

## АНОТАЦІЯ

*Сапронова А.В.* Закономірності впливу неорганічних хімічних компонентів на властивості епоксидних захисних покриттів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство. – Херсонська державна морська академія, Міністерство освіти і науки України, Херсон, 2021.

Науковий інтерес по розробленню і дослідженню, епоксидних композитів пов'язаний з вагомою проблемою багатьох галузей промисловості – захист технологічного устаткування і металоконструкцій, які експлуатують в умовах впливу агресивних середовищ, змінних температур, статичних і динамічних навантажень. Тому, для забезпечення суттєвого підвищення довговічності устаткування і металоконструкцій необхідно створювати нові захисні покриття, які повинні забезпечувати комплекс властивостей. Вирішення цієї проблеми можливо шляхом фізико-хімічного модифікування зв'язувача, що забезпечить спрямоване керування процесом структуроутворення і дозволить забезпечити необхідний комплекс адгезійних, фізико-механічних властивостей, корозійну тривкість, що у свою чергу дозволить розширити область використання нових полімерних матеріалів.

*Мета роботи* – встановити основні закономірності впливу інгредієнтів на активацію процесів структуроутворення при формуванні епоксикомпозитних захисних покриттів з підвищеними антикорозійними характеристиками.

Наукова новизна роботи.

1. Вперше доведено поліпшення адгезійної міцності епоксидних композитів, армованих сумішшю дискретних органічних волокон, забезпечується шляхом взаємодії амідних  $-NH_2$ , карбонільних  $C=O$  груп при полімеризації матеріалів і показано, що для підвищення адгезійних

характеристик у 1,3 рази необхідно вводити волокнисту добавку у кількості 0,05...0,10 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20.

2. Методом ІЧ-спектрального аналізу встановлено зміщення хвильових чисел  $\nu = 1043,49 \text{ см}^{-1}$ ,  $\nu = 2067,69 \text{ см}^{-1}$  на  $\Delta\nu = 3,86 \text{ см}^{-1}$ , що свідчить про взаємодію амідних і карбонільних груп суміші дискретних органічних волокон з макромолекулами та сегментами епоксидного олігомеру та забезпечує підвищення когезійної міцності у 1,7 рази при введенні волокнистої добавки у кількості 0,01 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20.

3. Встановлено, що раціональне введення синтезованої порошкової залізо-карбідотитанової шихти ( $q = 0,05 \dots 0,10$  мас.ч.) у епоксидний зв'язувач забезпечує оптимальне співвідношення показників адгезійної міцності і залишкових напружень – 20:1, а це, у свою чергу, дозволяє експлуатувати захисні покриття без розтріскування і відшарування впродовж тривалого прогнозованого терміну експлуатації.

4. Вперше доведено, що направлене використання синтезованої порошкової залізо-карбідотитанової шихти ( $q = 0,025$  мас.ч.) з частками тугоплавких сполук  $\text{TiC}$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$ , приводить до збільшення часу  $\alpha$ -релаксації у 2,5 рази за рахунок зростання рухливості макромолекул епоксидного полімеру, а це, у свою чергу, забезпечує зміну характеру руйнування матеріалу і приводить до збільшення ударної в'язкості у 2,0 рази.

5. Методом ДТА- і ТГА-аналізу досліджено перебіг фізико-хімічних процесів термічної деструкції полімерів і доведено, що зміщення на 25 К початкової температури екзоэффекту у область високих температур композитних матеріалів, наповнених синтезованою порошковою залізо-карбідотитановою шихтою за вмісту  $q = 0,1$  мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20, свідчить про їх термостабільність та дозволяє регламентувати критичну температуру експлуатації  $T = 547 \text{ К}$  розроблених композитів.

У вступі представлено проблеми експлуатації металоконструкцій і устаткування промисловості, наведений вклад по створенню і дослідженню

властивостей реактопластичних полімерних матеріалів вчених ближнього і дальнього зарубіжжя, обґрунтовано актуальність вибору теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та завдання досліджень, представлені наукова новизна й практичне значення отриманих результатів дослідження.

В першому розділі проведений аналіз загальної характеристики полімерних матеріалів та їх властивостей. Розглянуто фізико-хімічні процеси при корозійному руйнуванні устаткування річкової і морської галузі, зокрема підводні і надводні частини корпусу суден, арматура і трубопроводи систем судна, підводні трубопроводи, буї, металоконструкції у портах, що контактують із водою. Для підвищення експлуатаційних характеристик епоксикомпозитних матеріалів і покриттів на їх основі проведено літературний аналіз методів модифікування їх структури.

У другому розділі обґрунтовано вибір компонентів для формування захисних покриттів. Описано методики, за якими проводили експериментальні дослідження розроблених полімерних матеріалів, зокрема: сучасні методики дослідження структури композитних матеріалів (ІЧ-спектральний аналіз, оптична мікроскопія диференціально-термічний і термогравіметричний аналіз). Додатково представлені стандартизовані методи дослідження: адгезійної міцності (ГОСТ 14760-69, ГОСТ 14759-69), руйнівного напруження при згинанні (ГОСТ 4648-71), модуля пружності при згинанні (ГОСТ 9550-81), ударної в'язкості (ГОСТ 4647-80), теплостійкості за мартенсом (ГОСТ 21341-75), термічного коефіцієнту лінійного розширення (ГОСТ 15173-70). Методами математичної статистики оптимізували склад компонентів для формування покриттів із підвищеними антикорозійними характеристиками.

Третій розділ присвячений питанням раціонального співвідношення суміші дискретних органічних волокон у епоксидному зв'язувачі для поліпшення адгезійних і когезійних характеристик. На основі комплексних досліджень властивостей і структури армованих композитів доведено, що для формування покриттів, які забезпечують високі показники адгезійної

міцності доцільно вводити у епоксидний зв'язувач суміш дискретних органічних волокон за вмісту  $q = 0,050 \dots 0,100$  мас.ч. Це забезпечує підвищення адгезійної міцності при відриві з  $\sigma_a = 24,4$  МПа (для епоксидної матриці) до  $\sigma_a = 31,5 \dots 32,0$  МПа та адгезійної міцності при зсуві з  $\tau = 9,0$  МПа (для епоксидної матриці) до  $\tau = 10,0 \dots 10,1$  МПа за рахунок взаємодії амідних  $-\text{NH}_2$ , карбонільних  $\text{C}=\text{O}$  і нітрильних  $\text{C}\equiv\text{N}$  груп при полімеризації. Тоді, як для забезпечення високих показників когезійної міцності вміст суміш дискретних органічних волокон повинен становити  $q = 0,010 \dots 0,020$  мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА. У такому випадку значення модуля пружності становить –  $E = 3,2 \dots 3,3$  ГПа, а руйнівні напруження при згинанні –  $\sigma_{z2} = 57,0 \dots 58,0$  МПа, що пов'язано із деформуванням макромолекул під дією статичного навантаження та орієнтації волокнистої складової у напрямку прикладення навантаження. При випробовуванні розроблених матеріалів на ударну в'язкість, зафіксовано дисипацію енергії удару по об'єму полімеру, що забезпечує максимальне підвищення ударної в'язкості композитів порівняно з матрицею від  $W = 0,7$  Дж/см<sup>2</sup> до  $W = 1,25$  Дж/см<sup>2</sup>. Отримані результати механічних випробовувань дозволили проаналізувати механізм руйнування епоксидних композитів, наповнених волокнистою добавкою і встановити їх оптимальний вміст у епоксидному зв'язувачі. Додатково представлено комплексні дослідження впливу антиагломеруючої німецької добавки hydropho biervnsmittel (HDBS) на властивості епоксикомпозитних матеріалів. Введення HDBS за оптимального вмісту забезпечує підвищення адгезійної у 1,4...1,6 рази і когезійної міцності у 1,0 рази, додатково забезпечує синдементацийну стійкість, що при нанесенні забезпечує рівномірність шару покриття.

У четвертому розділі розглянуто особливості впливу дисперсних добавок прокатної залізної окалини ( $d = 60 \dots 63$  мкм) і синтезованої порошкової залізо-карбідотитанової шихти ( $d = 10 \dots 12$  мкм), на властивості і структуру розроблених композитів. Показано, що поверхня прокатної

залізної окалини (ПЗО) характеризується значною кількістю активних груп у діапазоні хвильових чисел  $\nu = 400 \dots 1350 \text{ см}^{-1}$ . Це забезпечило підвищення адгезійної міцності у 1,5...1,7 рази, когезійної – 1,0...1,4 рази при введенні добавки за вмісту  $q = 20 \dots 40$  мас.ч. у епоксидний зв'язувач.

Доведено, що введення синтезованої порошкової залізо-карбідотитанової шихти (ЗКТШ) за вмісту  $q = 0,050 \dots 0,100$  мас.ч. забезпечує оптримане співвідношення (20:1) адгезійної міцності і залишкових напружень ( $\sigma_a = 32,6 \text{ МПа} : \sigma_3 = 1,6 \text{ МПа}$ ), що вказує про можливість довготривалої експлуатації наповнених епоксидних композитів і покриттів на їх основі без відшарування. Тоді, як введення ЗКТШ за вмісту  $q = 0,025$  мас.ч. забезпечує підвищення ударної в'язкості композитів порівняно з матрицею від  $W = 0,7 \text{ Дж/см}^2$  до  $W = 1,20 \text{ Дж/см}^2$ , і енергії, яка затрачається на руйнування хімічних зв'язків – від  $E = 0,9 \text{ Дж}$  до  $E = 1,93 \text{ Дж}$ .

Методами диференціально-термічного і термогравіметричного аналізу встановлені критерії (початкова температура екзоефекту і максимальне значення піка екзоефекту) для тривалої експлуатації композитних матеріалів в умовах впливу температури. Для композитного матеріалу із оптимальним вмістом ЗКТШ ( $q = 0,100$  мас.ч.) встановлено зміщення на 25 К початкової температури екзоефекту у область високих температур, що свідчить про їх термостабільність в умовах впливу теплового поля.

У п'ятому розділі представлено антикорозійні характеристики і практичне застосування розроблених епоксикомпозитних матеріалів. Склад добавок у епоксидному зв'язувачі для формування антикорозійних епоксидних покриттів оптимізовано за допомогою математичного планування з використанням ортогонального центрального композиційного планування експерименту.

Розроблені епоксикомпозитні матеріали та покриття, технологія їх формування і нанесення впроваджено на підприємствах суднобудівної і автомобілебудівної промисловості, а саме: Avrey Commerce Ltd (м. Херсон,

Україна), «Lakiernictwo Samochodowe» (м. Гнезно, Польща) та у навчальному процесі при підготовці аспірантів Херсонської державної морської академії.

**Ключові слова:** суміш дискретних органічних волокон, синтезована порошкова залізо-карбідтитанова шихта, антиагломеруюча добавка, адгезія, механізм руйнування, час поширення тріщин, структура композита, температурний діапазон, корозія.

## **ABSTRACT**

*Sapronova A.V.* Regularities of influence of inorganic chemical components on properties of epoxy protective coatings. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the Doctor of Philosophy on a specialty 132 Materials science. – Kherson State Maritime Academy, the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kherson, 2021.

Scientific interest in the development and research of epoxy composites is associated with a significant problem in many industries – the protection of technological equipment and metal structures that operate under the influence of aggressive environments, variable temperatures, static and dynamic loads. Therefore, to ensure a significant increase in the durability of equipment and metal structures, it is necessary to create new protective coatings that should provide a set of properties. The solution to this problem is possible by physical and chemical modification of the binder, which will provide targeted control of the structure formation process and will provide the necessary set of adhesive, physical and mechanical properties, corrosion resistance, which in return will expand the use of new polymeric materials.

The purpose of the thesis is to establish the basic regularities of the ingredients influence on the activation of the processes of the structure formation in the creation of the epoxy composite protective coatings with increased corrosion resistance.

Scientific novelty of the thesis.

1. It was proved for the first time that increasing the adhesive strength of epoxy composites reinforced with a mixture of discrete organic fibers is provided by the interaction of amide  $\text{-NH}_2$ , carbonyl  $\text{C=O}$  groups during polymerization, and it was shown that it is necessary to introduce a fibrous additive in quantity of 0.050... 0.100 wt% per 100 wt% of ED-20 oligomer to increase the adhesive properties by 1.3 times.

2. The method of IR-spectral analysis revealed a shift of the wave numbers  $\nu = 1043,49 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu = 2067,69 \text{ cm}^{-1}$  to  $\Delta\nu = 3,86 \text{ cm}^{-1}$ , which indicates the interaction of amide and carbonyl groups of a mixture of discrete organic fibers with macromolecules and segments of the epoxy oligomer and provides the increases of cohesive strength by 1.7 times with the addition of a fibrous additive in the amount of 0.010 wt% per 100 wt% of ED-20 oligomer.

3. It was established that the rational introduction of the synthesized iron/titanium carbide mixture ( $q = 0,050...0,100 \text{ wt\%}$ ) in the epoxy binder provides the obtained ratio (20:1) of adhesive strength and residual stresses, which in return allows to operate the protective coatings without cracking and peeling during the long predicted service life.

4. It was proved for the first time that the directed use of the synthesized iron/titanium carbide mixture ( $q = 0.025 \text{ wt\%}$ ) with particles of  $\text{TiC}$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$  refractory compounds, leads to an increase of  $\alpha$ -relaxation time in 2.5 times due to increased mobility of epoxy polymer macromolecules, which in return provides a change in nature of the material destruction and leads to an increase of impact strength by 2.0 times.

5. The course of physicochemical processes of thermal destruction of polymers was investigated by the method of DTA- and TGA- analysis and it was proved that the drift of the initial temperature of the exoeffect by 25 K in the region of high temperatures of composite materials, filled with synthesized iron/titanium carbide mixture at a content of  $q = 0.100 \text{ wt\%}$ , indicates their thermal stability and allows to regulate the critical operating temperature  $T = 574.4 \text{ K}$  of the developed composites.

The problems of metal structures and industrial equipment operation are presented in the introduction, a contribution of scientists from near and far abroad of the creation and study of the properties of thermosetting polymeric materials is provided, the relevance of the dissertation is justified, the purpose and objectives of thesis are formulated, scientific novelty and practical value are presented.

The first chapter analyzes the general characteristics of polymeric materials and their properties. Physicochemical processes in the corrosion destruction of river and marine equipment, in particular underwater and surface parts of the hull, fittings and pipelines of ship systems, underwater pipelines, buoys, metal structures in ports, that contact with water are considered. To improve the performance of epoxy composite materials and coatings based on them, the literature analysis of modification methods of their structure is carried out.

The second chapter substantiates the choice of components for the formation of protective coatings. The methods used to conduct experimental studies of the developed polymeric materials are described, in particular: modern methods of studying the structure of composite materials (IR- spectral analysis, optical microscopy, differential thermal and thermogravimetric analysis). Additionally, standardized research methods are presented: adhesive strength (USSR (State standard specification) 14760-69, USSR 14759-69), fracture stresses during the flexion (USSR 4648-71), modulus of elasticity during the flexion (USSR 9550-81), impact strength (USSR 4647-80), heat resistance according to Martens (USSR 21341-75), thermal coefficient of linear expansion (USSR 15173-70). Methods of mathematical statistics were used to optimize the composition of components for the coatings formation with high anti-corrosion characteristics.

The third chapter deals with the rational ratio of a mixture of discrete organic fibers in an epoxy binder to improve adhesion and cohesion characteristics. Based on complex studies of the properties and structure of reinforced composites, it is proved, that it is advisable to introduce into the epoxy binder a mixture of discrete organic fibers with a content of  $q = 0.050 \dots 0.100$  wt% for the formation of coatings that provide high adhesion strength. It provides an increase in adhesive



strength at separation from  $\sigma_a = 24.4$  MPa (for epoxy matrix) to  $\sigma_a = 31.5...32.0$  MPa and adhesive strength at shear from  $\tau = 9.0$  MPa (for epoxy matrix) to  $\tau = 10.0...10.1$  MPa due to the interaction of amide  $-NH_2$ , carbonyl  $C=O$  and nitrile  $C\equiv N$  groups during polymerization. Whereas, in order to ensure high indicators of cohesive strength, the content of the mixture of discrete organic fibers should be  $q = 0.010...0.020$  wt% per 100 wt% of epoxy oligomer ED-20 and 10 wt% PEPA (*polyethylene polyamine*) hardener. In this case, the value of the elasticity modulus is  $E = 3.2...3.3$  GPa, and the fracture stresses during the flexion  $\sigma_{fl} = 57.0...58.0$  MPa, which is related to the deformation of macromolecules under the action of static load and the orientation of the fibrous component in the direction of application of the load. When testing the developed materials for impact strength, the dissipation of impact energy over the volume of the polymer was recorded, which provides a maximum increase in the impact strength of composites compared to the matrix from  $W = 0.7$  J/cm<sup>2</sup> to  $W = 1.25$  J/cm<sup>2</sup>. The obtained results of mechanical tests allowed to analyze the mechanism of destruction of epoxy composites filled with fibrous additives and to establish their optimal content in the epoxy binder. Additionally, a comprehensive study of the effect of hydrophobic biervnsmittel (HDBS) anti-agglomerating German additive on the properties of epoxy composite materials is presented. Adding the HDBS for the optimal way prevents increase of adhesive strength by 1.4...1.6 times and cohesive strength in 1.0 times, additionally without a deterioration in the risk of damage.

The fourth chapter considers the features of the influence of dispersed additives of rolled iron scale ( $d = 60...63$   $\mu\text{m}$ ) and synthesized iron/titanium carbide mixture ( $d = 10...12$   $\mu\text{m}$ ) on the properties and structure of the developed composites. It is shown that the surface of rolled iron scale (RIS) is characterized by a significant number of active groups in the range of wave numbers  $\nu = 400...1350$  cm<sup>-1</sup>. It provided an increase in adhesive strength by 1.5...1.7 times, cohesion strength – 1.0...1.4 times with the adding of additives with a content of  $q = 20...40$  wt% in an epoxy binder.

It was proved that the adding of the synthesized iron/titanium carbide mixture (SITCM) at a content of  $q = 0.050 \dots 0.100$  wt% provides the obtained ratio (20: 1) of adhesive strength and residual stresses ( $\sigma_a = 32.6$  MPa :  $\sigma_3 = 1.6$  MPa), which indicates the possibility of long-term operation of filled epoxy composites and coatings based on them without peeling. Whereas the adding of SITCM at a content of  $q = 0.025$  wt% provides an increase in the impact strength of composites from  $W = 0.7$  J/cm<sup>2</sup> to  $W = 1.20$  J/cm<sup>2</sup> compared to the matrix, and the energy spent on destruction of the chemical bonds – from  $E = 0.9$  J to  $E = 1.93$  J.

Criteria (initial temperature of exoeffect and maximum value of peak of exoeffect) for long-term operation of composite materials under conditions of temperature influence are established by methods of differential thermal and thermogravimetric analysis. For a composite material with an optimal content of SITCM ( $q = 0.100$  wt%), a 25 K shift of the initial temperature of the exoeffect to the region of high temperatures was established, which indicates their thermal stability under the conditions of thermal field influence.

The fifth chapter presents the anti-corrosion characteristics and practical application of the developed epoxy composite materials. The composition of the additives in the epoxy binder for the formation of anti-corrosion epoxy coatings was optimized by mathematical planning using orthogonal central composite planning of the experiment.

Developed epoxy composite materials and coatings, technology of their formation and application are implemented in the shipbuilding and automotive industries, such as: Avrey Commerce Ltd (Kherson, Ukraine), "Lakiernictwo Samochodowe" (Gniezno, Poland) and in the training process in preparation graduate students at the Kherson State Maritime Academy.

**Key words:** mixture of discrete organic fibers, synthesized iron/titanium carbide mixture, anti-agglomerating additive, adhesion, fracture mechanism, crack propagation time, composite structure, temperature range, corrosion.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Buketov A.V., Amelin M.Yu., Negrutza R.Yu, **Sapronova A.V.**, Bezbach O.M., Voronenko S.V.: Increasing the reliability of the equipment of oil and gas transportation industry due to polymeric nanocomposites. Journal of Hydrocarbon Power Engineering. **4(2)**, 64-67 (2017). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: формування матеріалів для дослідження фізико-механічних властивостей).
2. Букетов А.В., **Сапронова А.В.**, Лещенко О.В., Голотенко О.С., Василенко А.О.: Дослідження процесу структуроутворення композитних матеріалів із різним вмістом вуглецевих нанотрубок методом ІЧ-спектрального аналізу. Наукові нотатки. **61**, 13-19 (2018). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: формування матеріалів для ІЧ-спектрального аналізу та аналіз отриманих результатів).
3. **Сапронова А.В.**: Використання дисперсних добавок для підвищення адгезійних і фізико-механічних властивостей полімерних захисних покриттів. Наукові нотатки. **63**, 196-202 (2018). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.*
4. Stuklyak D., **Sapronova A.**, Yatsiyk V., Gryshuk B.: Influence of 2,4-diaminotoluene modifier on the physical and mechanical properties of epoxy composite coatings. Scientific Journal of TNTU. **91** (3), 36-45 (2018) *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: формування матеріалів для ІЧ-спектрального аналізу).
5. Brailo, M.V., Buketov, A.V., Kobelnyk, O.S., Yakushchenko, S.V., **Sapronova, A.V.**, Sapronov, O.O., Vasilenko, A.O.: Оптимізація вмісту добавок у епоксидно-поліефірному зв'язувачі для підвищення когезійної міцності композитів. Sci. Bull. UNFU. **28**, 71–77 (2018). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar. (doi:10.15421/40281114)* (Внесок дисертанта: участь у проведенні експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей композитних матеріалів).

6. Buketov A.V., **Sapronova A.V.**, Braila 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), 43-49 (2018). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar*. (Внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень когезійної міцності та структури композитних матеріалів методом оптичної мікроскопії).
7. Браїло М.В., Кобельник О.С., Сапронов О.О., **Сапронова А.В.**, Василенко А.О., Гусев В.М.: Епокси-поліефірне покриття для відновлення засобів транспорту. *Науковий вісник ХДМА*. **2** (19), 118-130 (2018). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar*. (Внесок дисертанта: дослідження впливу двокомпонентної добавки на модуль пружності при згинанні композитних матеріалів).
8. Букетов, А.В., Браїло, М.В., Кобельник, О.С., **Якущенко, С.В., Сапронова, А.В.**: Розроблення епокси-поліефірної матриці з поліпшеними фізико-механічними властивостями для відновлення засобів транспорту. *Наукові нотатки*. **66**, 30–36 (2019). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar*. (Внесок дисертанта: дослідження модуля пружності при згинанні, статистична обробка отриманих результатів дослідження).
9. **Сапронова А.В.**: Вплив вмісту органічних волокон у епоксидному зв'язувачі на показники адгезійної та когезійної міцності покриттів транспортної техніки. *Науковий вісник ХДМА*. **1** (20), 141-151 (2019). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar*.
10. Brailo M.V., Buketov A.V., Yakushchenko S.V., **Sapronova A.V.**, Kobelnyk O.S., Yarema I.T., Fesenko I.P.: Development of a polymer matrix with improved performance characteristics for protection of vehicle elements. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*. **7** (2), 71-76 (2020). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar*. (Внесок дисертанта: участь у проведенні експериментальних досліджень теплостійкості композитних матеріалів).
11. 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). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar*. (Внесок

дисертанта: формування матеріалів для ІЧ-спектрального аналізу та аналіз отриманих результатів).

*Статті у наукових фахових виданнях України,*

*які входять до міжнародних наукометричних баз даних:*

1. Sapronov, O.O., Buketov, A.V., Marushchak, P.O., Panin, S.V. Brailo, M.V., Yakushchenko, S.V., **Sapronova, A.V.**, Leshchenko, O.V., Menou, A.: Research of crack initiation and propagation under loading for providing impact resilience of protective coating. *Funct. Mater.* **26**, 114–120 (2019). *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази даних Scopus та Web of Science (doi:10.15407/fm26.01.114)* (Внесок дисертанта: участь у проведенні експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей композитних матеріалів).

*Статті у наукових виданнях інших держав,*

*які входять до міжнародних наукометричних баз даних:*

1. Buketov, A., Brailo, M., Yakushchenko, S., **Sapronova, A.**: Development of Epoxy-Polyester Composite with Improved Thermophysical Properties for Restoration of Details of Sea and River Transport. *Adv. Mater. Sci. Eng.* **2018**, 1–6 (2018). *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази даних Scopus та Web of Science (doi:10.1155/2018/6378782)* (Внесок дисертанта: участь у проведенні експериментальних досліджень теплофізичних властивостей).
2. 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.* **2019**, 1–5 (2019). *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази даних Scopus та Web of Science (doi:10.1155/2019/8183761)* (Внесок дисертанта: обговорення отриманих результатів).
3. 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 Int. J. Mater. Manuf. **13**, 05-13-01–0006 (2020). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Scopus (doi:10.4271/05-13-01-0006 )* (Внесок дисертанта: проведення дослідження структури композитних матеріалів методом оптичної мікроскопії).

4. 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) *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази даних Scopus та Web of Science. (doi:10.1615/CompMechComputApplIntJ.2020031192).* (Внесок дисертанта: дослідження поверхні зламу композитних матеріалів наповнених сумішшю дискретних органічних волокон методом оптичної мікроскопії).

5. 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) *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Scopus (doi:<https://doi.org/10.3390/jmse8070527>)* (Внесок дисертанта: дослідження і аналіз поверхні відриву композитних матеріалів затверджених при різних температурах).

#### *Патенти:*

1. Епоксидний адгезив: пат. 135874 Україна: МПК (2019.01) C09D 163/00, C08L 63/00. №u201901117; заявл. 04.02.2019; опубл. 25.07.2019, Бюл. № 14. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).

2. Епоксидний композит із підвищеною пружністю: пат. 136153 Україна: МПК (2019.01) C09D 5/00, C09D 163/00. №u201901258; заявл. 01.02.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. № 15. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).

3. Епоксидний адгезив із дисперсним наповнювачем: пат. 136154 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00, C09D 5/08, C09D 5/16, C09D 163/10..

- №u201901270; заявл. 07.02.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. № 15. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).
4. Модифіковане епоксидне зв'язуюче з підвищеними адгезійними характеристиками: пат. 137918 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00, C09D 4/00.. №u201904335; заявл. 22.04.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).
5. Модифіковане епоксидне зв'язуюче з поліпшеними фізико-механічними властивостями: пат. 137919 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00, C09D 5/08, C09D 163/00. №u201904339; заявл. 22.04.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).
6. Модифіковане епоксидне зв'язуюче з поліпшеними фізико-механічними властивостями: пат. 137923 Україна: МПК (2019.01) C08L 63/00, C09D 5/08, C09D 163/00.. №u201904345; заявл. 22.04.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).
7. Спосіб отвердіння модифікованого епоксидного зв'язуючого з підвищеними фізико-механічними властивостями: пат. 146776 Україна: МПК (2021.01) C09D 163/00.. №u202006157; заявл. 23.09.2020; опубл. 17.03.2021, Бюл. № 11. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).
8. Спосіб виконання модифікованого епоксидного зв'язуючого з поліпшеними теплофізичними характеристиками: пат. 146929 Україна: МПК (2021.01) C08L 63/00. №u202006158; заявл. 23.09.2020; опубл. 31.03.2021, Бюл. № 13. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).

*Тези наукових доповідей:*

1. **Сапронова А.В.,** Маляренко О.Д., Янутенене Й.: Дослідження активності поверхні дисперсного карбонату літію і карбонату нікелю методом ІЧ-спектрального аналізу. Матеріали 9-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», р. 357., Херсон, 23 – 25 травня (2017). (Внесок дисертанта: формування матеріалів для ІЧ-спектрального аналізу та аналіз отриманих результатів).

2. **Сапронова А.В.,** Букетова Н.М., Лещенко О.В., Амелін М.Ю.: Дослідження активності поверхні дисперсного конвертерного шламу методом ІЧ-спектрального аналізу. Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. присвяченої пам'яті заслуженого винахідника України академіка АН вищої школи України, доктора технічних наук, професора Нагорняка Степана Григоровича «Обладнання і технології сучасного машинобудування». р. 152, Тернопіль, 11–12 травня (2017). (Внесок дисертанта: формування матеріалів для ІЧ-спектрального аналізу).
3. **Сапронова А.В.,** Букетова Н.М.: Розроблення дисперснонаповнених епоксидних покриттів для захисту транспортної техніки, яку експлуатують в умовах впливу градієнту температур. Матеріали VIII Міжнарод. наук.-техн. конф. «Суднова енергетика: стан та проблеми». pp. 181– 183, Миколаїв, 8 – 10 листопада (2017). (Внесок дисертанта: проведення дослідження термічного коефіцієнту лінійного розширення епоксидних композитів).
4. Букетов А.В, **Сапронова А.В.,** Лещенко О.В., Кулініч А.Г.: Аналіз поверхні руйнування нанокompозитних матеріалів методом електронної мікроскопії. Матеріали VI Міжнарод. наук.-практ. конф. «Структурна релаксація у твердих тілах». Рр. 168-169, Вінниця, 22 – 24 травня (2018). (Внесок дисертанта: аналіз поверхні руйнування композитних матеріалів).
5. **Сапронова А.В.,** Букетова Н.М., Лещенко О.В.: Дослідження впливу зернистих добавок на властивості епоксидних адгезивів. Матеріали Міжнародної наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій». р.68, Тернопіль, 22 – 24 травня (2018) (Внесок дисертанта: формування матеріалів та дослідження адгезійної міцності при відриві).
6. **Сапронова А.В.,** Лещенко О.В., Букетова Н.М., Стухляк Д.П., Вухерер Т.: Особливості впливу дисперсних добавок на властивості епоксидних захисних покриттів. Матеріали X-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». pp. 356-357, Херсон, 29 – 31 травня (2018). (Внесок дисертанта: формування матеріалів для дослідження адгезійної міцності композитів).



7. Браїло, М.В., **Якущенко, С.В.**, Сапронова, А.В., Букетова, Н.М., Соценко, В.В., Кобельник, О.С.: Дослідження впливу матилендіфенілдіізоціанату на теплофізичні властивості епокси-поліефірних композитів. Матеріали IV-ої Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні технології промислового комплексу: базові процесні інновації». р. 95., Херсон, 12–16 вересня (2018). (Внесок дисертанта: формування матеріалів для дослідження теплостійкості епоксидних композитів).
8. **Сапронова А.В.**, Букетова Н.М.: Дослідження фізико-механічних властивостей епоксидних композитів, наповнених частками прокатної залізної окалини. Матеріали всеукраїнської наукової конференції. Сучасні технології обробки матеріалів. р.29., Миколаїв, 1 – 2 листопада (2018) (Внесок дисертанта: проведення дослідження когезійної міцності епоксидних композитів).
9. **Сапронова А.В.**, Букетова Н.Н.: Исследование влияния антиагломерующей добавки на свойства эпоксидных композитов. Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики. Материалы междунар. науч. конф. pp.194-195, Караганда, 12-13 июня (2019). (Внесок дисертанта: проведення дослідження адгезійної міцності епоксидних композитів).
10. **Сапронова, А.В.**, Соценко, В.В., Антоніо, Б., Браїло, М.В., Якущенко, С.В.: Розроблення епоксидних композитів армованих дискретними волокнами для деталей водного транспорту. In: Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми». pp. 306–308., Миколаїв, 7-8 листопада (2019). (Внесок дисертанта: формування матеріалів для ІЧ-спектрального аналізу та аналіз отриманих результатів).
11. Соценко В.В., **Сапронова А.В.**: Відновлення деталей системи газотурбінного нагнітання полімерними матеріалами. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя. «Фундаментальні та прикладні

проблеми сучасних технологій». р.40, Тернопіль, 14–15 травня (2020). (Внесок дисертанта: аналіз результатів дослідження адгезійної міцності епоксикомпозитних матеріалів).

12.Сапронов О.О., Соценко В.В., Бертем А., **Сапронова А.В.**, Юренін К.Ю.: Полімерні матеріали для ремонту обладнання газовидобувної промисловості. Матеріали VI-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу – 2020». pp. 150-152, Херсон, 8 –12 вересня (2020). (Внесок дисертанта: формування матеріалів для проведення дослідження модуля пружності при згинанні та аналіз отриманих результатів).

13.Сапронов О.О., Соценко В.В., **Сапронова А.В.**, Бертем А.: Розробка модифікованих епоксикомпозитів для відновлення деталей водного транспорту. Міжнародна науково-практична конференція присвячена 100-річчю професора Драганова Бориса Харлампійовича «Проблеми сучасної теплоенергетики». pp. 58-60, Київ, 10-11 грудня (2020). (Внесок дисертанта: формування матеріалів для дослідження термічного коефіцієнту лінійного розширення та аналіз отриманих результатів).

14.Брайло М.В., **Сапронова А.В.**, Якущенко С.В., Сметанкін С.О., Бертем А.: Розроблення модифікованих полімерних матеріалів із підвищеною адгезійною міцністю. Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування». pp. 9-10, Луцьк, 25-28 травня (2021). (Внесок дисертанта: Обговорення результатів дослідження адгезійної міцності полімерних матеріалів).