

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0824U003556

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 16-12-2024

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** Наказ ХДМА №ЗАД від 27.07.2023 р.



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Соценко Віталій Віталійович

2. Sotsenko Vitalii V.

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 132

**Назва наукової спеціальності:** Матеріалознавство

**Галузь / галузі знань:** механічна інженерія

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Матеріалознавство

**Дата захисту:** 10-07-2023

**Спеціальність за освітою:** Середня освіта (трудове навчання та технології)

**Місце роботи здобувача:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 009

**Повне найменування юридичної особи:** Херсонська державна морська академія

**Код за ЄДРПОУ:** 35219930

**Місцезнаходження:** проспект Ушакова, буд. 20, Херсон, 73000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Херсонська державна морська академія

**Код за ЄДРПОУ:** 35219930

**Місцезнаходження:** проспект Ушакова, буд. 20, Херсон, 73000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 81.09.03.11, 81.09.03.05

**Тема дисертації:**

1. Розробка епоксидних покриттів для захисту засобів транспорту від обростання
2. Development of the epoxy anti-fouling coatings for protecting transport vehicles

**Реферат:**

1. При експлуатації засобів транспорту значної шкоди завдає обростання металоконструкцій і поверхонь устаткування. Тому, одним з широко розповсюджених методів захисту металоконструкцій від обростання є нанесення захисних полімерних покриттів. Найбільш поширеними засобами підвищення стійкості до обростання є покриття на основі епоксидних зв'язувачів. Для попередження фізико-хімічних процесів обростання поверхонь транспорту полімерні зв'язувачі наповнюють необхідною кількістю органічних і неорганічних наповнювачів, модифікаторів, пасивуючих сполук. Водночас, є актуальним і представляє значний науковий інтерес розроблення матеріалів із високими показниками стійкості до обростання, які екологічно чисті, зокрема і для морського середовища. Мета роботи – встановити основні закономірності впливу вмісту модифікатора і дисперсних добавок у епоксидному полімері на активацію процесів структуроутворення при формуванні епоксикомпозитних захисних покриттів призначених для інгібування процесу біобростання деталей водного транспорту. Наукова новизна роботи. 1. Розроблено теоретичні принципи формування реактопластичних матриць, які враховують зв'язки між критичним вмістом твердника

поліетиленполіаміну у епоксидному олігомері DER-331, температурою полімеризації ( $T = 413 \pm 2$  K), структурою та властивостями полімеру, що дозволило підвищити показники адгезійної міцності покриттів функціонального призначення у 2,2 разів. 2. Вперше встановлено, що введення модифікатора фталевого ангідриду у епоксидний зв'язувач DER-331 за вмісту  $q = 0,1 \dots 0,5$  мас.ч. при температурі полімеризації  $T = 393 \pm 2$  K забезпечує підвищення показників фізико-механічних властивостей матриці у 1,1...1,3 разів і обґрунтовано, що це відбувається внаслідок збільшення щільності структури полімеру за рахунок додаткового обмеження рухливості його структурних елементів при зшиванні матеріалу у присутності зв'язків модифікатора C-O, C=O. 3. Встановлено перебіг фізико-хімічних процесів термічної деструкції модифікованих композитів методом термогравіметричного і диференціально-термічного аналізу та виявлено збільшення у 1,4 разів (відносно полімерної матриці) енергії активації термічної деструкції, початкової температури втрати маси, що свідчить про стійкість хімічних зв'язків до впливу температури. 4. Вперше встановлено раціональне співвідношення різнодисперсних добавок біоцидів (окситетрациклін –  $q = 1,5$  мас.ч. + наносрібло –  $q = 0,075$  мас.ч.) у епоксидному зв'язувачі DER-331 ( $q = 100$  мас.ч.), що забезпечує формування наногетерогенної структури покриттів та приводить до зміни клітинної мембрани біобактерій з подальшим її руйнуванням за рахунок підвищеної швидкості вивільнення іонів срібла з поверхні полімеру. Доведено, що розроблене покриття має інгібуючий вплив на пробіотичні штами *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Escherichia coli*, оскільки спостерігається зменшення у 1,3...2,5 разів КУО/мл тест-штамів в агресивних середовищах. У вступі представлено проблему багатьох галузей промисловості – це біологічне обростання металоконструкцій і поверхонь устаткування засобів транспорту, що негативно впливає на термін експлуатації і збільшення економічних витрат, пов'язаних з їх обслуговуванням та ремонтом. В першому розділі наведено коротку характеристику полімерних матеріалів, зокрема: їх структуру, властивості, переваги і недоліки, галузі застосування. Розглянуто особливості використання полімеркомпозитних матеріалів при експлуатації засобів морського та річкового транспорту. Розглянуто питання корозії і обростання механізмів і деталей засобів транспорту. Наведені результати дослідження впливу інгібіторів та інгібувальних пігментів (фосфати, оксиди металів, біоциди) на екологічну токсичність та запобігання біообростанню, що безпосередньо впливає на експлуатаційні якості засобів транспорту. У другому розділі наведено характеристику інгредієнтів, які використано для формування полімерних композитів призначених для інгібування процесу біообростання деталей засобів транспорту. Описано методики, за якими проводили експериментальні дослідження, зокрема: сучасні методики дослідження структури композитних матеріалів (оптична і електронна мікроскопія, диференціально-термічний і термогравіметричний аналіз, газова хроматографія). Додатково наведено методи дослідження: адгезійної міцності (ASTM D897-08), руйнівного напруження при згинанні (ASTM D 790-03), модуля пружності при згинанні (ASTM D 790-03), ударної в'язкості (ASTM D 6110-18), теплостійкості за мартенсом (ISO 75-2), термічного коефіцієнту лінійного розширення (ISO 11359-2). Представлено методику дослідження біообростання розроблених матеріалів з використанням загальноприйнятих у екомікробіології методів та модельної системи, яка містила нормальну мікрофлору організму людини та тварин. Методами математичної статистики оптимізували склад компонентів для формування покриттів функціонального призначення.

2. Fouling of metal structures and surfaces of transport equipment causes significant damage during the operation of vehicles. Therefore, one of the most widespread methods of protecting metal structures from fouling is the application of organic polymer coatings. The most common means for increasing resistance to fouling are paints based on epoxy binders. To prevent physical and chemical processes of fouling of transport surfaces, polymer binders are filled with a certain amount of organic and inorganic fillers, modifiers, and passivating compounds. At the same time, it is relevant and of considerable scientific interest to develop materials with high resistance to fouling that are environmentally friendly, in particular for the marine environment. The purpose of the dissertation is to establish the basic regularities of the influence of the content of the modifier and dispersed additives in the epoxy polymer on the activation of structure formation processes during the creation of epoxy composite protective coatings intended for inhibiting the process of biofouling of water transport parts. Scientific novelty of

the work. 1. The theoretical principles of the formation of reactive plastic matrices were developed, which take into account the relationship between the critical content of the polyethylene polyamine hardener in the DER-331 epoxy oligomer, the polymerization temperature ( $T = 413 \pm 2$  K) and the structure and properties of the polymer. This made it possible to increase the adhesion strength of functional coatings in 2.2 times. 2. It was found for the first time that the introduction of the phthalic anhydride modifier into the DER-331 epoxy binder at the content of  $q = 0.1 \dots 0.5$  wt.% at a polymerization temperature of  $T = 393 \pm 2$  K provides an increase in the physical and mechanical properties of the matrix by 1.1...1.3 times and it is substantiated that this is due to an increase in the density of the polymer structure due to an additional restriction of the mobility of its structural elements when crosslinking the material in the presence of C-O, C=O modifier bonds. 3. The course of physical and chemical processes of thermal destruction of modified composites was established by the method of thermogravimetric and differential thermal analysis, and an increase in the activation energy of thermal destruction by 1.4 times (compare to the polymer matrix), the initial temperature of mass loss increases, which indicates that chemical bonds are resistant to temperature. 4. For the first time, an optimal ratio of dispersed biocide additives (oxytetracycline -  $q = 1.5$  wt% + nano Ag -  $q = 0.075$  wt%) in the DER-331 epoxy binder ( $q = 100$  wt%) was determined. This provides the formation of nanoheterogeneous structure of coatings and leads to a change in the cell membrane of biobacteria with its subsequent destruction due to the rate of release of silver ions from the polymer surface. It has been proven that the developed coating has an inhibitory effect on probiotic strains of *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Escherichia coli*, due to decrease of CFU/ml of test strains in aggressive environments by 1.3-2.5 times. In the introduction, the problem of many branches of industry is presented - this is biological fouling of metal structures and surfaces of equipment of transport vehicles, which negatively affects the service life and increases the economic costs associated with their maintenance and repair. The first section presents a brief description of polymer materials, in particular: their structure, properties, advantages and disadvantages, fields of application. The peculiarities of the use of polymer composite materials in the operation of sea and river transport are considered. The issue of corrosion and fouling of mechanisms and parts of transport vehicles was considered. The results of the study of the effect of inhibitors and inhibitory pigments (phosphates, metal oxides, biocides) on environmental toxicity and prevention of biofouling, which directly affects the operational qualities of means of transport, are presented. The second section substantiates the choice of components for the formation of protective coatings designed to inhibit the process of biofouling of vehicle parts. The methods by which experimental studies were carried out are described, in particular: modern methods of studying the structure of composite materials (optical and electron microscopy, differential thermal and thermogravimetric analysis, gas chromatography). In addition, the conditions and features of the study are given: adhesive strength (ASTM D897-08), fracture stresses during the flexion (ASTM D 790-03), modulus of elasticity (ASTM D 790-03), impact strength (ASTM D 6110-18), heat resistance according to Martens (ISO 75-2), thermal coefficient of linear expansion (ISO 11359-2).

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Нові речовини і матеріали

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- Buketov, A., Sapronov, O., Brailo, M., Stukhlyak, D., Yakushchenko, S., Buketova, N., Sapronova, A., Sotsenko, V.: The Use of Complex Additives for the Formation of Corrosion- and Wear-Resistant Epoxy Composites. Adv. Mater. Sci. Eng. ID 8183761, 1-5 (2019)
- Buketov, A.V., Sapronova, A.V., Sapronov, O.O., Buketova, N.M., Sotsenko, V.V., Brailo, M.V., Yakushchenko, S.V., Maruschak, P.O., Panin, S.V., Smetankin, S.O., Kulinich, A.G., Kulinich, V.G.: Influence of the structure of

- epoxy composite filled with discrete fibers on impact fracture of vehicle parts. *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal*. 11 (2), 113–127 (2020)
- Sapronov, O., Maruschak, P., Sotsenko V., Buketova, N., Bertem, A., Sapronova, A., Prentkovskis O.: Development and Use of New Polymer Adhesives for the Restoration of Marine Equipment Units. *J. Mar. Sci. Eng.* 8 (7), 527 (2020).
  - 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*. 13(1), 81 – 91 (2020)
  - 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*. 12 (2), 1 – 12 (2021).
  - Buketov A.V., Husiev V.M., Kulinich A.G., Yakushchenko S.V., Smetankin S.O., Sotsenko V.V., Yurenin K.Yu.: Epoxy Nanocomposites with Increased Hydroabrasive Wear Resistance for Use in Vehicles. *Journal of nano- and electronic physics*. 13 (5), 05026 – 5 (2021).
  - Sapronov O.O., Buketov A.V., Yakushchenko S.V., Syzonenko O.M., Sapronova A.V., Sotsenko V.V., Vorobiov P.O., Lypian Ye.V., Sieliverstov I.A., Dobrotvor I.H.: Application of synthesized iron/titanium carbide mixture for restoration of water transport parts by epoxy composites. *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal*. 12 (4), 23 – 35 (2021).
  - Panda A, Dyadyura K, Valiček J, Harničárová M, Kušnerová M, Ivakhniuk T, Hrebenyk L, Sapronov O, Sotsenko V, Vorobiov P, Levytskyi V, Buketov A, Pandová I.: Ecotoxicity Study of New Composite Materials Based on Epoxy Matrix DER-331 Filled with Biocides Used for Industrial Applications. *Polymers*. 14(16), 3275 (2022).
  - Buketov A.V., Sapronova A.V., Brailo M.V., Sotsenko V.V., Yurenin K.Yu., Antonio B.: Polymer composites for improving the resource of pipeline transport. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*. 5 (2), 63 – 68 (2018).
  - Sapronov O.O., Sotsenko V.V., Antonio B., Smetankin S.O., Yurenin K.Yu.: Polymeric materials based on epoxy oligomer DER-331 and hardeners of different physical and chemical nature for repairing of gas production equipment. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*. 7 (2), 54 – 60 (2020).
  - Сапронов О.О., Чернявська Т.В., Сапронова А.В., Соценко В.В., Бертем А.: Дослідження структури модифікованої фталімідом епоксидної матриці методом ІЧ-спектрального аналізу. *Металургія*. 1, 53 – 59 (2021).
  - Браїло М.В., Якущенко С.В., Кобельник О.С., Соценко В.В., Букетова Н.М., Вороненко С.В.: Створення нанопоповнених епокси-поліефірних композитних матеріалів для захисту елементів суднових технічних засобів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 1 (22), 155 – 163 (2020).
  - Сапронов О. О., Соценко В. В., Сапронова А. В., Воробйов П. О., Яцюк В. М.: Дослідження впливу вмісту модифікатора 2-бензофуран-1,3-діон на адгезійні та фізико-механічні властивості епоксидних композитів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 1 (24), 118 – 128 (2021)
  - Sotsenko V.V.: Physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites filled with dispersed particles of oxytetracycline. *Scientific Journal "Metallurgy"*. (1), 30-37 (2022)
  - Sapronov O., Sotsenko V., Sapronova A., Vorobiov P., Brailo M., Yatsuk V.: Investigation of the modifier 2-benzofuran-1,3-dione content effect on the heat resistance of epoxy composites. *Scientific Journal of TNTU*. 1 (105), 55-67 (2022)

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології; матеріали

**Соціально-економічна спрямованість:** створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; економія енергоресурсів; економія матеріалів; зменшення зносу обладнання

## **Охоронні документи на ОПВ:**

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

Епоксидний адгезив: пат. 135874 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00. № u201901117; заявл. 04.02.2019; опубл. 25.07.2019, Бюл. № 14. Епоксидний композит із підвищеною пружністю: пат. 136153 Україна: МПК (2019.01) C09D 163/00. № u201901258; заявл. 07.02.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. № 15. Епоксидний адгезив із дисперсним наповнювачем: пат. 136154 Україна: МПК (2019.01) C09D 162/10. № u201901270; заявл. 07.02.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. № 15. Модифіковане епоксидне зв'язуюче с підвищеними адгезійними характеристиками: пат. 137913 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00. № u201904329; заявл. 22.04.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21. Модифіковане епоксидне зв'язуюче з поліпшеними теплофізичними властивостями: пат. 137920 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00. № u201904340; заявл. 22.04.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21. Модифіковане епоксидне зв'язуюче з поліпшеними фізико-механічними властивостями: пат. 137923 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00. № u201904345; заявл. 22.04.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21. Пристрій для випробування конструкційних матеріалів на розтяг: пат. 141344 Україна, МПК (2020.01) G01N3/08. № u201907669; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.04.2020; Бюл. № 7. Спосіб випробування на розтягування зразків матеріалів з малою згинальною жорсткістю: пат. 142724 Україна: МПК (2020.01) G01N 3/00. № u201911947; заявл. 16.12.2019; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. Затискний пристрій, що самоцентрується, для випробування зразків матеріалів на розтяг: пат. 143840 Україна: МПК (2020.01) G01N 3/08. № u202002002; заявл. 23.03.2020; опубл. 10.08.2020, Бюл. № 15.

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0117U003835 0120U101566 0121U107610 0120U101567

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сапронов Олександр Олександрович
2. Oleksandr O. Sapronov

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.02.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-1115-6556

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Херсонська державна морська академія

**Код за ЄДРПОУ:** 35219930

**Місцезнаходження:** проспект Ушакова, буд. 20, Херсон, 73000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Лисенков Едуард Анатолійович

2. Edward A. Lysenkov

**Кваліфікація:** д.ф.-м.н., професор, 01.04.19

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1369-4609

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Чорноморський національний університет імені Петра Могили

**Код за ЄДРПОУ:** 23623471

**Місцезнаходження:** вул. 68 Десантників, буд. 10, Миколаїв, Миколаївський р-н., 54003, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кашицький Віталій Павлович

2. Vitaliy Kashytskiy

**Кваліфікація:** к. т. н., професор, 05.02.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-2346-912X

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Луцький національний технічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 05477296

**Місцезнаходження:** вул. Львівська, буд. 75, Луцьк, Луцький р-н., 43018, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Акімов Олександр Вікторович

2. Alexandr V. Akimov

**Кваліфікація:** к.т.н., доц., 05.02.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8613-2837

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Херсонська державна морська академія

**Код за ЄДРПОУ:** 35219930

