

АНОТАЦІЯ

Житник Д.В. «Підвищення ресурсу роботи деталей засобів водного транспорту за рахунок використання модифікованих зносостійких покриттів». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – транспортні технології. 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 деталей засобів водного транспорту за умови застосування модифікованих зносостійких покриттів. Вирішення науково-технічної задачі полягає у встановленні закономірностей взаємозв'язку процесів структуроутворення, які регулюють введенням активних до взаємодії інгредієнтів за оптимального вмісту, з показниками експлуатаційних характеристик матеріалів, що дозволило збільшити ресурсу роботи деталей засобів водного транспорту.

Актуальність даного напрямку досліджень зумовлена тим, що засоби водного транспорту додатково піддаються дії як агресивних середовищ (річкова та морська вода; атмосферні ефекти, що передбачають зміну тиску, вологості, а також вплив газо- чи гідроабразиву; статичні та динамічні ударні навантаження), так і знакозмінних чи циклічних температур. Наведені фактори у комплексі призводять до передчасного старіння матеріалів, що передбачає інтенсивне зниження показників їхніх характеристик і, як наслідок, вихід із ладу деталей технологічного устаткування.

Перспективним і достатньо ефективним способом збільшення ресурсу роботи деталей засобів транспорту є використання захисних полімерних композитів на епоксидній основі. На сьогодні цього досягають, вводячи у епоксидний зв'язувач модифікатори і дисперсні або дискретні волокнисті наповнювачі за оптимального вмісту. З одного боку це дозволяє підвищити показники міцності матеріалів (шляхом введення дисперсних добавок), а з

іншого боку – поліпшується пластичність композитів (у результаті наявності у гетерогенних системах модифікаторів та дискретних волокон). Такий підхід у напрямку прогнозованого введення активних до міжфазової взаємодії добавок забезпечує синергетичний ефект у покращенні у комплексі властивостей полімерних композитів, у тому числі й гідроабразивної зносостійкості, що у подальшому нівелює передчасне старіння матеріалів. Це, у свою чергу, забезпечує збільшення міжремонтного ресурсу роботи засобів водного транспорту.

Мета роботи – підвищити ресурс роботи деталей засобів водного транспорту за рахунок збільшення їх гідроабразивної зносостійкості у результаті застосування гетерогенних полімеркомпозитних покриттів зі встановленими закономірностями структуроутворення і прогнозованими властивостями.

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

1. Проаналізувати стан питання щодо методів підвищення ресурсу роботи деталей засобів водного транспорту, у тому числі й за рахунок використання полімерних зносостійких покриттів

2. Встановити закономірності впливу активних до міжфазової взаємодії добавок у вигляді модифікатора та дисперсних і волокнистих наповнювачів на покращення експлуатаційних характеристик адгезивів, призначених для відновлення засобів транспорту.

3. Розробити математичну модель, використання якої забезпечуватиме формування захисних покриттів з підвищеними показниками гідроабразивної зносостійкості для відновлення деталей засобів транспорту, із врахуванням закономірностей впливу інгредієнтів на властивості композитів.

4. Обґрунтувати механізм структуроутворення гетерогенних полімерних матеріалів за наявності дисперсного і дискретного волокнистого наповнювача, а також встановити закономірності їх впливу на активацію процесів зшивання та властивості покриттів для транспортної галузі.

5. Розробити рекомендації щодо модернізації технології формування при відновленні транспортних засобів захисних модифікованих покриттів з наперед заданою структурою та властивостями, у тому числі й гідроабразивною зносостійкістю.

При вирішенні завдань здобувачем вибрано об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є процеси збільшення міжремонтного періоду роботи транспортних засобів у результаті удосконалення методу підвищення експлуатаційних характеристик деталей шляхом використання модифікованих полімерних композитів з підвищеною стійкістю до дії гідроабразиву. Предметом дослідження є структура і властивості модифікованих гетерогенних зносостійких покриттів

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено спосіб підвищення ресурсу роботи деталей засобів водного транспорту, що полягає у встановленні закономірностей взаємозв'язку процесів структуроутворення, які регулюють введенням активних до взаємодії інгредієнтів за оптимального вмісту, з показниками зносостійкості полімерних покриттів.

2. Розроблено математичну модель, використання якої забезпечує формування захисних покриттів з підвищеними показниками гідроабразивної зносостійкості для відновлення деталей засобів транспорту, із врахуванням закономірностей впливу інгредієнтів на властивості композитів, де критерієм оптимізації вибрано ударну в'язкість.

3. Розроблено рекомендації щодо модернізації технології формування захисних покриттів, яка відрізняється від відомих можливістю регулювання просторової структурної сітки і, як наслідок, когезійної міцності композитів за рахунок врахування природи фізичних та хімічних зв'язків між інгредієнтами гетерогенних систем.

Формували епоксидні композиції на основі епоксидного олігомеру марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). У вигляді модифікатора використано

малеїновий ангідрид. Для полімеризації епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін (ТУ 6-05-241-202-78).

Для поліпшення властивостей епоксидних композитів у зв'язувач вводили мікродисперсний та дискретний волокнистий наповнювачі. Як мікродисперсний наповнювач використано синтезований карбідний титано-алюмінієвий порошок ($d = 10 \dots 12$ мкм), а у вигляді волокнистого – суміш дискретних волокон, яка містить у комплексі наступні інгредієнти, %: бавовна – 60; віскоза – 20; поліамід – 10; еластан – 10. Розміри дискретних волокон: $l = 1,2 \dots 1,5$ мм, $d = 28 \dots 33$ мкм.

За результатами проведених експериментальних досліджень доведено доцільність підвищення ресурсу роботи деталей засобів транспорту за умови застосування при формуванні полімерної матриці модифікатора малеїнового ангідриду і встановлено, що при створенні композитів з поліпшеними адгезійними і фізико-механічними властивостями необхідно формувати композицію наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), твердник поліетиленполіамін ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.), модифікатор малеїновий ангідрид ($q = 0,25$ мас.ч.). Формування такого матеріалу забезпечує порівняно з вихідною епоксидною матрицею підвищення наступних показників властивостей композитів: адгезійної міцності при відриві у 1,3 разів (від $\sigma_a = 24,8$ МПа до $\sigma_a = 31,1$ МПа); руйнівних напружень при згинанні у 2,4 разів (від $\sigma_{32} = 48,0$ МПа до $\sigma_{32} = 117,3$ МПа); ударної в'язкості у 1,9 разів (від $W = 7,4$ кДж/м² до $W = 13,7$ кДж/м²). Отриманий композит доцільно використовувати у вигляді матриці при розробленні одно- чи багат шарових захисних покриттів різного функціонального призначення.

Встановлено закономірності попередження старіння деталей водного транспорту за рахунок використання захисних покриттів, що містять синтезований мікродисперсний карбідного титано-алюмінієвий порошок ($d = 10 \dots 12$ мкм). Доведено, що формування композитів за такого вмісту часток забезпечує у 1,5...1,8 разів підвищення показників руйнівних

напружень при згинанні та ударної в'язкості розроблених матеріалів. Це зумовлено взаємодією активних центрів на поверхні часток, таких як Ti , Al_3Ti та Ti_3AlC_2 , з епоксидними, гідроксильними, карбонільними та карбоксильними групами епоксидного зв'язувача. Як наслідок активуються процеси міжфазової взаємодії, що покращує властивості епоксикомпозитів.

Розроблено математичну модель, внаслідок чого встановлено оптимальний вміст модифікатора і синтезованого мікродисперсного наповнювача: модифікатор малеїновий ангідрид – 0,3...0,5 мас.ч., карбідний титано-алюмінієвий порошок – 0,5...1,0 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 до $W = 15,8...16,8$ кДж/м². Отримані матеріали доцільно використовувати у вигляді захисних покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик деталей устаткування і відновлення засобів транспорту.

Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності і ресурсу експлуатації суден річкового та морського транспорту. При цьому проводили дослідження складу, структури, властивостей, технології формування і нанесення на поверхні засобів водного транспорту модифікованих зносостійких полімерних захисних покриттів. На прикладі показників суховантажу m/v «Unity Force» встановлено підвищення експлуатаційних характеристик і збільшення ресурсу роботи деталей та агрегатів. Крім того, впровадження розроблених зносостійких полімерних захисних покриттів і технологічного процесу їх формування на деталі водного транспорту в умовах впливу гідроабразивних агресивних середовищ дозволяє підвищити механічні властивості покриттів у 1,3...1,5 разів, а гідроабразивну зносостійкість покриттів у 1,4...1,6 разів.

Ключові слова: експлуатація, модифікатор, наповнювач, зносостійкість, покриття, засоби транспорту, устаткування.

ABSTRACT

Zhytnyk D.V. «The method of river and sea transport equipment's service life's increasing through the usage of modified protective anti-corrosion coatings».

– Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation in support of candidate for a doctor of philosophy technical degree on a specialty 275 – transport technologies. Dissertation was completed in Kherson State Maritime Academy, Kherson. Filed for defense at the Kherson State Maritime Academy, Kherson, 2021.

The dissertation work is devoted to the decision of a scientific and technical problem which consists in river and sea transport equipment's service life's increasing through the usage of modified protective anti-corrosion coatings. The solution of the scientific and technical problem is to establish patterns of interconnection of structural processes, which regulate the introduction of active ingredients for interaction with optimal content, with performance indicators of materials, which increased the service life of water transport parts.

The relevance of this area of research is due to the fact that water transport vehicles are additionally exposed to aggressive environments (river and sea water; atmospheric effects involving changes in pressure, humidity, and exposure to gas or hydroabrasive; static and dynamic shock loads) and alternating or cyclic temperatures. The given factors in a complex lead to premature aging of materials that provides intensive decrease in indicators of their characteristics and, as a result, failure of details of the technological equipment.

A promising and quite effective way to increase the service life of vehicle parts is the use of protective polymer composites based on epoxy. Today, this is achieved by introducing modifiers and dispersed or discrete fibrous fillers at the optimum content into the epoxy binder. On the one hand, this allows to increase the strength of materials (by introducing dispersed additives), and on the other hand - improves the plasticity of composites (as a result of the presence in heterogeneous systems of modifiers and discrete fibers). This approach in the

direction of the predicted introduction of active to interfacial interaction additives provides a synergistic effect in improving the complex properties of polymer composites, including hydroabrasive wear resistance, which further eliminates premature aging of materials. This, in turn, provides an increase in the service life of water vehicles.

The purpose of the work is to increase the service life of parts of water transport vehicles by increasing their hydroabrasive wear resistance as a result of the use of heterogeneous polymer composite coatings with established patterns of structure formation and predicted properties.

To achieve this goal it was necessary to solve the following scientific and practical problems.

1. To analyze the state of the issue on methods of increasing the service life of parts of water transport vehicles, including through the use of polymer wear-resistant coatings.

2. To establish patterns of influence of additives active before interfacial interaction in the form of modifier and dispersed and fibrous fillers on improvement of operational characteristics of the adhesives intended for restoration of vehicles.

3. To develop a mathematical model, the use of which will provide the formation of protective coatings with high rates of hydroabrasive wear resistance to restore parts of vehicles, taking into account the patterns of influence of ingredients on the properties of composites.

4. To substantiate the mechanism of structure formation of heterogeneous polymeric materials in the presence of dispersed and discrete fibrous filler, as well as to establish the patterns of their influence on the activation of crosslinking processes and the properties of coatings for the transport industry.

5. To develop recommendations on modernization of technology of formation at restoration of vehicles of protective modified coverings with in advance set structure and properties, including hydroabrasive wear resistance.

When solving problems, the applicant selects the object and subject of research. The object of the study is the process of increasing the service life of vehicles as a result of improving the method of improving the performance of parts through the use of modified polymer composites with increased resistance to hydroabrasive. The subject of research is the structure and properties of modified heterogeneous wear-resistant coatings.

Scientific novelty of the obtained results.

1. A method of increasing the service life of parts of water transport, which is to establish patterns of interconnection of structural processes, which regulate the introduction of active ingredients for interaction at the optimal content, with indicators of wear resistance of polymer coatings.

2. A mathematical model has been developed, the use of which provides the formation of protective coatings with high rates of hydroabrasive wear resistance to restore vehicle parts, taking into account the patterns of influence of ingredients on the properties of composites, where the optimization criterion is chosen toughness.

3. Recommendations have been developed to modernize the technology of forming protective coatings, which differs from the known ones by the possibility of regulating the spatial structural grid and, as a consequence, the cohesive strength of composites by taking into account the nature of physical and chemical bonds between heterogeneous systems.

Epoxy compositions based on epoxy oligomer brand ED-20 (GOST 10587-84) were formed. Maleic anhydride was used as a modifier. For the polymerization of epoxy compositions used hardener polyethylene polyamine (TU 6-05-241-202-78).

Microdisperse and discrete fibrous fillers were introduced into the binder to improve the properties of the epoxy composites. The synthesized carbide titanium-aluminum powder ($d = 10...12 \mu\text{m}$) was used as a microdisperse filler, and a mixture of discrete fibers containing the following ingredients in the complex was

used as a fibrous filler, %: cotton - 60; viscose - 20; polyamide - 10; elastane - 10. Dimensions of discrete fibers: $l = 1.2 \dots 1.5$ mm, $d = 28 \dots 33$ μm .

According to the results of experimental studies proved the feasibility of increasing the service life of vehicle parts when used in the formation of the polymer matrix of the modifier maleic anhydride and found that when creating composites with improved adhesive and physico-mechanical properties it is necessary to form a composition of the following composition: epoxy oligomer ($q = 100$ wt.h.), hardener polyethylene polyamine PEPA ($q = 10$ wt.h.), modifier maleic anhydride ($q = 0.25$ wt.h.). The formation of such material provides in comparison with the initial epoxy matrix increase of the following indicators of properties of composites: adhesive strength at separation in 1.3 times (from $\sigma = 24,8$ MPa to $\sigma = 31,1$ MPa); destructive stresses during bending 2.4 times (from $\sigma = 48.0$ MPa to $\sigma = 117.3$ MPa); impact strength 1.9 times (from $W = 7.4$ kJ/m² to $W = 13.7$ kJ/m²). The obtained composite should be used in the form of a matrix in the development of single or multilayer protective coatings for various functional purposes.

Regularities of prevention of aging of details of water transport due to use of the protective coverings containing the synthesized microdisperse carbide titanium-aluminum powder ($d = 10 \dots 12$ mc) are established. It is proved that the formation of composites with such a content of particles provides a 1.5...1.8-fold increase in the destructive stresses in bending and toughness of the developed materials. This is due to the interaction of active centers on the surface of the particles, such as Ti, Al₃Ti and Ti₃AlC₂, with the epoxy, hydroxyl, carbonyl and carboxyl groups of the epoxy binder. As a result, the processes of interphase interaction are activated, which improves the properties of epoxy composites.

A mathematical model was developed, as a result of which the optimal content of modifier and synthesized microdisperse filler was established: modifier maleic anhydride - 0.3...0.5 wt.h., carbide titanium-aluminum powder - 0.5...1.0 wt.h. per 100 parts by weight epoxy oligomer ED-20. The introduction of such ingredients into the epoxy binder allows to increase the impact strength of epoxy

composites to $W = 15.8 \dots 16.8 \text{ kJ/m}^2$. The obtained materials should be used in the form of protective coatings to improve the performance of equipment parts and the restoration of vehicles.

Recommendations for improving the efficiency and service life of river and sea transport vessels have been developed. The composition, structure, properties, technology of formation and application of modified wear-resistant polymeric protective coatings on the surface of water transport vehicles were studied. On the example of m / v «Unity Force» the increase of operational characteristics and service life of details and units is established. In addition, the introduction of the developed wear-resistant polymer protective coatings and the technological process of their formation on the details of water transport under the influence of waterjet aggressive media allows to increase the mechanical properties of coatings 1.3...1.5 times, and waterjet wear resistance of coatings 1.4...1.6 times.

Keywords: service, modifier, filler, durability, coating, transport vehicles, equipment.

СПИСОК СПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у базі даних Scopus та WoS:

1. Buketov A. Optimization of ingredients for two-layer epoxy coating for protection of sea and river vehicles / A.Buketov, S.Yakushchenko, T.Cherniavska, D.Zhytnyk, N.Buketova, T.Ivchenko, I.Fesenko, R.Negrutsa // Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making: 2020 International Scientific Conference «Intellectual Systems of Decision-making and Problems of Computational Intelligence» // Springer, Cham, 2020. - PP. 612-626. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3>. (Внесок дисертанта: розроблення моделі методом математичного планування експерименту).

2. Buketov A. Optimization of ingredients upon development of the protective polymeric composite coatings for the river and sea transport / A.Buketov, S.Yakushchenko, Abdellah Menou, O.Bezbakh, R.Vrublevskyi, Y.Kalba, T.Cherniavska, D.Zhytnyk, O.Danylyuk // Mechanical Engineering in Transport. 2021. N 2. B89-B96. Available online: <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.B89-B96>. (Внесок дисертанта: проведення досліджень щодо оптимізації інгредієнтів покриття за параметрами механічних характеристик).

Статті у фахових журналах та збірниках:

1. Buketov A.V. Corrosion resistance of epoxy composite coatings for the transport industry in aggressive environments / A.V. Buketov, O.M. Bezbakh, N.M. Buketova, T.I. Ivchenko, D.V. Zhytnyk, K.M. Klevtsov // Journal of Hydrocarbon Power Engineering. – 2020. – Vol. 7, Issue 1. – P. 26-30. *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar*. (Внесок дисертанта: дослідження руйнівних напружень при згинанні епоксидних композитів, аналіз результатів експерименту).

2. Букетов А.В. Оптимізація вмісту інгредієнтів при захисних покриттях для підвищення ресурсу роботи транспортних засобів / А.В. Букетов, В.М. Гусєв, А.Г. Кулініч, С.В. Якущенко, Д.В. Житник // Науковий вісник

ХДМА. – 2020. – № 2, Т. 23. – С. 59-68. *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: проведення досліджень ударної в'язкості композитів, аналіз результатів експерименту).

3. Житник Д.В. Вплив малеїнового ангідриду на адгезійні та механічні властивості епоксидної матриці для захисту деталей транспортних засобів / Д.В. Житник, В.М. Гусєв, А.В. Букетов, В.Г. Кулініч, В.М. Яцюк // Науковий вісник ХДМА. – 2021. – № 1, Т. 24. – С. 69-79. *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.* (Внесок дисертанта: проведення досліджень адгезійних та механічних характеристик композитів).

4. Zhytnyk D. Method of operational life increase of transport means parts due to the use of coatings based on epoxy matrix modified by maleinic anhydride with improved thermal-physical properties / D. Zhytnyk // Вісник ТНТУ. – 2021. - № 2. – С. 140-146. *Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar.*

Статті у збірниках матеріалів і тез конференцій:

1. Букетова Н.М. Захисні епоксидні покриття функціонального призначення / Н.М. Букетова, Д.В. Житник, В.Г. Кулініч // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», (Тернопіль 14-15 травня 2020 року). – Тернопіль: ТНТУ, 2020. - С. 17. (Внесок дисертанта: проведення досліджень механічних характеристик композитів).

2. Чернявська Т. В. Дослідження впливу синтезованої шихти на адгезійні властивості епоксидних покриттів для деталей транспортних машин / Т.В. Чернявська, Д.В. Житник // Матеріали VI-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу – 2020», випуск 6, (Херсон 8-12 вересня 2020 року). – Херсон: ХНТУ, 2020. – С. 161. (Внесок дисертанта: проведення досліджень залишкових напружень у композитах).

3. Букетов А.В. Корозійна стійкість полімерних композитних покриттів у

агресивних середовищах // А.В. Букетов, Т.В. Чернявська, Д.В. Житник, М.В. Танська // Матеріали міжнародної наукової конференції «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України», (Тернопіль 28-30 вересня 2020 року). – Тернопіль: ТНТУ, 2020. - С. 54-55. (Внесок дисертанта: приготування зразків та обговорення результатів випробувань).

4. Букетова Н.М. Антикоровізне покриття для засобів транспорту / Н.М. Букетова, Д.В. Житник, Ю. Хайбин, Й. Янутенене // Матеріали XII-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», MINTT - 2020 (Херсон: ХДМА, 27-29 травня 2020 року). – С. 221-222. (2020). Внесок дисертанта: приготування зразків та обговорення результатів випробувань).

5. Гусев В.М. Математична модель оптимізації інгредієнтів при створенні захисних покриттів для засобів транспорту / В.М. Гусев, В.Г. Кулініч, Д.В. Житник, К.Ю. Юренін, Н.М. Букетова // Матеріали VIII-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження», (Луцьк 25-28 травня 2021 року). – Луцьк: ЛНТУ, 2021. – С. 23-24. (Внесок дисертанта: проведення випробувань та участь у розробленні математичної моделі).

6. Букетов А.В. Відновлення засобів транспорту полімерними покриттями з поліпшеними механічними властивостями / А.В. Букетов, Д.В. Житник, Л.В. Селіфонова, Н.П. Вибач, О.М. Безбах // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», MINTT - 2021 (Херсон: ХДМА, 26-28 травня 2021 року). – С. 213-214. (Внесок дисертанта: оптимізація складу покриттів за механічними характеристиками).

7. Житник Д.В. Модифікований епоксидний композит з підвищеними адгезійними характеристиками для ремонту транспортних засобів / Д.В. Житник, М.В. Танська, Т.Г. Пуськова, О.М. Безбах // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», MINTT - 2021 (Херсон: ХДМА, 26-28 травня 2021 року). – С.

273-274. (Внесок дисертанта: проведення випробувань адгезійної міцності та залишкових напружень у композитах).

8. Букетов А.В. Математична модель оптимізації вмісту інгредієнтів при створенні покриттів для транспортних засобів // А.В. Букетов, Д.В. Житник М.В. Танська, К.А. Бабій // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу – 2021» (Херсон, 7 вересня 2021 року). – Херсон: ХНТУ, 2021. С. 162 с. (Внесок дисертанта: впровадження математичної моделі щодо оптимізації вмісту компонентів у композитах).

9. Букетов А.В. Вплив малеїнового ангідриду на механічні властивості епоксидної матриці для захисту деталей транспортних засобів / А.В. Букетов, Д.В. Житник, Л.В. Селіфонова, Н.Є. Субботіна, Т.Г. Пуськова, Н.П. Вибач // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу – 2021» (Херсон, 7 вересня 2021 року). – Херсон: ХНТУ, 2021. С. 163-164. (Внесок дисертанта: обговорення результатів дослідження руйнівних напружень та модуля пружності епоксидних композитів).