки» на палубі катера проекту 58155, який був залучений до проведення бойових дій.

5. Проведення протягом чотирнадцяти місяців моніторингу НАПЗП органо-органічного типу, створеного на палубі катера під час його експлуатації, підтвердило надійність антикорозійного захисту палуби катера (відсутні порушення цілісності та відшарування) та його безпечно обслуговування екіпажем. Позитивні результати випробувань підтверджені відповідним актом.

6. Створення НАПЗП гарантує пролонгований надійний захист екіпажу від ковзання та травмування, а металеві поверхні – від руйнування під дією природних та техногенних деструкуючих чинників.

Робота була виконана за цільовою науково-технічною програмою оборонних досліджень НАН України.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. H. Bahramnia, H. M., Semnani, A. Habibolahzadeh & H. Abdoos. Epoxy/polyurethane nanocomposite coatings for anti-erosion/wear applications: A review J. of Composite Materials 2020-09-12. <https://doi.org/10.1177/0021998320908299>
2. Kausar, A. (2019). Interpenetrating polymer network and nanocomposite IPN of polyurethane/epoxy: a review on fundamentals and advancements. Polymer-Plastics Technology and Materials. № 58(7). Pp. 691—706. <https://doi.org/10.1080/25740881.2018.1563114>
3. Sanchez, J. M. Into the Coatings: Anti-Slip Deck Coatings. URL: <https://www.coatingspromag.com/articles/other/2014/11/into-the-coatings-anti-slip-deck-coatings>.
4. Нові захисні матеріали для підвищення експлуатаційної надійності військових об'єктів / Савельєв Ю.В., Марковська Л.А., Пархоменко Н.Й., Ахранович О.Р., Савельєва О.О., Литвяков В.І., Олійник К.А. Озброєння та військова техніка. 2020. № 4(28). С. 89—97. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2020.4\(28\).89-97](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2020.4(28).89-97)

5. Властивості полімерних композиційних матеріалів на основі лінійних/сітчастих поліуретанів, модифікованих органо-неорганічними модифікаторами / Марковська Л.А., Пархоменко Н.Й., Савельєва О.О., Робота Л.П., Савельєв Ю.В. Полімерний журнал. 2020. № 2. С. 111—120. <https://doi.org/10.15407/polymerj.44.02.111>.
6. Дослідження структури та властивостей поліуретанових композицій, модифікованих металвмісними сполуками / Марковська Л.А., Пархоменко Н.Й., Руденко А.В., Савельєва О.О., Остапчук С.М., Савельєв Ю.В. Полімерний журнал. 2020. № 4. С. 283—291. <https://doi.org/10.15407/polymerj.42.04.283>
7. Поліуретанова композиція. Пат. Україна 85111. МПК С08L 75/04, 75/06, 75/08. Савельєв Ю.В., Марковська Л.А., Пархоменко Н.Й., Савельєва О.О. Опубл. 11.11.2013. Бюл. № 21.
8. Спосіб отримання поліуретанової композиції. Пат. Україна 90677. МПК С08 J 3/00, С08 J 3/20, С08 К 5/500, С08 L 75/00, С08 L 75/08. Савельєв Ю.В., Марковська Л.А., Пархоменко Н.Й., Савельєва О.О. Опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11.
9. Спосіб отримання поліуретанової композиції для захисних покриттів. Пат. Україна 90678. МПК С08 J 3/00, С08 J 3/20, С08 К 5/50, С08 L 75/00, С08 L 75/08. Савельєв Ю.В., Марковська Л.А., Пархоменко Н.Й., Савельєва О.О. Опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11.
10. Спосіб отримання композиційного нековзного антикорозійного поліуретанового забарвленого покриття. Пат. Україна 160751. МПК С08 J 3/20, С08 L 75/04, С08 D 175/04. Савельєв Ю.В., Марковська Л.А., Пархоменко Н.Й., Савельєва О.О. Опубл. 08.10.2025. Бюл. № 41.
11. ДСТУ Б В.2.7-212:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стираності.

REFERENCES

1. H. Bahramnia, H. M., Semnani, A. Habibolahzadeh & H. Abdoos. Epoxy/polyurethane nanocomposite coatings for anti-erosion/wear applications: A review J. of Composite Materials 2020-09-12. <https://doi.org/10.1177/0021998320908299>
2. Kausar, A. (2019). Interpenetrating polymer network and nanocomposite IPN of polyurethane/epoxy: a review on fundamentals and advancements. Polymer-Plastics Technology and Materials. № 58(7). Pp. 691—706. <https://doi.org/10.1080/25740881.2018.1563114>
3. Sanchez, J. M. Into the Coatings: Anti-Slip Deck Coatings. URL: <https://www.coatingspromag.com/articles/other/2014/11/into-the-coatings-anti-slip-deck-coatings>.
4. Saveliev, Yu.V., Markovskaya, L.A., Parkhomenko, N.Y., Akharanovich, O.R., Savelieva, O.O., Litvyakov, V.I. & Oliinyk, K.A. (2020) “Novi zahysni materialy dlia pidvyshenia ekspluatatsiinoi nadiinosti viiskovykh ob'ektiv. Ozbroiennia ta viiskova tehnika” [New protective materials for improving the operational reliability of military facilities. Weapons and Military Equipment]. No. 4(28). Pp. 89—97. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2020.4\(28\).89-97](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2020.4(28).89-97)
5. Markovska, L.A., Parkhomenko, N.Y., Savelieva, O.O., Robota, L.P. & Saveliev, Yu.V. (2020). “Vlastyvosti polimernykh kompozitsiinykh materialiv na osnovi

- liniinyh/sitchatykh poliuritaniv, modyfikovanykh organo-neorganichnyimi modyfikatoryami” [Properties of polymer composite materials based on linear/cross-linked polyurethanes modified with organo-inorganic modifiers]. Polymer J. No. 2. Pp. 111–120. <https://doi.org/10.15407/polymerj.44.02.111>.
6. Markovska, L.A., Parkhomenko, N.Y., Rudenko, A.V., Savelieva, O.O., Ostapyuk, S.M. & Saveliev, Y.V. (2020). “Doslidzennia struktury ta vlastyvoستي poliurytanovykh kompozytsii, modyfikovanykh metal-vmisnymi spolukamy” [Investigation of the structure and properties of polyurethane composites modified with metal-containing compounds]. Polymer J. No. 4. Pp. 283–291. <https://doi.org/10.15407/polymerj.42.04.283>.
 7. Ukrainian Pat. No. 85111. MPK C08L 75/04, 75/06, 75/08. “Poliuritanova kompozytsia” [Polyurethane composition]. Y.V. Savelyev, L.A. Markovskaya, N.Y. Parkhomenko, O.O. Savelyeva. Publ. Nov. 11. 2013. Bull. No. 21.
 8. Ukrainian Pat. No. 90677. MPK C08 J 3/00, C08 J 3/20, C08 K 5/500, C08 L 75/00, C08 L 75/08. “Sposib otrymannia poliuritanovoi kompozytsii” [Method for producing a polyurethane composition]. Saveliev Yu.V., Markovskaya L.A., Parkhomenko N.Y., Savelieva O.O. Publ. June 10, 2014. Bull. No. 11.
 9. Ukrainian Pat. No. 90678. MPK C08 J 3/00, C08 J 3/20, C08 K 5/50, C08 L 75/00, C08 L 75/08. “Sposib otrymannia poliuritanovoi kompozytsii dlia zahysnykh pokryttiv” [Method for producing a polyurethane composition for protective coatings]. Savelyev Yu.V., Markovskaya L.A., Parkhomenko N.Y., Savelieva O.O. Publ. 10/06/2014. Bull. No. 11.
 10. Ukrainian Pat. 160751. MPK C08 J 3/20, C08 L 75/04, C08 D 175/04. “Sposib otrymannia kompozytsiinogo nekovznogo antykoroziinogo poliuritanovogo zabarvlenogo pokryttia” [Method for producing a composite non-slip anti-corrosion colored polyurethane coating]. Savelyev Yu.V., Markovska L.A., Parkhomenko N.Y., Savelyeva O.O. Publ. 08.10.2025. Bull. No. 41.
 11. DSTU B V.2.7-212:2009. “Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia styanosti” [Building materials. Concrete. Methods for determining abrasion resistance].

Savelyev Yu.V., Markovskaya L.A., Gonchar O.M., Oliinyk K.A., Shulzhenko Eu.O.

NEW TECHNOLOGIES FOR COMPREHENSIVE PROTECTION OF MILITARY FACILITIES

A comprehensive approach to protecting ship personnel from slipping and injury, as well as safeguarding the metal structures of naval vessels against corrosion, may be implemented through the development of non-slip anticorrosive coatings. In this study, a composite non-slip anticorrosive pigmented polyurethane coating (NSAPC) of an organo-organic type was developed on the basis of a crosslinked/linear polyurethane blend (CPU/LPU, 70/30) with varying contents of an organo-organic filler and pigment (RAL 7040).

The developed NSAPC exhibited resistance to biotic, abiotic, and technogenic destructive factors. Its coefficient

of friction (μ), determined under different environmental conditions and loading regimes, ranged from 0,60 to 0,83. The damping properties ($\tan\delta$) at temperatures of $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ were 0,082, 0,119 and 0,175, respectively. The wear resistance coefficient (G) under ultra-high loads was $<0,02\%$. After exposure to natural and model destructive factors, the obtained characteristics complied with the performance requirements established for coatings intended for operation under extreme conditions.

The NSAPC was applied as «safety zones» on the upper deck of a project 58155 patrol boat (Naval Unit A0456). Monitoring of the developed NSAPC over fourteen months of operation, subsequently extended for an additional year, confirmed the reliability of the anticorrosive protection of the ship deck and the safety of its operation and maintenance by the crew.

The developed NSAPC provides reliable protection of the crew against slipping, thereby enabling personnel to perform their duties on deck while minimizing the risk of injury. In addition, it prevents loose objects from sliding during ship rolling. At the same time, the coating ensures effective protection of metal surfaces against aggressive technogenic and natural destructive factors, thus improving their operational performance and service life.

Keywords: military facilities, crew, anti-skid coating, long-term corrosion protection, operational reliability, performance characteristics.

Відомості про авторів:

Савельєв Юрій Васильович

доктор хімічних наук, професор
завідувач відділу
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН
України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3356-9087>
e-mail: yuri2savelyev@gmail.com

Марковська Людмила Антонівна

кандидат хімічних наук
старший науковий співробітник
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН
України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-9427-9786>
e-mail: lmarkovskaya@ukr.net

Гончар Олексій Миколайович

кандидат хімічних наук
старший науковий співробітник
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН
України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8356-9283>
e-mail: -lexgon@gmail.com

Олійник Костянтин Анатолійович

начальник відділу розвитку морських озброєнь –
заступник начальника науково-дослідного управління
розвитку морських озброєнь та техніки
Військово-Морських Сил

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8007-6686>
e-mail: e-uliss90@ukr.net

Шульженко Євген Олексійович
начальник управління експлуатації і судноремонту озброєння
Командування логістики ВМС
м. Одеса, Україна
e-mail: e-kardinal5502@gmail.com

Information about the authors:

Savelyev Yuri
Doctor of Chemistry Sciences, Professor
Head of the Department of Heterochain Polymer Chemistry & Interpenetrating Polymer Networks
Institute of Macromolecular Chemistry
NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3356-9087>
e-mail: yuri2savelyev@gmail.com

Markovskaya Ludmila
Candidate of Chemistry Sciences
Senior Research of Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-9427-9786>
e-mail: lmarkovskaya@ukr.net

Gonchar Oleksii
Candidate of Chemistry Sciences
Senior Research of Institute of Macromolecular Chemistry
NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8356-9283>
e-mail: lexgon@gmail.com

Oliinyk Kostiantyn
Head of the Naval Weapons Development Department –
Deputy Head of the Research and Development
Department for Naval Weapons and Equipment
of the Navy
Central Scientific Research Institute of Armament
and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8007-6686>
e-mail: uliss90@ukr.net

Shulzhenko Eugene
Head of the Armament Operations and Ship Repair
Department
Navy Logistics Command
Odesa, Ukraine
e-mail: kardinal5502@gmail.com

Стаття прийнята до редколегії 14.04.2026.

Стаття прийнята до друку після рецензування 21.05.2026.

Стаття опублікована 30.06.2026.