**Краткая информация о проекте грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2021-2023 годы:**

**«Разработка отечественной технологии получения радиопрозрачного высокопрочного композита для корпусов военных беспилотных летательных аппаратов и аэрокосмической техники»**

|  |  |
| --- | --- |
| Цель | Разработка отечественной технологии получения органопластика на основе арамидных тканей с главными характеристиками: диэлектрическая проницаемость ≤ 4 прочность на растяжение ≥ 700 МПа, прочность на сжатие ≥ 200 МПа, прочность на изгиб ≥ 300 МПа, ударная вязкость ≥ 250 кДж/м2.  |
| Актуальность | Одним из перспективных робототехнических комплексов военного назначения на сегодняшний день являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Многофункциональный комплекс на основе БПЛА способно решать основные задачи, как контроль местности и объектов, проведение видео-, фото- съемки, транспортировка и сброс малогабаритных грузов в заданную точку. Предназначение и применение военных БПЛА отличаются от гражданских, исходя из двух функций: разведывательное назначение и является носителем боевого заряда. Специфика военных БПЛА заключается в их невидимости для радаров противника и обеспечения устойчивой приемопередачи информации с командным пунктом. Для этих целей, в первую очередь, материал БПЛА должен обладать свойствами радиопрозрачности. Этим требованиям полно отвечает среди композиционных полимерных материалов (ПКМ) органопластик. |
| Ожидаемые результаты | Экспериментально будет отработан способ получения органопластика с эффективными компонентами с характеристиками: прочность на растяжение до 700 МПа, прочность на сжатие до 200 МПа изгиб до 300 МПа. |
| Полученные результаты | В первом полугодии 2023 г. проведена оптимизация характеристик прочности органопластика. Ранее были достигнуты результаты по прочности на растяжение 710 МПа, прочность на сжатие 260 МПа, прочность на изгиб 418 Мпа и ударная вязкость 475 кДж/м2. В целях оптимизации характеристик прочности органопластика применены следующие технологические операции:1. Смешивание модификатора. При добавлении пластификатора ТКФ в эпоксидную смолу применена дополнительная обработка с помощью магнитной мешалки MSH-300 в течение 30 мин с скоростью 1200 об/мин. для обеспечения равномерного распределения пластификатора в эпоксидной смоле.
2. Метод вакуумной инфузии с допольнительным прессованием. Давление прессования 5 Н/см2, что позволяет удалять воздушные пузыри, образовавшихся при вакуумной инфузии.
3. Термообработка. Термообработка проведена с помощью муфельного печа SNOL при 1000С при 60 мин. Данная операция позволяет изменить структуру и свойства материала, а также помочь улучшить конечную прочность образца.
4. Комбинированное армирование. В качестве комбинированного армирования использована ткань сверхвысокомолекулярный политэтилен (СВМПЭ) марки UHMWPE 200D, данное армирование позволяет значительно улучшить прочностных характеристик органопластика. Новые нити на основе СВМПЭ обладают высокой прочностью и низкой плотностью. Кроме того, материалы на основе таких нитей отличаются малым влагопоглощением, благодаря чему снижается риск обледенения беспилотных аппаратов и последующего растрескивания их корпусов. Композиционные материалы с нитями из СВМПЭ более устойчивы к вибрациям, ударам и воздействию различных химических веществ. Ткань СВМПЭ армирована в соотношении 50% от массы арамидная ткань/ арамидный ровинг.

Результаты механических характеристик органопластика при введении 10% пластификатора трикрезилфосфат в эпоксидную смолу и комбинированном армировании тканью СВМПЭ в соотношениях 50:50% от массы арамидной ткани/однонаправленного арамидной ткани показали небольшое снижение прочностных характеристик органопластика. Достигнуты прочностные показатели органопластика на растяжение 706 МПа, прочность на 251 МПа, прочность на изгиб 426 МПа и ударная вязкость 491 кДж/м2. Данное явление связано с тем, что прочность самого СВМПЭ на 20% меньше чем прочность арамидной ткани.Для оптимизации радиопрозрачности материала рекомендуется минимизировать наличие воздушных пузырей, обеспечивая тщательную обработку и устранение возможных пузырьков в процессе изготовления и использования материала. Воздушыне пузыри могут вызывать отражение или рассеяние радиоволн, что приводит к потере прозрачности.Для снижения воздушных пузырей [использован](https://www.google.com/search?q=%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0+%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F&spell=1&sa=X&ved=2ahUKEwir3f69rqT_AhXTYPEDHZsyCMYQkeECKAB6BAgIEAE) груз с допольнительным прессованием (5 Н/см2). Применение дополнительной термообработки позволяет структурную однородность. Неравномерное нагревание или охлаждение может привести к появлению различных областей с разной структурой и составом, что может отразиться на радиопрозрачности материала.Комбинированное армирование с тканью СВМПЭ позволяет повысить радиопрозрачность органопластика. Одной из важных особенностей ткани СВМПЭ является его радиопрозрачность в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне, так как он имеет диэлектрические потери порядка 10−4. В частности, перспективно использование СВМПЭ при создании радиопрозрачных укрытий, защищающих радиолокационную аппаратуру от климатических и внешних воздействий (ударов, агрессивных сред).Для измерения значения диэлектрической проницаемости (ε) и радиопрозрачности образцов органопластика изготовлены образцы 50 мм × 70 мм и формат А3 (297 мм x 420 мм) соответственно.По результатам экспериментов получено снижение потери мощности от 0,851 дБ до 0,201 дБ в диапазоне 1÷4 ГГц, а в диапазоне 4÷6 ГГц от 1,45 дБ до 0,314 дБ. Снижение диэлектрической проницаемости от $ε$=2,825 до $ε$=2,331.Таким образом, органопластик при комбинированном армировании тканью СВМПЭ в соотношениях 50:50% от массы арамидной ткани / однонаправленного арамидной тканью и эпоксидной смолой, модифицированной с ТКФ показал радиопрозачность 94,3% (определено по справочнику по радиотехнике Г.Гинкина 1948 г. стр. 360-362 <http://ra6foo.qrz.ru/decibel.html>), что означает наилучшую пропускание радиоволны в диапазоне 1-6 ГГц. В этом диапазоне наиболее распространённые БПЛА используют для приема-передачи видеосигналов. Данное явление связано с применением оптимальных технологических операций и применением радиопрозрачного материала СВМПЭ с диэлектрической проницаемостью $ε$=2,1. |
| Члены исследовательской группы с идентификаторами (Scopus ID, Researcher ID, ORCID) и ссылками на их профили | 1. Ермаханова А.М., PhD <https://orcid.org/>0000-0002-2145-51222. Кенжегулов А.К. PhD https://orcid.org/0000-0001-7001-2654, Scopus ID: 57210622996, WoS ID: AAD-1637-2020, https://scholar.google.ru/citations?user=umeQ\_s4AAAAJ&hl=ru3. Мейрбеков М.Н. магистр <https://orcid.org/0000-0003-0434-9114>, Scopus ID: 57218282617, WoS ID: AAR-8975-20214. Байсериков Б.М**.** магистр |
| Список публикации и патентов | 1. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б. Влияние углеродных наночастиц на механические свойства эпоксидной смолы//Труды международных сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана» – Алматы: КазНИТУ 2016, т.2, С. 582-587.2. M.B. Ismailov, А.M. Yermakhanova. Carbon nanoparticles influence on mechanical properties of epoxide resin and carbon composite // Complex Use of Mineral Resources – Almaty, 2016. № 4. P.63-73. DOI: https://doi.org/10.31643/2018/1664453. Ермаханова А.М. Углеродные наночастицы. Эффективное влияние на прочностные свойства эпоксидной смолы и углепластика//Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» – Алматы: КазНУ имени аль-Фараби. 2017. С.286.4. Исмаилов М.Б., Забережный С.А., Ермаханова А.М. Разработка отечественных технологий производства углепластика и изделий из него//IV Международный семинар на тему «Современные космические технологии: опыт и перспективы» Астана, 21-22 ноября 2016.5. М.B. Ismailov, А.M. Yermakhanova. Characterization of the epoxy resin and carbon fiber reinforced plastic stress-strain state by modified carbon nanotubes// Eurasian Chemico-Technological Journal, 2018,V.2, №2, p.137-145. DOI: <https://doi.org/10.18321/ectj698>6. М.B. Ismailov, А.M. Yermakhanova. About the Mechanism of Stress-strain State of Epoxy Resin by Carbon Nanotubes//The 2017 International Conference on Energy and Development and environmental protection, Shanghai, 8-10th September, 2017, p.106-111.7. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б. Влияние углеродных нанотрубок на процесс отверждения и прочность эпоксидной смолы// Комплексное использование минерального сырья – Алматы, 2018. № 4, С.105-115. DOI: https://doi.org/10.31643/2018/6445.368. Исмаилов М.Б., Мейірбеков М.Н., Магомедов Р.М., Алпысбай И.М., Байсериков Б.М., Ермаханова А.М., Мустафа Л.М. Способ получения углепластика космического назначения. Патент на полезную модель №2017/0632.2, бюл. - №25.9. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б. Влияние углеродных нанотрубок на стадийность напряженно-деформированного состояния эпоксидной смолы//Материалы Международной практической интернет-конференции «Актуальные проблемы науки», 22 ноября 2018 г.10. Ермаханова А.М., Исмаилов М.Б., Нелюб В.А. Влияние углеродных нанотрубок на упруго-прочностные свойства углепластика// X International Symposium “THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF CARBON MATERIALS AND NANOENERGETIC MATERIALS" September 12-14, 2018 Almaty, Kazakhstan. 11. Mustafa L.M., Ismailov M.B., Yermakhanova A.M. The Effect of Carbon Fabrics Modification on the Strength of Carbon Fiber Reinforced Plastic// Complex Use of Mineral Resources, № 2 (309), 2019, p.68-75.12. Мустафа Л.М., Исмаилов М.Б., Ермаханова А.М., Санин А.Ф. Исследование влияния пластификаторов и термопластов на механические свойства эпоксидной смолы и углепластика. (Обзор)//Комплексное использование минерального сырья.-Алматы, Институт металлургии и обогащения, 2019, № 4 (311), с.48-56. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.37>.13. Мустафа Л.М., Исмаилов М.Б. Исследование методов модификации углеродной ткани с целью увеличения прочностных свойств углепластика. // Каз ҰЗУ Хабаршысы – Vestnik KazNRTU, 2019, №5 (135), с.72-75. 14. Мустафа Л.М., Исмаилов М.Б Исследование влияния пластификаторов на прочность и ударную вязкость углепластика//Международная научно-практическая конференция «Наука и инновации: новости, проблемы и достижения» 2-том - 29-30 апреля 2020 -Алматы. 15. Мейрбеков М.Н., Исмаилов М.Б. Влияние каучука на механические свойства эпоксидной смолы и углепластика//Complex Use of Mineral Resources, № 1 (312), 2020, p.11-21. DOI: 10.31643/2020/6445.02.16. Meiirbekov M.N., Ismailov M.B., Manko T.A. The effect of the modification of an epoxy resin by liquid oligomers on the physical-mechanical properties of composites // Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. – 2020. – Vol.3. – P. 122-127. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-130-3-122-127.17. Смағұлова Г.М., Мейірбеков М.Н., Исмаилов М.Б., Аблакатов И.К. Эпоксид шайырын сұйық олигомерімен модификациялауды жүргізу. Международная научная конференция студентов и молодых ученых, «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». Алматы. – 2019. – С. 172.18. Забережный С.А., Исмаилов М.Б., Байсериков Б.М. Технология получения углепластиковых пластин. // Комплексное использование минерального сырья / Алматы, №3, 2016 – С.74-77.19. Забережный С.А., Исмаилов М.Б., Байсериков Б.М. Исследование технологии получения углепластиковых пластин. В кн.: “The Physics Chemistry of Carbon Materials/Nanoengineering” and Conference “Nanoenergetic Materials and Nanoenergetics”, Алматы, 2016. - С.179-182.20. Yermakhanova AM, Sanin A.F., Meiirbekov MN, Baiserikov BM. Investigation of dielectric and strength properties of organoplastics. Review. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources. 2022;322(3):89-102. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.33>21. Yermakhanova AM, Baiserikov BM, Kenzhegulov AK, Meiirbekov MN, Zhumadilov BY. Study on methods to improve the mechanical properties of aramid/epoxy composites. Journal of Elastomers & Plastics. 2023; 55 (2):331-346. doi:[10.1177/00952443221147645](https://doi.org/10.1177/00952443221147645)22. Yermakhanova А., Kenzhegulov А., Meiirbekov М., Samsonenko А. Baiserikov, B. Study of radio transparency and dielectric permittivity of glass- and aramid epoxy composites // Eurasian phys. tech. j. – 2023. [Vol. 20 № 2(44)](https://phtj.buketov.edu.kz/index.php/EPTJ/issue/view/18). – P. 70-78. |