

АНОТАЦІЯ

Кулініч А.Г. Розробка модифікованих полімерних композитів для ремонту транспортних засобів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – транспортні технології (за видами). Дисертацію виконано у Херсонській державній морській академії, Херсон. Подано на захист у Херсонську державну морську академію, Херсон, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-технічної задачі, яка полягає у підвищенні ресурсу роботи устаткування транспортних засобів за рахунок використання розроблених модифікованих полімерних композитів. Вирішення наукової задачі полягає в удосконаленні методу спрямованого і наперед заданого підвищення характеристик композитів за рахунок обґрунтованого керування процесами структуроутворення, що дозволяє збільшити міжремонтний період експлуатації захисних покриттів, призначених для ремонту засобів водного транспорту.

Актуальність даного напрямку досліджень зумовлена тим, що на сьогодні приділяють значну увагу напрямку створення нових технологій щодо розробки полімерних композитів, які можна широко застосовувати у виробництві і ремонті деталей та об'єктів у різних галузях промисловості, у тому числі й у водному транспорті. Інтенсивність обсягів перевезення вантажів, збільшення умов навантаження транспортних засобів, повсякчасна робота в умовах впливу агресивних середовищ висувають вимоги до покращення показників ресурсозбереження агрегатів транспортних засобів та скорочення термінів ремонтних робіт. У цьому контексті одними з перспективних, які б відповідали вимогам сучасної транспортної промисловості, є епоксидні композитні матеріали, які за своїми експлуатаційними характеристиками у більшості випадків є кращими порівняно з традиційними металами та сплавами. При цьому фізична модифікація епоксидних матеріалів дає змогу створювати композити із

заданим комплексом властивостей. Тому з метою створення нових епоксидних матеріалів з комплексом необхідних експлуатаційних характеристик, зниження вартості композитів, поліпшення технологічних властивостей, вирішення екологічних проблем у зв'язувач додатково вводять активні до міжфазової взаємодії модифікатори та наповнювачі різної природи за гомеопатичної кількості. Виходячи з цього, проведення досліджень у напрямку розробки нових епоксидних матеріалів для ремонту засобів транспорту є актуальною задачею сьогодення.

Метою роботи є збільшення ресурсу деталей транспортних засобів шляхом підвищення їх стійкості до спрацювання в умовах впливу гідроабразиву внаслідок використання захисних епоксидних покриттів із наперед заданими властивостями.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі наукові і практичні завдання:

1. Здійснити аналіз проблем сьогодення стосовно підвищення ресурсу роботи засобів транспорту і напрямків їх вирішення за рахунок застосування полімерних композитів та захисних покриттів на їх основі з підвищеною стійкістю до гідроабразивного спрацювання.

2. Підвищити ресурс деталей транспортних засобів внаслідок використання захисних покриттів, при формуванні яких встановлено закономірності впливу модифікатора 4-амінобензойної кислоти, мікродисперсних наповнювачів та дискретних волокон на властивості та структуру матеріалів.

3. Розробити математичну модель, яка враховує оптимізацію вмісту інгредієнтів при формуванні захисних покриттів функціонального призначення.

4. Встановити закономірності взаємозв'язку структури захисних покриттів з їх адгезійними, фізико-механічними, теплофізичними властивостями і стійкістю до гідроабразивного спрацювання за наявності модифікатора, мікродисперсних добавок та дискретних волокон.

5. Розробити рекомендації щодо технології формування і складу

модифікованих полімерних композитів з підвищеною гідроабразивною зносостійкістю для ремонту транспортних засобів.

При вирішенні завдань здобувачем вибрано об'єкт і предмет дослідження, застосовано новітні методики випробувань, а також теоретично обґрунтовано, узагальнено і описано отримані результати, сформульовано практичні рекомендації для впровадження розроблених матеріалів у виробництво.

Об'єктом дослідження є процеси збільшення ресурсу деталей транспортних засобів у результаті використання захисних покриттів з підвищеною гідроабразивною зносостійкістю. Предметом дослідження є показники властивостей захисного покриття, що містить модифікатор, мікродисперсні добавки і дискретні волокна.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Удосконалено метод збільшення міжремонтного періоду роботи транспортних засобів за рахунок використання модифікованих полімерних композитів з підвищеною стійкістю до дії гідроабразиву, формування яких передбачає обґрунтоване керування процесами структуроутворення за наявності активних до міжфазової взаємодії інгредієнтів.

2. Розроблено математичну модель, яка враховує оптимізацію вмісту інгредієнтів при формуванні захисних покриттів з підвищеною гідроабразивною зносостійкістю, а також нові закономірності підвищення ресурсу і експлуатаційних характеристик деталей транспортних засобів залежно від особливостей формування матеріалів.

3. Удосконалено технологію формування покриттів для деталей засобів водного транспорту, яка відрізняється від відомих можливістю спрямованого керування процесами взаємодії між компонентами епоксидного полімеру, що дозволяє підвищити ресурс роботи транспортних засобів і поліпшити гідроабразивну зносостійкість композитів.

Як основний компонент для зв'язувача при формуванні композитів вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Як

модифікатор використано 4-амінобензойну кислоту. Для полімеризації композицій використано твердник поліетиленполіамін (ТУ 6-05-241-202-78).

Для поліпшення властивостей епоксидних композитів у зв'язувач вводили мікродисперсні наповнювачі та дискретні волокна. Як мікродисперсний наповнювач для експериментальних досліджень використано синтезовану порошкову титано-алюмінієву суміш (Ti (70 %) + Al_3Ti (15 %) + Ti_3AlC_2 (15 %)) ($d = 15 \dots 18$ мкм), порошкову суміш (TiH_2 (65 %), FeSiMn (30 %), B_4C (5 %)) ($d = 63$ мкм), а також додатково у зв'язувач вводили дискретні вуглецеві волокна FC-H ($d = 9 \dots 11$ мкм, $l = 20 \dots 30$ мкм).

За результатами проведених експериментальних досліджень обґрунтована можливість підвищення ресурсу роботи устаткування засобів транспорту за рахунок використання у захисному покритті модифікатора 4-амінобензойної кислоти і доведено, що при введенні добавки у кількості $q = 0,1$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20 формується матеріал з такими показниками властивостей: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 41,8$ МПа; адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 8,2$ МПа; залишкові напруження – $\sigma_3 = 2,3$ МПа. Така модифікація забезпечує формування полімеру, який, порівняно з вихідною матрицею, характеризується вищими показниками адгезійної міцності при відриві (у 1,7 разів), а залишкові напруження зростають у 1,6 разів. Це вказує на ефективність введення у епоксидний олігомер синтезованого модифікатора для поліпшення властивостей полімерної матриці як основи при формуванні покриттів для відновлення транспортних засобів.

Розроблено математичну модель щодо оптимізації вмісту компонентів при формуванні захисних покриттів для ремонту засобів транспорту. Методом математичного планування експерименту встановлено оптимальний вміст дисперсного і волокнистого дискретного наповнювачів: порошкова титано-алюмінієва суміш – 0,3...0,5 мас.ч., дискретні вуглецеві волокна – 0,05 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Введення до епоксидного зв'язувача таких інгредієнтів дозволяє підвищити показники ударної в'язкості

епоксидних композитів від $W = 7,4$ кДж/м² (для епоксидної матриці) до $W = 22,8...23,2$ кДж/м². Отримані результати дозволяють створити матеріали з поліпшеними у комплексі показниками фізико-механічних властивостей. Розроблені композити доцільно використовувати у вигляді захисних покриттів для підвищення ресурсу експлуатації і ремонту деталей транспортної техніки.

Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності і ресурсу експлуатації суден водного транспорту за рахунок використання розробленого матеріалу на основі модифікованої 4-амінобензойною кислотою епоксидної матриці, наповненої активними дисперсними частками у вигляді синтезованої порошкової титано-алюмінієвої суміші (Ti (70 %) + Al₃Ti (15 %) + Ti₃AlC₂ (15 %)) ($d = 15...18$ мкм), порошкової суміші (TiH₂ (65 %), FeSiMn (30 %), B₄C (5 %)) ($d = 63$ мкм), а також дискретних вуглецевих волокон FC-H ($d = 9...11$ мкм, $l = 20...30$ мкм) за оптимального вмісту, який у 2,4...3,6 разів має кращі показники інтенсивності спрацювання в умовах дії гідроабразиву порівняно з відомими світовими аналогами. Це є свідченням необхідності використання розробленого покриття для підвищення гідроабразивної зносостійкості деталей водного транспорту, які експлуатують в умовах впливу механічних навантажень та підвищених температур.

Розроблений композитний матеріал, захисне покриття і технологію його формування та нанесення впроваджено в ТОВ «Судноремонтний завод» (м. Маріуполь), що дозволяє відмовитись від використання традиційних і відомих покриттів. При цьому застосування розробленого захисного покриття дозволяє: зменшити інтенсивність спрацювання до дії гідроабразиву деталей у 2,4...3,6 разів, а періодичність відновлення дефектних ділянок деталей у 2,0...2,5 разів.

Додатково розробки використовують в освітньому процесі Херсонської державної морської академії при підготовці магістрів та аспірантів.

Ключові слова: ресурс, модифікатор, наповнювач, стійкість до спрацювання, покриття, засоби транспорту.

ABSTRACT

Kulinich A.G. Development of modified polymer composites for the repair of vehicles. – Manuscript of qualifying scientific work.

Dissertation in support of candidature for a doctor of philosophy in specialty 275 Transport technologies (by types). The dissertation was prepared at the Kherson State Maritime Academy, Kherson. Filed for defence at the Kherson State Maritime Academy, Kherson, 2021.

The thesis is dedicated to the decision of a scientific and technical objective, which involves increasing of a resource of work of the equipment of vehicles use the developed modified polymeric composites. The solution of scientific objective is to improve the method of directed and pre-determined improving of the properties of composites due to sound management of structural processes, which allows to increase the service life of protective coatings intended for repair of water transport.

The relevance of this research area is specified by the fact that as for today significant attention is paid to the development of new technologies regarding polymeric composites which can be widely used in the manufacturing and repairing of details and its component in different branches of industry including water transport. Intensity of cargo transportation goods, increase of loading conditions of vehicles, constant work in the conditions of influence of aggressive environments put forward requirements to improvement of values of resource saving of units of vehicles and reduction of terms of repair work.

In this context, one of the most promising, which would meet the requirements of the modern transport industry, are epoxy composite materials, which in their performance characteristics in most cases are better than traditional metals and alloys. Thus, physical modification of epoxy materials allows to create composites with the set up properties. Therefore, in order to create new epoxy materials with set up performance characteristics, the composite cost reduction, technological properties improvement, and to solve environmental problems, modifiers and fillers of different nature in a homeopathic amount are added to the

binder in addition to the interphase interaction. Based on this, conducting research in the direction of new epoxy materials development for repairs of vehicles is an urgent task today.

The aim of the thesis is to increase the operational life of the vehicles component by increasing their resistance to wear under the influence of hydroabrasive due to the use of protective epoxy coatings with predetermined properties.

To achieve this aim it was necessary to solve the following scientific and practical tasks:

1. To analyze the problems of today in terms of increasing the service life of vehicles and ways for their solution due to use of polymer composites and protective coatings based on them with increased resistance to hydroabrasive wearing.

2. To increase the service life of vehicle parts due to the use of protective coatings, in the formation of which the patterns of influence of the modifier of 4-aminobenzoic acid, microdisperse fillers and discrete fibers on the properties and structure of materials were established.

3. To develop a mathematical model that takes into account the optimization of ingredient content in the formation of protective coatings for functional purposes.

4. To determine the regularities of interrelation of protective coating structure with their adhesion, physical and thermophysical properties and resistance to the hydroabrasive wearing in the presence of modifier, microdisperse additives and discrete fibers.

5. To develop recommendations on the technology of formation and composition of modified polymer composites with high water-abrasive wear resistance for vehicle repair.

In solving these tasks the object and the subject of research were selected by postgraduate student, the newest methods of examining were applied and obtained results were theoretically sound, generalized and described, practical

recommendations for the developed material implementation into manufacturing process were formulated.

The object of the research are processes of increasing of the service life of details of vehicles as a result of usage of protective coatings with improved hydroabrasive wearing. The subject of the research is the indicators of the properties of the protective coating which contain the modifier, microdisperse additives and discrete fibers.

Scientific novelty of the obtained results.

1. The method of increasing the service life of vehicles due to use of modified polymer composites with increased resistance to hydroabrasive, the formation of which involves sound management of structural processes in the presence of active to the interfacial interaction ingredients were improved.

2. A mathematical model that takes into account the optimization of the content of ingredients in the formation of protective coatings with high water-abrasive wear resistance, and new regularities of increasing the service life and operational characteristics of vehicles depending on the peculiarities of the formation of materials have been developed.

3. The technology of forming coatings for parts of water transport vehicles has been improved, which differs from the known ones by the possibility of directional control of interaction processes between epoxy polymer components, which allows to increase the service life of vehicles and improve hydroabrasive wear resistance of composites.

An epoxy diane oligomer ED-20 (GOST 10587-84) was chosen as the main component for the binder in the formation of composites. 4-aminobenzoic acid was used as a modifier. Polyethylene polyamine (TU 6-05-241-202-78) was used for polymerization of the compositions.

Microdisperse fillers and discrete fibers were introduced into the binder to improve the properties of the epoxy composites. As a microdisperse filler for experimental studies the synthesized powder titanium-aluminum mixture (Ti (70 %) + Al₃Ti (15 %) + Ti₃AlC₂ (15 %)) ($d = 15...18 \mu\text{m}$), powder mixture

(TiH₂ (65 %), FeSiMn (30%), B₄C (5%)) ($d = 63 \mu\text{m}$) were used, and additionally, discrete carbon fibers FC-H ($d = 9...11 \mu\text{m}$, $l = 20...30 \mu\text{m}$) were introduced into the binder.

Based on the results of experimental research, the possibility of increasing the service life of vehicle equipment through the use of 4-aminobenzoic acid modifier in the protective coating and proved that the introduction of the additive in the amount of $q = 0,1$ wt.pts. per 100 wt.pts. of ED-20 oligomer is formed material with the following properties: adhesive strength at break – $\sigma_a = 41,8$ MPa; shear strength – $\tau = 8,2$ MPa; residual stresses – $\sigma_r = 2,3$ MPa. This modification provides the formation of a polymer, which, compared with the original matrix, is characterized by higher adhesion strength at break (1,7 times), and residual stresses increase 1,6 times. This indicates the effectiveness of the introduction of the synthesized modifier into the epoxy oligomer to improve the properties of the polymer matrix as a basis for the formation of coatings for the restoration of vehicles.

A mathematical model for optimizing the content of components in the formation of protective coatings for vehicle repair has been developed. By the method of mathematical planning of the experiment the optimal content of dispersed and fibrous discrete fillers were determined: powder titanium-aluminum mixture – 0,3...0,5 wt.pts., discrete carbon fibers – 0,05 wt.pts. per 100 wt.pts. of the ED-20 epoxy oligomer. The introduction of such ingredients into the epoxy binder allows to increase the impact strength of epoxy composites from $W = 7,4 \text{ kJ/m}^2$ (for epoxy matrix) to $W = 22,8...23,2 \text{ kJ/m}^2$. The obtained results allow to create materials with improved in the complex indicators of physical and mechanical properties. The developed composites should be used in the form of protective coatings to increase the service life and repair of parts of transport equipment.

Recommendations for improving the efficiency and service life of water transport vessels were developed through the use of the developed material on the basis of modified 4-aminobenzoic acid epoxy matrix filled with active dispersed

particles in the form of synthesized powder titanium-aluminum mixture (Ti (70 %) + Al₃Ti (15 %) + Ti₃AlC₂ (15 %)) ($d = 15...18 \mu\text{m}$), powder mixture (TiH₂ (65%), FeSiMn (30%), B₄C (5%)) ($d = 63 \mu\text{m}$), and discrete carbon fibers FC -H ($d = 9...11 \mu\text{m}$, $l = 20...30 \mu\text{m}$) at the optimal content, which is 2,4...3,6 times better than the intensity of operation under the conditions of hydroabrasive compared to known world counterparts. This is evidence of the need to use the developed coating to increase the water-abrasive wear resistance of the parts of water transport that operate under the influence of mechanical loads and elevated temperatures.

Developed composite material, protective coating and the technology of their formation and application is implemented in the LLC «SRZ» (Mariupol), which allows you to avoid the use of traditional and well-known coatings. Thus application of the developed protective coating allows to reduce intensity of wearing to the action of a hydroabrasive of details in 2,4...3,6 times, and periodicity of restoration of defective sites of details in 2,0...2,5 times.

Additionally, the developments are used in the educational process at the Kherson State Maritime Academy in the preparation of masters and postgraduate students.

Key words: service life, modifier, filler, wear resistance, coating, vehicles.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Букетов, А.В., **Кулініч, А.Г.**, Гусєв, В.М., Сметанкін, С.О., Яцюк, В.М.: Вплив модифікатора 4-амінобензойної кислоти на фізико-механічні властивості епоксидних композитних матеріалів. Вісник ХНТУ. **2** (65), 19–26 (2018). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: формування матеріалів для дослідження фізико-механічних властивостей, проведення експерименту та аналіз результатів дослідження).
2. Букетов, А.В., **Кулініч, А.Г.**, Гусєв, В.М., Сметанкін, С.О., Яцюк, В.М.: Дослідження адгезійних властивостей модифікованих 4-амінобензойною кислотою полімерних композитних матеріалів. Наукові нотатки. **63**, 34–39 (2018). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: формування матеріалів для дослідження адгезійних властивостей і залишкових напружень, проведення експерименту та аналіз результатів дослідження).
3. Букетов, А.В., Гусєв, В.М., **Кулініч, А.Г.**, Якущенко, С.В., Житник Д.В.: Оптимізація вмісту інгредієнтів при формуванні захисних покриттів для підвищення ресурсу роботи транспортних засобів. Науковий вісник ХДМА. **2** (23), 58–67 (2020). *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: розроблення моделі методом математичного планування експерименту).

Статті у наукових фахових виданнях України,

які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Buketov, A.V., Smetankin, S.A., Akimov, A.V., **Kulinich, A.G.**: Epoxy composite modifications influence on the energy activation's of thermal destruction. *Funct. Mater.* **26**, 403–411 (2019). *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази даних Scopus та Web of Science (doi.org/10.15407/fm26.02.403)* (Внесок дисертанта: обговорення одержаних результатів дослідження).

Статті у наукових виданнях інших держав,

які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

1. 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: обговорення отриманих результатів).
2. Buketov, A.V., **Kulinich, A.G.**, Akimov, A.V., Smetankin, S.O., Gusev, V.N., Levkivskiy, R.N.: Research of activation energy of thermal breakdown of polymer composites modified by 4-aminobenzoic acid. Compos. Mech. Comput. Appl. An Int. J. **11**, 99–112 (2020). *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази даних Scopus та Web of Science (doi:10.1615/CompMechComputApplIntJ.2020030906)* (Внесок дисертанта: формування матеріалів для дослідження ефективної енергії активації, проведення експерименту та аналіз результатів дослідження).
3. 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. Compos. Mech. Comput. Appl. An Int. J. **11**, 113–127 (2020). *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази даних Scopus та Web of Science (doi:10.1615/CompMechComputApplIntJ.2020031192)* (Внесок дисертанта: обговорення отриманих результатів).

Тези наукових доповідей:

1. Букетов, А.В., Сапронова, А.В., Лещенко, О.В., **Кулініч, А.Г.**: Аналіз поверхні руйнування нанокompозитних матеріалів методом електронної мікроскопії. Матеріали VI-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Структурна релаксація у твердих тілах». pp. 168–169., Вінниця, 22-24

- травня (2018). (Внесок дисертанта: обговорення результатів досліджень).
2. Букетов, А.В., Сметанкин, С.А., **Кулинич, А.Г.**, Амелин, М.Ю.: Анализ процессов термической деструкции модифицированных эпоксикомпозитов. Матеріали VI-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Структурна релаксація у твердих тілах». pp. 170–172., Вінниця, 22-24 травня (2018). (Внесок дисертанта: обговорення результатів досліджень).
 3. Букетов, А.В., **Кулініч, А.Г.**, Сметанкін, С.О., Яцюк, В.М.: Дослідження енергії активації термічної деструкції полімерних композитів, модифікованих 4-амінобензойною кислотою (4-aminobenzoic acid). Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті) «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій». р. 32., Тернопіль, 22–24 травня (2018). (Внесок дисертанта: проведення експерименту, аналіз результатів дослідження ефективної енергії активації).
 4. Букетов, А.В., Сметанкин, С.А., Сапронов, А.А., Юренин, К.Ю., Кулинич, В.Г., **Кулинич, А.Г.**, Безбах, О.Н., Негруца, Р.Ю.: Исследование теплостойкости эпоксидных композитов, модифицированных 4,4-сульфонилбис(4,1-фенилен)бис(N, N – диэтилдитиокарбаматом). Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу: базові процесні інновації – 2018». р. 96., Херсон (2018). (Внесок дисертанта: обговорення результатів досліджень).
 5. Buketov, A., Smetankin, S., Sapronov, A., Yurenin, K., Kulinich, V., **Kulinich, A.**, Bezbakh, O., Negrutsa, R.: Development of modified epoxy nanocomposite coatings for restoring of transport vehicles. 10th International Conference: Advanced Materials and Technologies. pp. 74., Ninghai, China, 24–26 October (2018). (Внесок дисертанта: обговорення результатів досліджень).
 6. Букетов, А.В., **Кулініч, А.Г.**, Негруца, Р.Ю., Амелін, М.Ю., Безбах, О.М.: Вплив модифікатора на фізико-механічні властивості епоксидних композитів. Матеріали – Всеукраїнської наукової конференції «Сучасні технології обробки матеріалів». р. 28., Миколаїв, 1-2 листопада (2018).

(Внесок дисертанта: проведення експерименту, аналіз результатів дослідження фізико-механічні властивості епоксидних композитів).

7. **Кулинич, А., Гусев, В., Левковский, Р.:** Исследование адгезионных свойств модифицированных полимерных композитов. Материалы Международной научной конференции, приуроченной к 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Рамазанова Мурата Ибраевича «Теоретические и прикладные вопросы математики, механики и информатики». pp. 189–190., Караганда, 12–13 июня (2019). (Внесок дисертанта: проведення експерименту, аналіз результатів дослідження адгезійних властивостей модифікованих полімерних композитів).