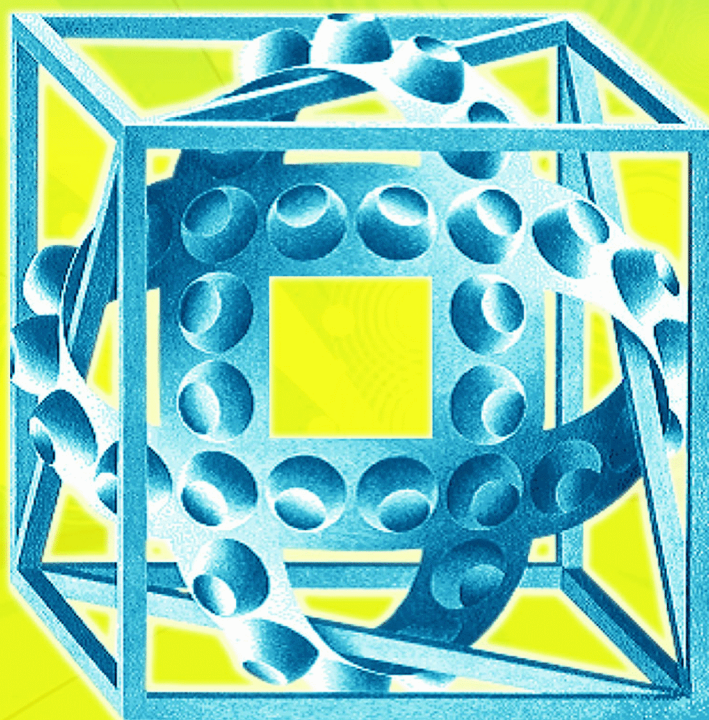




**А.В. Букетов, О.О. Сапронов, М.В. Браїло,  
Н.М. Букетова, L. Dulebová, В.Л. Алексенко, В.М. Яцюк**

# **ВІДНОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ФУЛЕРЕНОВМІСНИМИ ЕПОКСИКОМПОЗИТАМИ**

**Монографія**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ

**ВІДНОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ  
ФУЛЕРЕНОВМІСНИМИ  
ЕПОКСИКОМПОЗИТАМИ**

Монографія

Херсон  
ХДМА  
2018

Автори:

*А. В. Букетов, О. О. Сапронов, М. В. Браїло,  
Н. М. Букетова, L. Dulebová, В. Л. Алексенко, В. М. Яцюк*

Рецензенти:

*А. В. Гнатюк – доктор технічних наук,  
професор кафедри автомобільної електроніки  
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;  
О. М. Сизоненко – доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник відділу імпульсної обробки дисперсних систем  
Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України;  
П. О. Марущак – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації  
технологічних процесів і виробництв Тернопільського національного технічного  
університету імені Івана Пулюя*

*Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради  
Херсонської державної морської академії  
(протокол № 7 від 27 грудня 2017 року)*

В 42 **Відновлення засобів транспорту фулереновмісними епоксикомпозитами** / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, М. В. Браїло, Н. М. Букетова, L. Dulebová, В. Л. Алексенко, В. М. Яцюк. – Херсон : ХДМА, 2018. – 164 с.  
ISBN 978-966-2245-45-5

У монографії наведено методи відновлення засобів морського та річкового транспорту шляхом використання епоксидних композитів і покриттів на їх основі. Показано можливості покращення когезійної та адгезійної міцності матеріалів за рахунок введення дисперсних часток різної фізико-хімічної природи, модифікування епоксидного зв'язувача синтезованим модифікатором з додаванням нанонаповнювача фулерену C<sub>60</sub>. На основі проведених досліджень і отриманих результатів створено нові композитні матеріали і покриття на їх основі з прогнозованими властивостями для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування.

Монографія призначена для широкого кола науковців, інженерно-технічних працівників і аспірантів, які займаються формуванням, дослідженням та практичним застосуванням епоксикомпозитних матеріалів, зокрема для відновлення елементів засобів транспорту, а також для студентів відповідних спеціальностей.

**УДК 629.54:66.017:6609439**

## ЗМІСТ

Передмова .....	5
Перелік умовних скорочень .....	7
<b>Розділ 1. Відновлення елементів засобів транспорту шляхом використання полімерних матеріалів на основі епоксидного зв'язувача: експлуатаційні, технологічні, фізико-механічні та трибологічні властивості .....</b>	<b>8</b>
1.1. Відновлення елементів засобів транспорту шляхом застосування полімерних матеріалів на основі епоксидного зв'язувача .....	8
1.2. Особливості формування та властивості епоксидних композитів із частками мікро- та нанодисперсних наповнювачів .....	20
<b>Розділ 2. Вплив природи та вмісту інгредієнтів на властивості епоксидних композитів .....</b>	<b>29</b>
2.1. Дослідження впливу модифікатора 3,3 <sup>1</sup> – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрилу) на властивості епоксидної матриці .....	29
2.2. Дослідження адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксидних нанокompозитів, наповнених фулереном C <sub>60</sub> .....	50
2.3. Дослідження процесу термічної деструкції у епоксикompозитах, наповнених фулереном C <sub>60</sub> .....	54
2.4. Стійкість до впливу навантажень ударного характеру нанокompозитних матеріалів з частками фулерену C <sub>60</sub> .....	71
<b>Розділ 3. Властивості і структура епоксикompозитів, наповнених мікродисперсними частками .....</b>	<b>89</b>
3.1. Вплив вмісту і природи дисперсного наповнювача пічної сажі на властивості захисних покриттів .....	89
3.2. Дослідження впливу дисперсних часток конвертерного і зварювального шлаків на механічні властивості епоксидних композитів .....	100
3.2.1. Особливості впливу дисперсних часток конвертерного шламу на адгезійні і фізико-механічні властивості епоксидних композитів .....	101
3.2.2. Використання вторинних енергоресурсів для підвищення адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксидних композитів .....	110

3.3. Властивості полімерних композитів, наповнених відходами промислового виробництва, в умовах впливу теплового поля.....	118
<b>Розділ 4. Експлуатаційні характеристики епоксидних композитів для захисних покриттів .....</b>	<b>125</b>
4.1. Оптимізація складу двокомпонентного наповнювача методом математичної статистики для захисних покриттів .....	125
4.1.1. Використання методів математичної статистики для оптимізації складу пкм з частками фулерену C <sub>60</sub> і конвертерного шлаку.....	125
4.1.2. Використання методів математичної статистики для оптимізації складу пкм з частками фулерену C <sub>60</sub> і зварювального шлаку.....	135
4.2. Розробка захисних епоксидних покриттів з полішеними антикорозійними властивостями і гідроабразивною зносостійкістю .....	142
4.3. Склад, технологія формування та впровадження епоксидних композитних матеріалів і покриттів на їх основі з підвищеними експлуатаційними характеристиками .....	149
Список використаних джерел .....	153

## ПЕРЕДМОВА

З розвитком транспортної галузі важливим є ефективність відновлення деталей і механізмів, при цьому актуальним є збільшення їх терміну експлуатації та ремонтпридатність.

Необхідним у даному напрямку є застосування нових матеріалів, які відрізняються не лише поліпшеними властивостями, а й економічною ефективністю при їх застосуванні. Також важливим є антикорозійний захист деталей річкового та морського транспорту, що передбачає збільшення міжремонтного ресурсу їх експлуатації. У даному напрямку на сьогодні актуальним є використання полімерних композитних покриттів, як засобів захисту деталей устаткування від корозійного руйнування і зношування. Серед гами існуючих захисних покриттів (металевих і неметалевих) за властивостями, наявністю сир овиної бази зв'язувачів і компонентів на території України, технологією формування та нанесення та, враховуючи експлуатаційні характеристики, перспективним є використання адгезивів на епоксидній основі. При цьому для поліпшення властивостей епоксикомполімерів у зв'язувач вводять модифікатори і наповнювачі.

Останнім часом перспективним є використання нанонаповнювачів, таких як ультрадисперсний алмаз, нанотрубки, фулерени. На відміну від алмазу і нанотрубок, фулерени є молекулами із замкнутою поверхнею, які здатні приєднувати до шести вільних електронів, що дозволяє їх використовувати у вигляді активних окиснювачів, здатних утворювати хімічні сполуки з новими властивостями. Виходячи з наведеного вище, розробка епоксидних композитів, наповнених наночастками фулерену C<sub>60</sub>, як матеріалу для відновлення та захисту елементів засобів транспорту, є актуальним завданням у галузі сучасного транспорту.

Крім того, на сьогодні все більшої уваги приділяють вторинній переробці відходів металургійного виробництва, що дозволяє, окрім очищення довкілля, заощадити значні кошти, спрямовані на утилізацію цих же відходів. Одним з таких матеріалів є сажа та шлаки. Це дисперсні матеріали, які утворюються при неповному згоранні або термічному розкладанні вуглеводнів, що містяться у природному чи промисловому газі та рідких продуктах нафтового або кам'яновугільного походження. Слід зауважити, що дані відходи різного розміру і складу є цікавими з наукової і практичної точки зору як наповнювачі для формування епоксидних композитів з

підвищеними експлуатаційними характеристиками. Використання дешевих наповнювачів (відходи промислового виробництва), які, окрім підвищення експлуатаційних характеристик епоксидних композитів, сприяють зменшенню вартості конструкційних матеріалів, є вигідним з економічної і екологічної точки зору.

Виходячи з наведеного вище, актуальним на сьогодні є створення нових композитних матеріалів і покриттів на їх основі з прогнозованими властивостями для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування морського та річкового транспорту. Водночас важливим є розроблення технологічного регламенту нанесення покриттів на деталі транспорту, які експлуатують в умовах впливу агресивних корозійно-активних середовищ і гідроабразиву при динамічних навантаженнях.

Монографія призначена питанням розроблення нових матеріалів, методів підвищення корозійної тривкості і гідроабразивної зносостійкості захисних покриттів, які мають пріоритетний характер. Розроблені багатошарові покриття можуть використовувати для підвищення експлуатаційних характеристик обладнання різного призначення, його відновлення та ремонту.

Автори висловлюють подяку керівництву Херсонської державної морської академії за надану можливість виконувати експериментальні дослідження у межах установи, а також членам наукової школи «Матеріалознавство, експлуатація та ремонт засобів транспорту» за допомогу при виконанні низки експериментів.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КМ	композитний матеріал
ПКМ	полімеркомпозитний матеріал
ПКП	полімеркомпозитне покриття
УЗО	ультразвукова обробка
ДТА	диференціально-термічний аналіз
ТГА	термогравіметричний аналіз
$I$	інтенсивність зношування
$T$	теплостійкість (за Мартенсом)
$\Delta V$	усадка
ТКЛР, $\alpha$	термічний коефіцієнт лінійного розширення
$T_c$	температура склування
$T_n$	початкова температура екзо ефекту
$T_k$	кінцева температура екзо ефекту
$K_z$	коефіцієнт зносостійкості
$\sigma_a$	адгезійна міцність при відриві
$\tau$	адгезійна міцність при зсуві
$\sigma_z$	залишкові напруження
$E$	модуль пружності при згинанні
$\sigma_{zg}$	руйнівні напруження при згинанні
$W$	ударна в'язкість



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

Kherson State Maritime Academy

**RESTORING MEANS OF TRANSPORT  
WITH FULLERENE-CONTAINING  
EPOXY COMPOSITES**

The monograph

Reviewers:

*A. V. Gnatov* – doctor of Technical Science, professor of the Vehicle Electronics department, Kharkov National Automobile and Highway University

*O. M. Sizonenko* – doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Leading Researcher of Department of Pulse Treatment of Disperse Systems of Institute of Pulse Processes and Technologies of National Academy of Science of Ukraine

*P. O. Maruschak* – doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation of Technological Processes and Productions of Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

B 42 Restoring means of transport with fullerene-containing epoxy composites: monograph / A.V. Buketov, O.O. Saprnov, M.V. Brailo, N.M. Buketova, L. Dulebová, V.L. Aleksenko, V.M. Yatsyuk. – Kherson: KSMA, 2018. – 164 p.

ISBN 978-966-2245-45-5

In the monograph the methods of restoring means of sea and river transport using epoxy composites and coatings based on them are given. The possibilities of improving the cohesive and adhesive strength of materials due to the introduction of disperse particles of different physical and chemical nature, modification of the epoxy binder by the synthesized modifier with addition of nanofiller fullerene C<sub>60</sub> are shown.

The monograph is intended for a wide range of scientists, engineers and technicians and postgraduates involved in the formation, research and practical application of epoxy composite materials, in particular for restoring of the elements of transport means, as well as for students of relevant specialties.

Наукове видання

**Букетов Андрій Вікторович**  
**Сапронов Олександр Олександрович**  
**Брайло Микола Володимирович**  
**Букетова Наталія Миколаївна**  
**Dulebová Ludmila**  
**Алексенко Віктор Леонідович**  
**Яцюк Віталій Миколайович**

**ВІДНОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ  
ФУЛЕРЕНОВМІСНИМИ  
ЕПОКСИКОМПОЗИТАМИ**

Монографія

Відповідальний за випуск *Р. С. Врублевський, А. В. Букетов*  
Друк, фальцювально-палітурні роботи *В. Г. Удов*

Формат 60x84/16. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 10,25

Підписано до друку року 15.06.2017

Тираж 300 примірників. Зам. № 49

Видавництво

Херсонська державна морська академія,  
просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000

Тел.: 49–20–20

Ел. адреса: [rvv@ksma.ks.ua](mailto:rvv@ksma.ks.ua)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої  
справи до Державного реєстру  
ДК № 4319 від 10.05.2012