



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 520.6.07

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.024



ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Владислав Викторович Соловьев ¹, Максим Андреевич Аревкин ²,
Александра Дмитриевна Рычкова ³, Валерия Павловна Березовская ⁴

^{1, 2, 3}, Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия

⁴ Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

¹ soloviev.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0139-7903>

² maksim.arevkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1096-1473>

³ sam_28_02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6124-4690>

⁴ berez_vp@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8360-2312>

Аннотация. В статье представлены результаты оценки возможностей применения современных композиционных материалов в космических летательных аппаратах. В качестве объекта исследования были выбраны образцы углепластика, полученные различными способами формования, а также образцы из эпоксидных смол и эпоксидного компаунда с разными соотношениями отвердителя. Основной задачей исследования было – оценить свойства этих материалов и их пригодность для использования в космических аппаратах. В результате исследования было выявлено, что композиты на основе эпоксидных смол и компаунда обладают оптимальными характеристиками. Было установлено, что различные методы формования углепластиковых композитов оказывают влияние на их структуру и свойства. Эти результаты подтверждают потенциал использования современных композиционных материалов в разработке космических летательных аппаратов и указывают на необходимость дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: композиционные материалы, углепластик, эпоксидные смолы, эпоксидный компаунд, космические летательные аппараты, физико-механические свойства, структура материала.

Для цитирования: Соловьев В. В., Аревкин М. А., Рычкова А. Д., Березовская В. П. Оценка механических свойств углепластиков // Ползуновский вестник. 2025. № 2, С. 157–162. doi: 10.25712/ASTU. 2072-8921.2025.02.024. EDN: <https://elibrary.ru/MLFICF>.

Original article

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS

Vladislav Viktorovich Solovyov ¹, Maxim Andreevich Arevkin ²,
Alexandra Dmitrievna Rychkova ³, Valeria Pavlovna Berezovskaya ⁴

^{1, 2, 3, 4} Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

⁴ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

¹ orpd_sta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-0000>

² arevkin.ma@amursu.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1096-1473>

³ sam_28_02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6124-4690>

⁴ berez_vp@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8360-2312>

Abstract. This article presents the results of evaluating the potential applications of modern composite materials in aerospace vehicles. Samples of carbon fiber-reinforced plastic obtained through various forming methods, as well as samples made from epoxy resins and epoxy compounds with different hardener ratios, were chosen as the objects of study. The main objective of the research was to assess the properties of these materials and their suitability for use in aerospace vehicles. The study revealed that composites based on epoxy resins and compounds exhibit optimal characteristics. Additionally, it was discovered that various forming methods for carbon fiber-reinforced composites influence their structure and properties. These findings confirm the potential of using modern composite materials in the development of aerospace vehicles and highlight the need for further research in this field.

Keywords: composite materials, carbon fiber-reinforced plastic, epoxy resins, epoxy compound, aerospace vehicles, physico-mechanical properties, material structure.

For citation: Solovyov, V. V., Arevkin, M. A., Rychkova, A. D. & Berezovskaya, V. P. (2025). Evaluation of mechanical properties of carbon fiber reinforced plastics. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 157-162. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.024. EDN: <https://elibrary.ru/MLFICF>.

© Соловьев В. В., Аревкин М. А., Рычкова А. Д., Березовская В. П., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современного производства и промышленности невозможно без использования полимерных композиционных материалов. При создании различных видов техники, машин и оборудования требуются новые материалы, получаемые путем соединения разнородных веществ, свойства которых должны обладать повышенными количественными и качественными характеристиками.

Актуальность использования композиционных материалов в промышленности, в том числе и при производстве космических летательных аппаратов (КЛА), остро стоит в современном мире. КЛА эксплуатируются в экстремальных условиях с повышенными значениями температур и нагрузок, что приводит к созданию и использованию высокопрочных и термостойких композиционных материалов.

Одним из ключевых параметров космических летательных аппаратов является вес. Снижение веса космических летательных аппаратов может позволить увеличить массу полезной нагрузки. Существенно снизить вес позволяет использование композиционных материалов, отличающихся высокими прочностными характеристиками и низкой плотностью. Поиску решения проблем посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых. Сабадаха Е.Н. [1] считает, что использование композиционных материалов в производстве космической и авиационной техники позволяет сэкономить от 5 до 30 % веса летательного аппарата. Авторы Пересыпкин К.В. [2], Колдажная И.Н. [3] предлагают варианты снижения веса КЛА за счет внедрения композиционных материалов при изготовлении сухих отсеков ракет-носителей и криогенных топливных баков с использованием конструкции оболочек, усиленных гофрированными листами, а также комбинирование вспененного алюминия с углепластиком для повышения прочности при минимальном весе.

Как отмечает Власенко В.А. [4] и его коллеги, активное использование композитов наблюдается в проектах НАСА, где их применяют при создании обтекателей, криогенных резервуаров, узлов двигательных установок и т.д. Для эксплуатации в условиях сверхзвуковых скоростей и экстремальных температурных нагрузок в ракетно-космической технике предпочтение отдается материалам с углеродным армированием. В качестве связующих компонентов в таких композитах, как углепластики, основой служит эпоксидная матрица, а для структур с углеродной матрицей ключевым компонентом становятся карбоновые волокна, обеспечивающие термостойкость и механическую стабильность.

Храменкова Д.Н. и Арискина Д.Н. [5] отметили возможность использования композитных материалов на основе оксидных соединений переходных металлов, которые рекомендуются для создания каталитических систем в реакциях окисления углеводородов и катодных компонентов химических источников энергии.

В работе Штокал А.О., Рыкова Е.В., Добросовестнова К.В. [7] выявлено, что в узлах раскрытия работающих под нагрузкой космических аппаратов недопустимо применять детали из алюминиевого сплава АМг6 с МДО-покрытием для предотвращения сварки контактирующих поверхностей.

Композиционные материалы используются не только при производстве космических аппаратов и его узлов. Помимо этого, они находят применение и при функционировании стартового комплекса.

В работах Козлова В.В. [8] и Загруднинова Ю.А.

[9] приведен анализ перспектив внедрения композиционных материалов при функционировании стартового комплекса с целью повышения их эксплуатационной надежности и уменьшения рисков в процессе запуска аппарата.

Работа под руководством Каботовой Н.С. [10] сосредоточена на разработке гибридных композитов системы «металл–углерод», включающих различные формы углерода: многослойные углеродные нанотрубки, технический углерод, а также углерод-углеродный композиционный материал Сибунит – и металлов (Ag, Ni, Co). Авторы детально изучают их физико-химические параметры и каталитическую активность. Классификация композиционных материалов по признакам, морфологии фаз приведена в работе Рогова В.А. [11].

Анализ опыта применения композиционных материалов в различных отраслях и сферах деятельности показал, что космическая и авиационная техника сталкиваются с экстремальными условиями эксплуатации, такими как высокий вакуум, радиационная нагрузка и широкий диапазон температур с резкими перепадами, то для обеспечения эффективной работы в таких условиях, материалы, используемые в изготовлении, должны быть исключительно прочными и при этом легкими. Применение композитных материалов для конструкций и оборудования позволяет значительно снизить их вес, сохраняя при этом необходимые прочностные характеристики. Среди различных композитных материалов углепластики являются наиболее подходящими в настоящее время по прочности и жесткости. Углепластики состоят из углеродных волокон, которые обеспечивают высокую прочность и жесткость, и полимерной матрицы, которая обеспечивает сцепление и защиту волокон. Этот материал характеризуется отличной удельной прочностью и удельной жесткостью, что позволяет снизить вес конструкций и оборудования без ущерба для их надежности и функциональности. Использование углепластиков в космической и авиационной технике имеет ряд преимуществ. Данные материалы обладают высокой стойкостью к коррозии, что особенно важно в условиях высокого вакуума и агрессивных сред. Углепластики имеют высокие диэлектрические свойства, позволяющие работать при воздействии радиации. Дополнительно углепластиковые композиты могут быть легко формованы в различные сложные формы, обеспечивая гибкость в проектировании и адаптации к специфическим требованиям каждого конкретного приложения [12].

В настоящее время при производстве композиционных материалов используются различные классы связующих компонентов: полиэфирные, винилэфирные, эпоксидные, бисмалеимидные и полиимидные. Данные связующие, прежде всего, отличаются друг от друга прочностными характеристиками и температурой эксплуатации. В условиях космоса, где диапазон перепадов температур достигает 200 °С, наиболее оптимальным вариантом для изготовления углепластика является использование эпоксидных связующих, так как они сохраняют свои свойства даже в космическом пространстве.

В современном производстве композиционных материалов применяются разнообразные виды связующих компонентов: полиэфирных, винилэфирных, эпоксидных, бисмалеимидных и полиимидных. Ключевые различия между ними заключаются в механической прочности и термостойкости, которые, в свою очередь, определяют пределы их эксплуатационных температур. В космических условиях, характеризую-

щиеся экстремальными перепадами до 200 °С, эпоксидные связующие демонстрируют наибольшую эффективность при создании углепластиков, так как они способны сохранять структурную стабильность и свойства при различных условиях. Это обуславливает рост потребности в исследовании деформационного поведения композитных материалов на основе эпоксидной смолы в общих условиях нагружения [13].

Целью исследования является оптимизация состава матриц и получение композитных материалов, устойчивых к механическим воздействиям и эксплуатационным нагрузкам, с последующей оценкой возможности их применения в космических летательных аппаратах.

Объектом исследования определены образцы углепластика, полученные различными способами формирования, образцы из эпоксидных смол и эпоксидного компаунда с разными соотношениями отвердителя.

МЕТОДЫ

Исследование проводилось с использованием методов определения предельной прочности при сжатии и растяжении. В ходе эксперимента образцы смол и компаундов были распределены на три группы: первая включала смолу ЭД-20 с отвердителем ПЭПА в соотношениях от 5 до 30 %, вторая – эпоксидный компаунд Этал Карбон-257У Light с отвердителем (пропорции 10–35 %), третья – смолу ЭД-16 и ПЭПА (5–25 %). Объем смолы варьировался в диапазоне 25–300 мл.

Для проведения испытаний на прочность при сжатии образцов эпоксидных смол ЭД-16, ЭД-20 и компаунда Этал Карбон-257У Light применялась испытательная машина ИП 6011-500-1. Предварительно образцы обрабатывались, проверялись на отсутствие сколов и трещин, а также проводилась оценка качества поверхности готового образца. Для проведения испытания замерялись геометрические параметры образцов, такие как диаметр образца d и его высота h . На подвижную траверсу монтировалось испытательное устройство для анализа сжатия. Образец размещался на нижней плите, центрирован был относительно оси, с сохранением промежутка между верхней плитой и поверхностью образца в 5–10 мм. Перед началом тестирования выполнялась калибровка машины ИП 6011-500-1 путем сброса начальных значений. Далее нагрузка на образец постепенно увеличивалась, вызывая деформацию, после чего отмечалось максимальное значение усилия, зафиксированное в момент его разрушения. Все последующие образцы тестировались по аналогичной методике. Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ определялся как отношение разрушающей нагрузки к площади поперечного сечения образца.

Для испытаний на растяжение полученных композитных материалов были подготовлены образцы с длиной 175 мм и шириной 25 мм. Во время испытаний образцов № 1, 2, 3, 4, 5, 6 использовалась испытательная машина Instron 8802. Образцы композитных материалов подвергаются испытаниям на растяжение с помощью специализированных испытательных машин согласно ГОСТ 56785-2015 [14]. Методика испытаний предполагает растяжение образца полимерного композита (ПКМ) с постоянной скоростью приложения нагрузки или деформации до момента разрушения. На подготовительном этапе для каждого образца выполнялись замеры толщины и ширины рабочих участков в трёх точках, после чего учитывалось минимальное полученное значение. Эксперименты осуществлялись в лабораторных условиях при температуре +24 °С и влажности 52 %. Образцы подвергались одноосному растяжению до потери целостности.

Корреляция между удлинением Δl и приложенной силой F автоматически фиксировалась диаграммой системы испытательной машины, формируя кривую зависимости $F = f(\Delta l)$. На последующем этапе по полученной диаграмме определялось начало координат, предел текучести и прочности, на основе которых рассчитывались механические параметры материала. Для исключения зависимости характеристик от геометрии образца (исходной площади сечения A_0 и длины l_0) сила F нормировалась с преобразованием в механическое напряжение $\sigma = F/A_0$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе были приготовлены углепластиковые композиты с помощью разнообразных методов формирования и образцы из эпоксидных смол и эпоксидного компаунда с различными соотношениями отвердителя.

Исследование свойств смолы ЭД-20 позволило сформулировать следующие выводы. При введении 5 % отвердителя ПЭПА процесс полимеризации не происходил в течение нескольких суток из-за недостаточности этой концентрации для завершения реакции. Увеличение содержания отвердителя до рекомендуемых 10 % обеспечило прочность материала на уровне 43,9 МПа, что подтверждает эффективность данного соотношения. Дальнейшее повышение доли отвердителя до 15 % привело к росту прочности – до 68,62 МПа, указывая на положительное влияние концентрации на механические характеристики. Однако при достижении 20 % наблюдался эффект саморазогрева смолы и изменение цвета образцов в результате структурных изменений. Исходя из полученных данных, оптимальным для производства композитов был выбран состав с 15 % отвердителя, сочетающий высокую прочность и стабильность полимеризации.

Анализ эпоксидного компаунда Этал Карбон-257У Light выявил следующие закономерности. При концентрации отвердителя 10–15 % материал не достигал требуемой степени затвердевания, подтверждая недостаточность этих пропорций. Использование 20 % отвердителя обеспечило прочность 91,99 МПа, а повышение до 25 % дало прирост до 99,61 МПа. При увеличении доли до 30 % зафиксировано снижение прочности до 72,42 МПа, вероятно, связанное с нарушением баланса компонентов. Последующий рост концентрации сопровождался вторичным увеличением прочности до 112,19 МПа, обусловленным тепловым эффектом. Для промышленного применения рекомендован состав с 25 % отвердителя, обеспечивающий стабильную полимеризацию и максимальную прочность.

Работа с эпоксидной смолой ЭД-16 была ограничена ее высокой вязкостью. При 5 % отвердителя ПЭПА материал становился слишком густым для равномерного перемешивания, поэтому было использовано 10 % отвердителя для обеспечения рабочей консистенции и прочности на сжатие 148,51 МПа. Увеличение содержания до 15 % привело к снижению прочностных характеристик, тогда как увеличение доли концентрации отвердителя восстанавливал показатели, сопровождаемая эффектом саморазогрева. Для практического применения рекомендован состав с 10 % отвердителя, сочетающий оптимальную вязкость и механическую устойчивость.

В таблице 1 приведены данные испытаний на растяжение и геометрические параметры полученных образцов углепластика.

Группа образцов № 1 демонстрирует среднее значение максимального напряжения при растяжении

величиной 301,3 МПа, а образец 1.1 имеет лучшие прочностные характеристики среди своей группы. Единственный образец группы № 2 показал прочность при растяжении, равной 399,51 МПа. Оценка параметров группы № 3 выявила усредненное значение предела прочности при растяжении, равное 480,4 МПа. Среди этой группы образец 3.3 показывает оптимальные показатели прочности. В группе образцов № 4 было получено среднее значение прочности при растяжении 495,9 МПа, при этом максимальные прочностные свойства зафиксированы у образца 4.1. Прочность при растяжении группы образцов № 5 по усред-

ненному показателю составила 436,7 МПа. Из группы образцов № 6 наилучшая прочность была у образца 6.1, а среднее значение составило 62,1 МПа.

Автоматический модуль Юнга (АМЮ) в гигапаскалях (ГПа) показывает, насколько материал жесткий или упругий, данный параметр указывает на способность материала сопротивляться деформации под воздействием внешних сил: чем выше значение модуля Юнга в ГПа, тем жестче и менее деформируем материал (рисунок 1). Образец № 6 обладает самым низким модулем Юнга и легко деформируется, тогда как наиболее жестким и упругим является образец № 4.

Таблица 1 – Результаты испытаний на растяжение полученных композитных материалов

Table 1 – Results of Tensile Tests of the Obtained Composite Materials

Образец	Скорость, мм/мин	Толщина, мм	Ширина, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Максимальное напряжение при растяжении, МПа	Максимальная нагрузка, Н	Автоматический модуль Юнга, ГПа
Группа образцов 1: углеродная ткань саржевого переплетения 2/2 (12К, 1000, 400), связующее ЭД-20 с отвердителем ПЭПА, метод ручной укладки							
1.1	2,00	1,71	25,04	42,56	325,23	13838,32	21,77
1.2	2,00	1,77	25,81	45,42	263,54	11967,17	18,72
1.3	2,00	1,76	25,06	44,08	315,13	13893,08	20,53
Среднее	2,00	1,75	25,28	44,03	301,31	13232,87	20,33
Группа образцов 2: углеткань саржа 2/2 (12К, 1000, 400), эпоксидный компаунд Этал Карбон-257У Light, ручная технология формования							
2.1	2,00	1,82	16,35	29,59	399,52	11815,68	26,07
Среднее	2,00	1,82	16,35	29,59	399,52	11815,68	26,07
Группа образцов 3: углеродное полотно саржевого типа 2/2 (12К, 1000, 400), смола ЭД-20, отвердитель ПЭПА, вакуумное формование							
3.1	2,00	2,08	25,06	52,36	456,40	23887,32	28,98
3.2	2,00	2,19	25,71	56,04	487,20	27292,22	29,64
3.3	2,00	1,98	25,11	49,46	497,90	24616,22	29,88
Среднее	2,00	2,09	25,29	52,62	480,50	25265,25	29,52
Группа образцов 4: углеткань саржа 2/2 (12К, 1000, 400), эпоксидный состав Этал Карбон-257У Light, вакуумное формование							
4.1	2,00	1,65	25,00	41,25	602,80	24869,53	35,41
4.2	2,00	1,66	24,97	41,44	486,20	20139,13	37,65
4.3	2,00	1,69	25,03	42,27	398,50	16852,70	45,96
Среднее	2,00	1,67	24,98	41,74	495,80	20693,92	39,60
Группа образцов 5: углеродная ткань саржевого переплетения 2/2 (12К, 1000, 400), компаунд Этал Карбон-257У Light, вакуумная инфузия							
5.1	2,00	2,08	25,02	51,78	512,19	26526,85	28,28
5.2	2,00	2,10	25,31	53,14	450,01	23908,51	29,05
5.3	2,00	2,09	24,90	52,05	347,89	18104,73	29,72
Среднее	2,00	2,09	25,08	52,41	436,69	22883,07	29,02
Группа образцов 6: углеткань саржа 2/2 (3К, 1000, 200), смола ЭД-16 с отвердителем ПЭПА, вакуумное формование							
6.1	2,00	4,82	24,95	120,55	44,89	5413,15	8,03
6.2	2,00	4,30	25,05	108,01	33,41	3607,21	6,23
6.3	2,00	4,61	25,04	115,65	107,89	12477,57	13,77
Среднее	2,00	4,58	25,03	114,85	62,09	7131,57	9,35



Рисунок 1 – Диаграмма распределения значений автоматического модуля Юнга

Figure 1 – Diagram of Young's Modulus Distribution Values

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье были описаны результаты проведенных экспериментов и анализ полученных результатов в ходе их проведения, дана оценка использования современных композиционных материалов в космических аппаратах. Анализ результатов показал, что использование композиционных материалов, углепластиков, в КЛА является перспективным и эффективным. Образцы из эпоксидных смол и эпоксидного компаунда с правильным соотношением отвердителя обладали высокой прочностью и устойчивостью к воздействию внешних факторов. Образцы углепластиковых композитов, полученных различными методами формования, показали различные свойства, что может быть использовано для оптимизации конструкции и повышения производительности космических летательных аппаратов.

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что вакуумное формование представляет собой универсальный подход к изготовлению композитных образцов. Визуальный осмотр выявил однородную поверхность с минимумом структурных дефектов и выраженным глянцевым блеском. Механические испытания подтвердили, что данный метод обеспечивает максимальные прочностные показатели в сравнении с испытываемыми методами.

В результате исследования двух марок эпоксидных смол и одного эпоксидного компаунда с различным содержанием отвердителя определены рациональные пропорции связующего и отвердителя. Экспериментально установлены следующие соотношения: для смолы ЭД-20 – 85 % основы и 15 % отвердителя ПЭПА; для компаунда Этап Карбон-257У – 75 % смолы и 25 % отвердителя Этап-45; для смолы ЭД-16 – 90 % смолы и 10 % отвердителя.

При сравнительной оценке свойств материалов было выявлено, что смола ЭД-16 не подходит для производства углепластиков с любым плетением ткани из-за высокой вязкости, которая не позволяет обеспечивать равномерную пропитку углеткани всех типов плетения. Смола ЭД-20 совместима с двумя из трех технологий формования, проявляя высокие физико-механические характеристики. Однако использование этой смолы ограничено технологическими особенностями. Эпоксидный компаунд Этап Карбон-257У Light сочетает высокую текучесть, малое количество дефектов структуры и максимальные прочностные параметры при достаточно низкой стоимости, что делает его предпочтительным и универсальным для промышленного применения в сравнении с остальными связующими. Наряду с компаундом, смола ЭД-20 может рассматриваться как альтернатива, но с использованием меньших способов выкладки.

Из-за низкой электропроводности и достаточно высокого предела прочности данные углепластики подойдут для использования в различных сенсорах и антеннах малых КЛА (типа CubeSat), работающих на низких околоземных орбитах, так как они способствуют устранению электромагнитных помех и поддержанию электромагнитной совместимости. В некоторых случаях за счет теплоизоляционных свойств полученные углепластики можно применять при защите космических аппаратов от нагрева, а также для создания обтекателей и топливных баков. Кроме того, произведенные композитные материалы могут быть использованы для обеспечения точности работы оптических и электронных систем на борту КЛА. Практическое применение подобных углепластиковых композитов позволит производить более легкие, прочные и эффективные конструкции КЛА. Это, в свою очередь, способствует снижению экономических затрат и повышению количества успешных космических миссий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Термостабильные композиционные материалы / Е.Н. Сабадаха, Н.Р. Прокопчук, А.Л. Шутова, А.И. Глоба // Труды БГТУ, серия 2.2017. № 2. С. 108–117. УДК 678.6.

2. Проектирование конструкции сухого отсека ракеты-носителя из композиционных материалов в виде оболочки, подкрепленной гофрированным листом / К.В. Пересыпкин, А.А. Старкова, Ю.Е. Галкина // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета. 2020. № 1(16). С. 28–34. EDN ULLKBR.

3. Колодяжная И.Н., Сгибнева И.В. Перспективные сочетания материалов криогенных топливных баков ракет-носителей // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 6(120). С. 31–34. EDN PVUFMO.

4. Применение перспективных композиционных материалов для проектирования ракетно-космической техники / А.В. Власенко, В.В. Скрыбин ; научный руководитель М.Д. Евтифьев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики 2016. Том 1. Красноярск : Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева., 2016. С. 7173. УДК 629.78.

5. Храменкова А.В., Арискина Д.Н. Исследование композиционных оксидных материалов на углеволоконном носителе методами х-гау и XPS спектроскопии // Электрохимия органических соединений. ЭХОС-2018: Тезисы докладов XIX Всероссийского совещания с международным участием, Новочеркасск, 03–06 октября 2018 года / Под общей редакцией А.Г. Крвенко, В.А. Курмаза. Новочеркасск : "НОК", 2018. С. 162–163. EDN VTAODC.

6. Пути повышения надёжности работы узлов раскрытия космических аппаратов с отложенным срабатыванием / А.О. Штокал, Е.В. Рыков, К.Б. Добросовестнов [и др.] // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 4(38). С. 60–67. EDN ZTSMHN.

7. Пути повышения надёжности работы узлов раскрытия космических аппаратов с отложенным срабатыванием / А.О. Штокал, Е.В. Рыков, К.Б. Добросовестнов [и др.] // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 4(38). С. 60–67. EDN ZTSMHN.

8. Решение задачи снижения деструктивного воздействия на элементы пускового устройства и стартового сооружения при старте ракеты-носителя / В.В. Козлов, А.В. Лагун, А.Д. Сыров // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2021. № 679. С. 221–231. EDN UVAKPI.

9. Способ оценивания теплового воздействия на железобетонные конструкции при аварийном возгорании компонентов ракетного топлива / Ю.А. Загруднинов, А.В. Казимиров, С.А. Мачнев // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 663. С. 86–89. EDN ZDYNZB.

10. Физико-химические свойства и каталитическая активность композиционных материалов "металл-углеродный носитель" / Н.С. Коботаева, Т.С. Скороходова, Г.И. Раздьяконова, О.Х. Полещук // Журнал физической химии. 2017. Т. 91. № 7. С. 1124–1131. DOI: 10.7868/S0044453717070184. EDN YULQHL.

11. Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении / В.А. Рогов, М.И. Шкарупа, А.К. Велис // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2012. № 2. С. 41–49. УДК 621.43.068.5.

12. Российские физики провели испытания радиационной стойкости отечественных композитных материалов для космических летательных аппаратов // Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН. URL : <https://academcity.org/content/ugleplastik-dlya-kosmosa> (дата обращения: 11.07.2023).

13. Космос как задача. Из чего и как делают

обшивку головной части российских ракет-носителей / Левин Д. // N+1: URL: <https://nplus1.ru/material/2020/06/03/spaceships-composite-materials>. (дата обращения: 11.07.2023).

14. ГОСТ 56785-2015. Композиты полимерные. Метод испытания на растяжение плоских образцов.

Информация об авторах

В. В. Соловьев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Стартовые и технические ракетные комплексы», Амурский государственный университет.

М. А. Ареков – старший преподаватель кафедры «Стартовые и технические ракетные комплексы», Амурский государственный университет.

А. Д. Рычкова – студент кафедры «Стартовые и технические ракетные комплексы», Амурский государственный университет.

В. П. Березовская – студент кафедры «Стартовые и технические ракетные комплексы», Амурский государственный университет.

Information about the authors

V.V. Solovyov - is a candidate of technical sciences, associate professor at the Department of Launch and Technical Rocket Complexes, Amur State University.

M.A. Arevkov - is a senior lecturer at the Department of Launch and Technical Rocket Complexes, Amur State University.

A.D. Rychkova - is a student at the Department of Launch and Technical Rocket Complexes, Amur State University.

V.P. Berezovskaya - is a student at the Department of Launch and Technical Rocket Complexes, Amur State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 06 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 мая 2025; принята к публикации 26 мая 2025.

The article was received by the editorial board on 06 May 2024; approved after editing on 20 May 2025; accepted for publication on 26 May 2025.