

УДК 678.86

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-2-13-20

Р.А. Нестеренко, А.Г. Магдин, Д.В. Кудрявцев, Д.К. Жанзакова

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОСОВЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Проведен выбор материала для изготовления носового обтекателя воздушного судна, удовлетворяющего требованиям радиопрозрачности, прочности и теплостойкости. Рассмотрены преимущества весовых и прочностных характеристик композиционных материалов над характеристиками традиционных материалов, применяемых в авиастроении, структура и способ производства стеклокерамических композиционных материалов и композицион-

ных материалов на основе клеевых препрегов. Проведено сравнение двух типов композиционных материалов по свойствам радиотехнического назначения, таким как: диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь, а также по критерию плотности, прочности и теплостойкости.

Ключевые слова: радиопрозрачные композиционные материалы, стеклокерамика, клеевые препреги, стеклопластики, носовой обтекатель.

R.A. Nesterenko, A.G. Magdin, D.V. Kudryavtsev, D.K. Zhanzakova

COMPOSITE USE IN NOSE CONE DESIGNING FOR AIRCRAFTS

The purpose of the work presented in the paper consists in the choice of radio-transparent material that can withstand loads influencing a nose cone of an aircraft during a flight.

In the paper there is solved a problem which consists in comparing the characteristics of different materials used in aircraft industry both common materials and composites and in the choice of the most efficient field of materials that meet the requirements of radio-transparency, strength and heat-resistance. The investigation work is carried out by means of the collection, processing and analysis of data obtained through an experimental way and containing information on strength characteristics, radio-transparency characteristics, on the range of operation temperatures, density and rigidity of each kind of material analyzed.

On the basis of the investigation results a field of application of the materials under consideration is

offered: in accordance with physical characteristics of composites analyzed the most efficient solution will be the application of glass-ceramic composites for manufacturing radio-transparent nose cones exposed to strong temperature changes during short periods of time caused by super-sonic speed achieved during flights and glass-ceramics, but glass-plastic having lower density and heat-resistance – for manufacturing nose cones of sub-sonic planes which are not subjected to such high thermal loads, at that it was defined that aircraft steels and composites based on metal matrix are not suitable for manufacturing nose cones in view of their high density and low radio-transparency.

Key words: radio-transparent composites, glass-ceramics, adhesive pre-pregs, glass-plastic, nose cone.

Введение

Снижение массы конструкции воздушного судна является одной из основных задач, решению которой авиаконструкторы посвящают большое количество времени. Использование композиционных материалов при проектировании летательных аппаратов может существенно уменьшить массу конструкции летательного аппарата, увеличив массу полезной нагрузки и снизив расход топлива. Достигается такой эффект при легкости композиционных материалов в сравнении с традиционными

авиационными материалами, такими как алюминиевые сплавы Д16, АК6, АМГ6, АЛ9 и другие [1]. Однако, если при проектировании, механизации крыла (закрылков или интерцепторов), элементов оперения, пилона или мотогондолы допускается использование как традиционных металлических авиационных материалов, так и композитных, то при проектировании носового обтекателя летательного аппарата необходимо учитывать, что материал, из которого обтекатель будет изготовлен, должен

быть радиопрозрачным, а, следовательно, традиционные металлические сплавы для этой цели не подходят. В связи с этим актуальным является вопрос подбора проч-

ного и радиопрозрачного материала, подходящего для изготовления носового обтекателя летательного аппарата.

Композиционные материалы, используемые при проектировании носовых обтекателей. Преимущества композиционных материалов перед традиционными.

В современной авиационной промышленности все больший процент от массы конструкции летательного аппарата

занимают именно композиционные материалы (рис. 1).

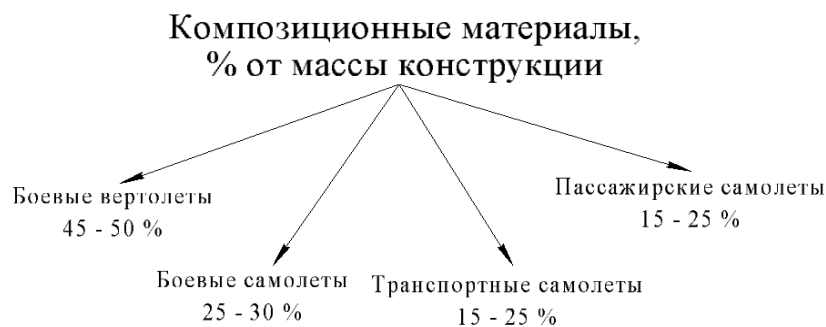


Рис. 1. Использование композитов в современном авиационном строительстве

Композиционные материалы все чаще используются при изготовлении планера самолета, обусловлено это тем, что традиционные конструкционные материалы на металлической основе заметно уступают им по прочностным и весовым показателям. Экспериментальные данные показывают, что использование композитов позволяет уменьшить вес планера летательного аппарата на 30-40 %, резерв веса, полученный путем применения новейших композиционных материалов, используют для увеличения полезной нагрузки, переносимой летательным аппаратом, либо для увеличения дальности полета [2].

Структурно композиционный материал – это материал, который состоит из матрицы, скрепляющей армирующий элемент, такой материал является однородным в макромасштабе, но неоднородным в микромасштабе, а также обладает свойствами, не присущими его компонентам по отдельности [3]. К преимуществам композитных материалов относят их высокую удельную и усталостную прочность, высокую износостойкость и жесткость. Так как за монолитность материала, его стойкость к внешним воздействиям, а также распре-

деление и передачу напряжения отвечает матрица композита, при этом армирующий материал выполняет роль упрочняющей структуры и является более прочным компонентом по сравнению с матрицей. Путем подбора свойств матрицы и армирующего материала можно добиться необходимого сочетания технологических и эксплуатационных свойств (табл. 1).

В ходе анализа табл. 1 становится очевидным то, что применение в авиационной технике композиционного материала на основе никелевой матрицы с армирующей вольфрамовой или молибденовой проволокой не оправдано с точки зрения весовых характеристик материала. Плотность композитов на основе этих элементов превышает среднюю плотность остальных композиционных материалов в 4-6 раз при схожих значениях модуля упругости и расчетного напряжения. Помимо неподходящих весовых характеристик, композиционные материалы, основой которым служит металлическая матрица, не удовлетворяют требованиям радиопрозрачности, поэтому при выборе материала для изготовления обтекателя летательного аппарата их можно не рассматривать.

Наиболее широко востребованными характеристиками при производстве носового обтекателя, является высокая жаропрочность композитов, их радиопрозрачность, определяемая величиной искажения радиоволн заданного спектра частот и допустимой величиной ослабления мощности электромагнитного потока, а также вы-

сокая ударная вязкость, надежность и прочность во всех температурных диапазонах, устойчивость к тепловому удару [5]. Такие требования, предъявляемые к носовым обтекателям летательных аппаратов, обусловлены тем, что наиболее интенсивные нагрузки, вызванные скоростным напором, действуют именно на обтекатель.

Таблица 1

Свойства композиционных материалов [4]

№	Матрица	Армирующий материал	Плотность, г/см ³	Расчетное напряжение, ГПа	Модуль упругости, ГПа
1	Эпоксидная	Стекловолоконное	1,9-2,2	1,2-2,5	50-68
2		Органическое волокно	1,3-1,4	1,7-2,5	75-90
3		Углеродное волокно	1,4-1,5	0,8-1,5	120-220
4		Борное волокно	2-2,1	1-1,7	220
5	Алюминиевая	Борное волокно	2,6	1-1,5	220-250
6		Углеродное волокно	2,3	0,8-1	200-220
7	Магниевая	Борное волокно	2	0,7-1	200-220
8		Углеродное волокно	1,8	0,6-0,8	180-220
9	Никелевая	Вольфрамовая проволока	12,5	0,8	265
10		Молибденовая проволока	9,3	0,7	235
11	Углеродная	Углеродное волокно	1,5-1,8	0,35-1	120-220
12	Керамическая	Волокно карбида кремния	3,2	0,48	-

При выборе материала для проектирования носового обтекателя стоит учитывать разнообразие и сложность форм современных обтекателей. В зависимости от скорости полета изменяется удлинение но-

сового обтекателя и нагрузки, которые он должен выдерживать. Чем выше скорость полета, тем выше требования к прочности материала и больше удлинение обтекателя.

Стеклокерамические композиционные материалы

Обладая высокой термостойкостью и однородностью свойств, стеклокерамические композиты являются очень перспективным материалом для изготовления радиопрозрачных конструкций. Благодаря высокой стабильности свойств, при изменении температур от -60 до +1200 градусов

Цельсия обтекатели из стеклокерамики могут исправно работать в условиях жесткого термоудара и при скоростях, превышающих скорость звука в 3-4 раза [6]. Помимо этого, они характеризуются низким тангенсом угла диэлектрических потерь (tgδ), который определяет количество

энергии, поглощаемой материалом обтекателя при прохождении через него излучения. Другими словами, обтекатель, выполненный из материала, характеризующегося высоким значением $tg\delta$, снижает радиус действия антенного устройства. Кроме того, важна не только малая величина $tg\delta$, но и его стабильность во всем диапазоне температур эксплуатации [6]. Перечисленные выше характеристики материала во многом определяют толщину стенки обтекателя. Если толщина стенки кратна половине длины волны излучения передающего устройства, то помехи, создаваемые обтекателем, будут минимальны, в свою очередь на длину волны, которая распространяется в стеклокерамическом обтекателе, влияет диэлектрическая проницаемость

материала. Также, как и в случае с $tg\delta$ большое значение имеет стабильность диэлектрической проницаемости (ϵ) в диапазоне рабочих температур обтекателя [7]. Одним из примеров такого материала является стеклокерамический композиционный материал «Pyroceram 9606», производимый американской фирмой «Corning Glass». Его недостатком является необходимость проведения механической и термической обработки поверхности после термообработки, что позволяет достичь требуемых показателей прочности и устойчивости к тепловому удару и дождевой эрозии. Устойчивость к повышенной влажности обеспечивается отсутствием пористости материала [6]. Характеристики этого материала представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики «Pyroceram 9606» [8]

Плотность, г/см ³	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Прочность
2,6	121	0,24	240
Термические расширения, 10 ⁻⁶ /°C	Теплопроводность, Вт/мК	Диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла диэлектрических потерь
4,7	3,3	5,5	0,0005

Из табл. 2 видно, что композиционный материал «Pyroceram 9606» сочетает в себе более низкие значения тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектриче-

ской проницаемости в сравнении с материалами аналогами ($tg\delta = 0,002$ и $\epsilon = 7,6$ для материала «IRBAS», используемого в ракетных системах «РАС-3» [9]).

Композиционные материалы на основе клеевых препрегов

Стекло- и углепластики – это композиционные материалы на основе клеевых препрегов [10], при изготовлении которых в качестве клеевого связующего используют полимерную основу высокопрочного пленочного клея. При изготовлении препрега полученным клеевым связующим пропитывают стекло- или угленаполнитель, получая вещество с клеящими свойствами. На основе этой разработки были созданы клеевые препреги на угленаполнителях (КМКУ) и на стеклонаполнителях (КМКС), отвечающие высоким прочностным, деформационным и температурным требованиям. При использовании композиционного материала на основе клеевых препрегов можно сократить время на про-

изводство конструкции сложной формы в два или три раза за счет снижения количества технологических операций, помимо этого можно достичь снижения количества оснастки и трудоемкости изготовления в 1,5-2 раза [11]. К тому же, применение данных клеевых препрегов позволяет сократить трудоемкость технологии изготовления обтекателя из этого композиционного материала за счет исключения ряда технологических этапов при производстве [12]. Что важнее, полученные стеклопластики на основе клеевых препрегов удовлетворяет высоким требованиям по диэлектрической проницаемости, тангенсу угла диэлектрических потерь и диапазону рабочих температур, необходимых для ма-

териала обтекателя [13]. Характеристики некоторых стеклопластиков представлены в табл. 3.

Сравнивая характеристики стеклопластиков (табл. 3) с характеристиками стеклокерамического материала «Pyroceram 9606» (табл. 2), можно обнаружить, что при больших значениях тангенса угла диэлектрических потерь (в среднем в 2-3 раза) стеклопластики выигрывают по значениям диэлектрической проницаемости и имеют меньшую плотность, чем стеклокерамика [15]. Таким образом, стеклопластики следует использо-

вать при необходимости достижения меньшей массы обтекателя при немного больших диэлектрических потерях, а стеклокерамику при необходимости изготовления носового обтекателя, подвергающегося большим перепадам температур за короткий промежуток времени, возникающих при достижении больших чисел Маха (на рис. 2 представлена зависимость температуры стенки обтекателя ракеты от числа Маха и высоты полета), и поглощающего меньше энергии, излучаемой радиолокационным оборудованием.

Таблица 3

Характеристики стеклопластиков [13, 14]

Показатель	Марка клеевого препрега			
	КМКС-2.120.T10 / КМКС-2.120.T15	КМКС-2 м.120.T10 / КМКС-2 м.120.T15 / КМКС-2 м.120.T60 / КМКС 2 м.120.T64	КМКС-4.175.T10 / КМКС-4.175.T15	КМКС-4 м.175.T64 / КМКС-4 к.175.TC8/3
Диапазон рабочих температур, °С	-130...+120	-60...+120	-60...175	-60...+175
Диэлектрическая проницаемость при 10 ⁶ Гц	4,21 / 3,92	4,76 / 4,19 / 4,46 / 4,82	4,2/3,7	4,82 / 3,6
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 ⁶ Гц	0,013 / 0,017	0,015 / 0,017 / 0,024 / 0,027	0,015/0,014	0,027 / 0,008...0,013
Плотность, г/см ³	1,83 / 1,49	1,8...1,9 / 1,5...1,6 / 1,7...1,8 / 1,74...1,84	1,8...1,9 / 1,5	1,65 / 1,62

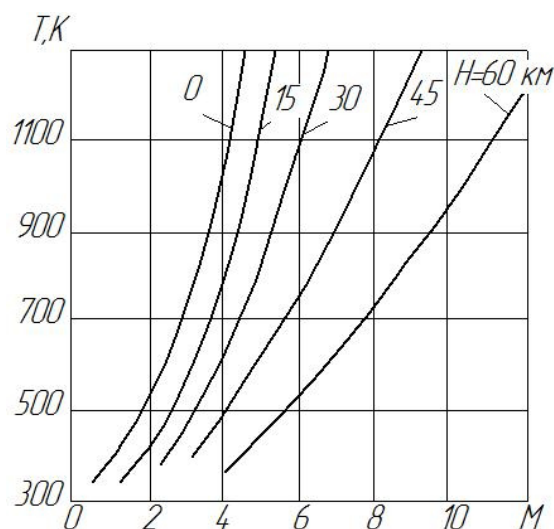


Рис. 2. Зависимость температуры на стенке обтекателя ракеты от высоты и скорости полета

Из рис. 2 видно, что температура на поверхности обтекателя резко возрастает даже при небольшом увеличении числа Маха. Логично, что из стеклокерамических композиционных материалов, имеющих большую теплостойкость, изготавливают носовые обтекатели ракет класса «земля-

воздух» и «воздух-воздух», а стеклопластики применяются при изготовлении обтекателей самолетов, например, в опытно-конструкторском бюро имени П.О. Сухого и в Российской самолетостроительной компании «МиГ».

Заключение

На основе анализа методов изготовления и по результатам экспериментального сравнения прочностных и весовых характеристик, а также характеристик теплостойкости и радиопрозрачности нескольких различных по своей структуре и способу изготовления композиционных материалов была предложена область применения для этих материалов при изготовлении радиопрозрачных носовых обтекателей летательных аппаратов. Установлено, что при высокой устойчивости к резким

перепадам температур для изготовления ракетных носовых обтекателей лучше выбрать стеклокерамический композиционный материал, способный сохранять свои характеристики в условиях термоудара и при сверхзвуковых скоростях, а менее плотный стеклопластик, имеющий меньший диапазон рабочих температур, следует применять при изготовлении обтекателей самолетов с дозвуковыми скоростями полета, обтекатели которых не подвергаются столь высоким нагрузкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Климов, В. Н.** Современные авиационные конструкционные сплавы : учеб. пособие / В. Н. Климов, Д. М. Козлов. – Самара : Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева, 2017. – 40 с. – ISBN 978-5-7883-1135-7.
2. **Савин, С. П.** Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолетов семейства МС-21 / С. П. Савин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – № 4-2. – С. 686-693. – Библиогр.: с. 693 (1 назв.).
3. **Бондалетова, Л. И.** Полимерные композиционные материалы : учеб. пособие / Л. И. Бондалетова, В. Г. Бондалетов. – Томск : ТПУ, 2013. – 118 с. – ББК 30.36:35.71я73.
4. **Справочник по композиционным материалам:** В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. Дж. Любина; пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта. – Москва : США, 1988. – 448 с. – ISBN 5-217-00225-5.
5. **Химич, А. В.** Конструктивное исполнение головных обтекателей: мат. всеросс. науч.-методич. конф. «Университетский комплекс как

региональный центр образования, науки и культуры». – Оренбург: Оренбургский гос. ун-тет, 2016. – С. 263-268.

6. **Радиопрозрачные стеклокерамические материалы** / Н. Е. Уварова, Ю. Е. Ананьева, Е. Г. Болокина [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – № 7. – С. 96-99. – Библиогр.: с. 99 (13 назв.).
7. **Технологические аспекты создания радиопрозрачных стеклокристаллических материалов на основе высокотемпературных алюмосиликатных систем (обзор)** / А. С. Чайникова, М. Л. Ваганова, Н. Е. Щеголева, Ю. Е. Лебедева // Труды ВИАМ. – 2015. – № 11. – С. 26-39. – Библиогр.: 37-39 (51 назв.).
8. **Современные достижения в области создания высокотемпературных радиопрозрачных материалов** / П. Д. Саркисов, Д. В. Гращенко, Л. А. Орлова [и др.] // Техника и технология силикатов. – 2009. – № 1. – С. 2-10. – Библиогр.: с. 9-10 (45 назв.).
9. **Ивахненко, Ю. А.** Высокотемпературные радиопрозрачные керамические композиционные материалы для обтекателей антенн и других изделий авиационной техники (обзор) / Ю. А. Ивахненко, Н. М. Варрик, В. Г. Максимов // Труды ВИАМ. – 2016. – № 5 (41). – С. 36-43. – Библиогр.: с. 43 (21 назв.).
10. **Использование клеевых связующих для получения полимерных композиционных материалов** / Л. А. Дементьева, К. Е. Куцевич, Н. Ф.

Лукина, А. П. Петрова // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2016. – № 2 (20). – С. 24-35. – Библиогр.: с. 34-35 (15 назв.).

11. **Свойства и назначение композиционных материалов на основе клеевых препрегов** / Л. А. Дементьева, А. А. Сереженков, Н. Ф. Лукина, К. Е. Куцевич // Труды ВИАМ. – 2014. – № 8. – С. 6-12. – Библиогр.: с. 10-12 (15 назв.).
12. **Клеевые препреги – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ** / К. Е. Куцевич, Л. А. Дементьева, Н. Ф. Лукина, Т. Ю. Тюменева // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № 8. – С. 379-387. – Библиогр.: с. 386-387 (21 назв.).
13. **Свойства композиционных материалов на основе клеевых препрегов** / Л. А. Дементьева, А. А. Сереженков, Л. И. Бочарова [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. – 2012. – № 6. – С. 19-24. – Библиогр.: с. 24 (3 назв.).
14. **Композиционные материалы клеевые на основе стеклянных и углеродных наполнителей** / Л. А. Дементьева, А. А. Сереженков, Л. И. Бочарова [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. – 2009. – № 1. – С. 24-27.
15. **Работоспособность клеев и материалов на их основе в условиях, близких к прибрежным условиям Арктики** / А. П. Петрова, Н. Ф. Лукина, И. А. Шарова [и др.] // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2016. – № 2 (20). – С. 3-16. – Библиогр.: с. 14-16 (23 назв.).

1. **Klimov, V.N.** *Modern Aircraft Structural Alloys: manual* / V.N. Klimov, D.M. Kozlov. Samara: Korolyov National Research University of Samara, 2017. – pp. 40. - ISBN 978-5-7883-1135-7.
2. **Savin, S.P.** Application of modern polymeric composites in design of airplane frames of MS-21 group / S.P. Savin // *Proceedings of Samara Scientific Center of the RAS.* – 2012. – No.4-2. – pp. 686-693. – References: pp. 693 (1 Title).
3. **Bondaletova, L.I.** *Polymeric Composites: manual* / L.I. Bondaletova, V.G. Bondaletov. – Tomsk: TPU, 2013. – pp. 118. BBK30.36:35.71ya73.
4. **Reference Book on Composites: in 2 Vol., Book 1** / under the editorship of J.Lyubin; transl. from Engl. by A.B. Geller, M.M. Gelmont. – Moscow: the USA, 1988. – pp. 448. -
5. **Khimich, A.V.** Nose cone design use: *Proceedings of the All-Russian Scientific-method. Conf. "University Complex as Regional Center of Education, Science and Culture"*. – Ohrenburg: Ohrenburg State University, 2016. – pp. 263-268.
6. **Radio-transparent glass-ceramic materials** / N.E. Uvarova, Yu.E. Ananieva, E.G. Bolokina [et al.] // *Successes in Chemistry and Chemical Technology.* – 2007. – No.7. – pp. 96-99. – References: pp. 99. (13 Titles).
7. **Technological aspects in development of radio-transparent glass-crystal materials based on high-temperature aluminum silicate systems (re-**

view) / A.S. Chainikova, M.L. Vaganova, N.E. Shchyogoleva, Yu.E. Lebedeva // *Proceedings of VIAM.* – 2015. – No.11. – pp. 26-39. – References: 37-39 (51 Titles).

8. **Modern achievements in field of high-temperature radio-transparent material development** / P.D. Sarkisov, D.V. Grashchenkov, L.A. Orlova [et al.] // *Engineering and Silicate Technology.* – 2009. – No.1. – pp. 2-10. – References: pp. 9-10. (45 Titles).
9. **Ivakhnenko, Yu.A.** High-temperature radio-transparent ceramic composites for antenna spinners and other products of aircraft equipment (review) / Yu.A. Ivakhnenko, N.M. Varrik, V.G. Maximov // *Proceedings of VIAM.* – No.5 (41). – pp. 36-43. – References: pp. 43 (21 Titles).
10. **Adhesive binder use for manufacturing polymeric composites** / L.A. Dementieva, K.E. Kutsevich, N.F. Lukina, A.P. Petrova // *News of Material Science. Science and Engineering.* – 2016. – No.2(20). – pp. 24-35. – References: pp. 34-35 (15 Titles).
11. **Properties and purpose of composites based on adhesive pre-progs** / L.A. Dementieva, A.A. Serezenkov, N.F. Lukina, K.E. Kutsevich // *Proceedings of VIAM.* – 2014. – No.6. – pp. 6-12. – References: pp. 10-12 (15 Titles).
12. **Adhesive pre-progs – promising materials for parts and units of PKM** / K.E. Kutsevich, L.A.

- Dementieva, N.F. Lukina, T.Yu. Tyumeneva // *Aircraft Materials and Technologies*. – 2017. – No.8. – pp. 379-387. – References: pp. 386-387 (21 Titles).
13. **Composite properties based on adhesive pre-progs** / L.A. Dementieva, A.A. Serezhenkov, L.I. Bocharova [et al.] // *Adhesives. Sealant Compounds. Technologies*. – 2012. – No.6. – pp. 19-24. – References: pp. 24 (Titles)
14. **Adhesive composites based on glass and carbon fillers** / L.A. Dementieva, A.A. Serezhenkova, L.I. Bocharova [et al.] // *Adhesives. Sealant Compounds. Technologies*. – 2009. – No.1. – pp. 24-27.
15. **Working capacity of adhesives and materials on their basis under conditions close to Arctic** / A.P. Petrova, N.F. Lukina, I.A. Shatrova [et al.] // *News of Material Science. Science and Engineering*. – 2016. – No.2 (20). – pp. 3-16. – References: pp. 14-16 (23 Titles).

Ссылка цитирования:

Нестеренко, Р.А. Применение композиционных материалов при проектировании носовых обтекателей летательных аппаратов / Р.А. Нестеренко, А.Г. Магдин, Д.В. Кудрявцев, Д.К. Жанзакова // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2021. - № 2. – С. 13-20. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-2-13-20.

Статья поступила в редакцию 06.11.20.

Рецензент: д.т.н., профессор, заведующий лабораторией
Института материаловедения Хабаровского научного центра
Дальневосточного отделения РАН
Химухин С.Н.,
член редсовета журнала «Вестник БГТУ».
Статья принята к публикации 23.12.20.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Нестеренко Руслан Андреевич, студент кафедры «Летательные аппараты» аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, e-mail: nstrnk.rsln@gmail.com

Магдин Александр Геннадьевич, к.т.н., преподаватель, кафедры «Летательные аппараты» аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, e-mail: magdin.sasha@yandex.ru

Nesterenko Ruslan Andreevich, Student of the Dep. "Aircrafts", Aerospace Institute of Ohrenburg State University, e-mail: nstrnk.rsln@gmail.com

Magdin Alexander Gennadievich, can. Sc. Tech., Lecturer of the Dep. "Aircrafts", Aerospace Institute of Ohrenburg State University, e-mail: magdin.sasha@yandex.ru

Кудрявцев Дмитрий Викторович, студент кафедры «Летательные аппараты» аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, e-mail: 9878430727@mail.ru

Жанзакова Данагуль Кайдарбековна, студент кафедры «Летательные аппараты» аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, e-mail: danagul-99@mail.ru

Kudryavtsev Dmitry Viktorovich, Student of the Dep. "Aircrafts", Aerospace Institute of Ohrenburg State University, e-mail: 9878430727@mail.ru

Zhanzakova Danagul Kaidarbekovna, Student of the Dep. "Aircrafts", Aerospace Institute of Ohrenburg State University, e-mail: danagul-99@mail.ru