

ПРОЧНОСТЬ И ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ / STRENGTH AND THERMAL CONDITIONS OF AIRCRAFT

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ СДВИЖНОЙ ГРУЗОВОЙ ДВЕРИ ВЕРТОЛЕТА СРЕДНЕГО КЛАССА

Научная статья

Костин В.А.¹, Луканкин А.С.²*

^{1,2} Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (wiwokegrenno-8254[at]yopmail.com)

Аннотация

В рамках работ по модернизации конструкции вертолета АНСАТ и перевода его на композиционные материалы были детально рассмотрены конструкционные особенности элементов кинематики сдвижной грузовой двери, которые в стандартном исполнении имели конструктивные и технологические недостатки. В связи с этим, одной из приоритетных задач данной работы является изготовление новой конструкции элементов кинематики сдвижной двери салона вертолета, включающей композитные направляющие рельсов сдвижного механизма удовлетворяющие требованиям АП-29. На семействе вертолетов фирмы Bell, такая конструкционная модель появилась только спустя два года. С помощью применения новой конструкционной модели удалось исключить основные недостатки, которые возникали в стандартном исполнении. Однако для подтверждения правильности данного решения, была предложена экспериментальная методика натурного характера, которая позволяет детально изучить выкрашиваемость композитного материала, и дать оценку его применения в условиях схожих с реальными с условиями эксплуатации на воздушном судне.

Ключевые слова: дверной модуль, композиционные материалы, элементы кинематики, конструктивные недостатки.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE OPERABILITY OF COMPOSITE GUIDES FOR A SLIDING CARGO DOOR OF A MEDIUM-CLASS HELICOPTER

Research article

Kostin V.A.¹, Lukankin A.S.²*

^{1,2} Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (wiwokegrenno-8254[at]yopmail.com)

Abstract

Within the framework of works on modernisation of ANSAT helicopter design and its transfer to composite materials, the design features of the kinematic elements of the sliding cargo door, which had structural and technological disadvantages in the standard version, were considered in detail. In this regard, one of the priority tasks of this work is to manufacture a new design of kinematic elements for the sliding door of the helicopter cabin, including composite rails for the sliding mechanism that meet the requirements of the AP-29. (On the Bell helicopter family, such a structural model appeared only two years later). With the help of the new design model, it was possible to eliminate the main disadvantages that arose in the standard version. However, to convince the correctness of the choice of this solution, an experimental technique of a full-scale nature was proposed, which allows us to study in detail the colorability of the composite material and evaluate its application in conditions like real operating conditions on an aircraft.

Keywords: door module, composite materials, kinematic elements, design flaws.

Введение

В рамках работ по модернизации модели конструкции вертолета АНСАТ были выявлены конструктивные недостатки элементов кинематики сдвижной грузовой двери, а именно: в процессе эксплуатации вертолета имелись неоднократные случаи выпадения роликов из рельсов сдвижной двери, фиксировалась недостаточная жесткость нижнего рельса двери, приводящая конструкцию к деформации в результате использования нижней направляющей в качестве опоры для ног [2]. В связи с этим было внесено предложение по улучшению физико-механических характеристик рассматриваемой модели кинематики. Предложен вариант изготовления новой модели исполнения композитных направляющих рельсов сдвижного механизма сдвижной двери салона вертолета, изготовленных с применением высокопрочных композиционных материалов. Разработана методика оценки обоснования выбора новых конструктивных решений из композиционных материалов взамен традиционных материалов [1].

Методы и принципы исследования

Для определения возможности выкрашивания связующего материала направляющего рельса грузовой двери в зоне контакта ролик-направляющий рельс было изготовлено приспособление, имитирующее установку роликов двери в паз рельсов, имеющую схожую геометрическую форму модели кинематики, применяемую в составе вертолета (рисунок 1) [4].

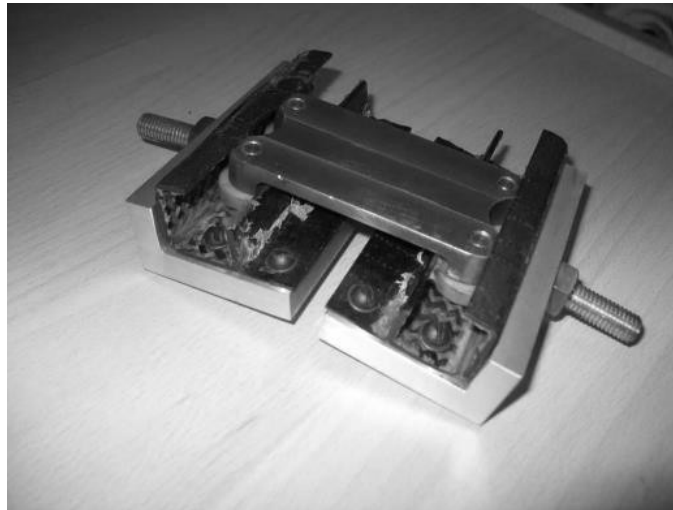


Рисунок 1 - Приспособление в сборе (вид сбоку)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.1>

Данное приспособление состоит из трёх частей: двух направляющих рельсов, изготовленных из композиционных материалов, закреплённых болтами на металлических захватах, и каретки с четырьмя роликами (рисунок 2а, 2б), двух болтов диаметром М10, ввинченных в захваты для установки приспособления в испытательную машину BISS The Nano Plug'n'Play с максимальной растягивающей нагрузкой 25 кН и диапазоном частоты приложения нагрузки 1-100 Гц [3].

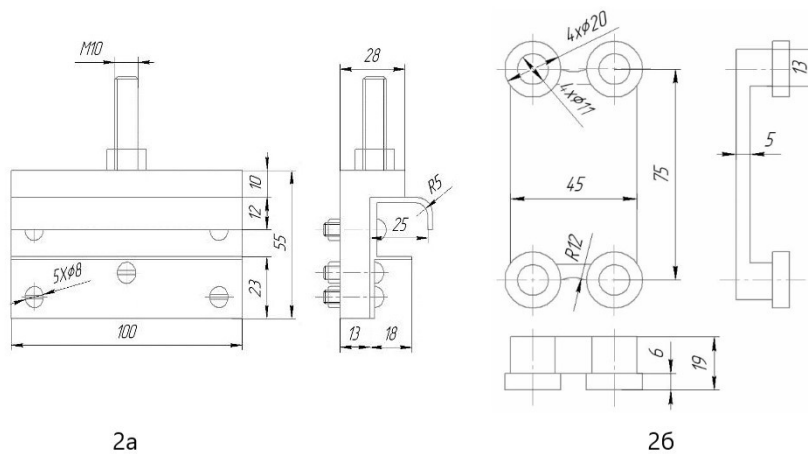


Рисунок 2 - Схематичный чертёж каретки с роликами и рельсов
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.2>

Примечание: 2а – приспособление в сборе, вид сбоку; 2б – каретка с роликами, общий вид с конструктивными элементами

Установка приспособления в испытательную машину изображена на рисунке 3.

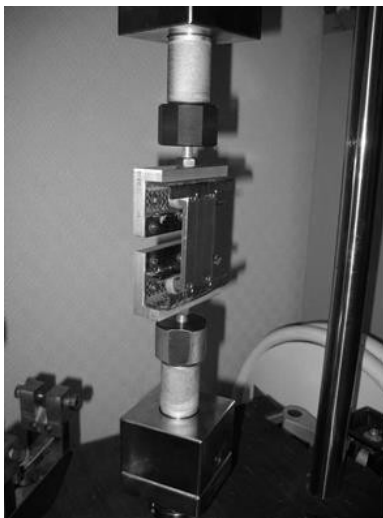


Рисунок 3 - Общий вид захвата приспособления в испытательной машине
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.3>

Для расчёта принимаем условие, что центр тяжести сдвижной двери находится в середине пролёта между опорами двери. Также принимаем за условие то, что масса модернизированной двери составляет – 10 кгс. При оценке ускорений, действующих в полёте на дверь, амплитуда перемещений экспертно принимается равной 4 мм на продолжительных режимах. Моменты инерции и упругость конструкции для упрощения вычисления нагрузок во внимание не принимаются. Рассматриваются только колебания двери по оси OY [6].

Вычислим ускорение при условии синусоидальной вибрации вдоль оси OY :

$$A_{Oy} = -aw^2 \sin \omega t \quad (1)$$

где:

$a = 4$ мм – амплитуда колебаний;

$w = 38,26$ рад/с – угловая частота колебаний.

Подставив известные величины в формулу A_{Oy} , найдём ускорение, действующее на дверь: $A_{Oy} = 5,86$ м/с².

Умножим на массу двери:

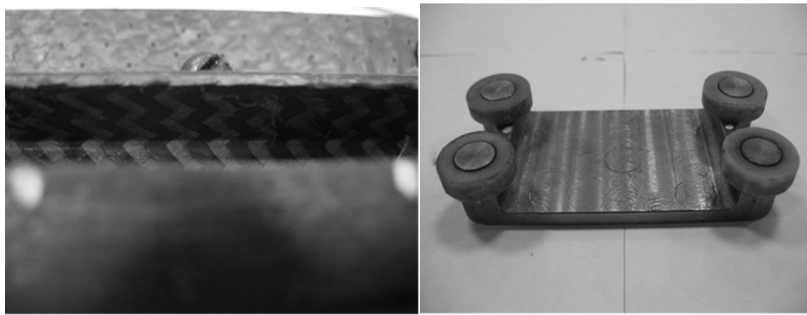
$$P = A_{Oy}m_{дв} = 5,86 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 10 \text{ кг} = 58 \text{ Н} \quad (2)$$

Такая нагрузка приходится на два ролика в конструкции двери. В конструктивном исполнении для испытаний приспособление имеет четыре ролика, поэтому суммарная нагрузка будет равна 116 Н, а нагрузка на один ролик будет составлять 29 Н [7].

В процессе испытаний нагрузку будем прилагать в соответствии с асимметричным циклом нагружения, в котором $P_{max} = 31,8$ кгс, $P_{min} = 20$ кгс, а амплитуда цикла нагружения $P_a = 5,9$ кгс.

Тогда приложенные нагрузки полностью соответствуют эксплуатационным [9]. В соответствии с утвержденной программой испытаний, время одного этапа испытаний при частоте 6 Гц ограничивалось 300 часами. В ходе эксперимента через каждые 10 часов работы ролики проворачивались на 90° для их равномерного износа.

Осмотр направляющих и роликов производился каждые 10 часов испытаний. Анализируя полученные данные, после визуального осмотра на первом этапе испытаний образца можно сделать следующие выводы: изменения структуры материала и направляющей не установлено (рисунок 4а), остаточных деформаций на роликах и направляющей не обнаружено (рисунок 4а, 4б) [8].



4а

4б

Рисунок 4 - Общий вид конструктивной модели композитной направляющей в составе модели приспособления: каретки с роликами

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.4>

Примечание: 4а – поверхность контакта ролик-рельс после первого этапа испытаний; 4б – общий вид каретки с роликами после первого этапа испытаний

Обсуждение основных результатов

По результатам первого этапа испытаний принято решение продолжить испытания с удвоенной нагрузкой, $P_{max} = 63,6$ кгс, $P_{min} = 20$ кгс и средней амплитудой нагружения $P_a = 21,8$ кгс.

При частоте нагружения 15 Гц на второй этап испытаний будет затрачено 120 часов либо (6,5 млн. циклов нагружения). После наработки установленного количества циклов по результатам осмотра в теле ролика и рельса, значимых разрушений также не было установлено (рисунок 5).



5а

5б

Рисунок 5 - Вид конструкционной модели элементов приспособления и композитной направляющей после второго этапа испытаний

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.5>

Примечание: 5а – поверхность контакта ролик-рельс после второго этапа испытаний; 5б – выработка ролика в пятне контакта после второго этапа испытаний

По результатам второго этапа испытаний можно сделать заключение о том, что конструкция ролика и рельса удовлетворяет требованиям по выкрашиваемости материала рельса и прочности всей конструкции в целом, так как даже при удвоенной нагрузке визуально не было замечено каких-либо структурных изменений в материале рельса.

Далее было принято решение на третьем этапе испытаний утроить максимальную нагрузку цикла с целью определения слабого места в модели конструкции [5].

В ходе третьего этапа испытаний максимальная нагрузка цикла составила $P_{max} = 95,4$ кгс, а минимальная – $P_{min} = 20$ кгс; $P_a = 37,7$ кгс. Частота приложения нагрузки осталась прежней – 15 Гц. В рамках третьего этапа производились замеры перемещений нижней направляющей рельсы. Перемещения измерялись по перемещению штока испытательной машины. При статическом приложении нагрузки 95,4 кгс перемещения штока составили 1,97 мм. Если

сделать допущение, что верхняя и нижняя части образца деформируются одинаково, то перемещения нижней части рельса (пластины) в месте контакта с роликами составили 0,98 мм [10].

При динамическом приложении нагрузки в рамках третьего этапа измерена амплитуда колебаний образца по методике, аналогичной статическому замеру перемещений. Рабочее окно с контролируруемыми параметрами испытательной машины изображено на рисунке 6.

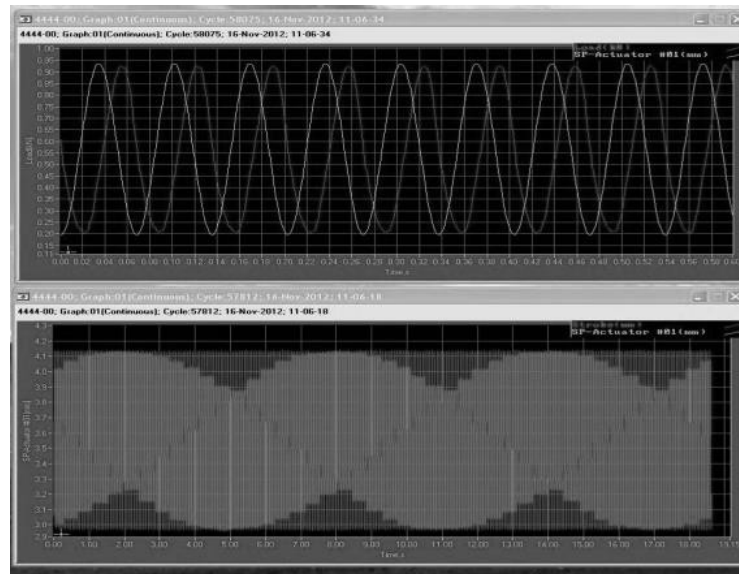


Рисунок 6 - Окно ПО с графиками амплитуды «время-нагрузка» (вверху) и «время-перемещение штока» (внизу)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.6>

Разность положений штока машины при нагрузке $P_{min} = 20$ кгс и $P_{max} = 95,4$ кгс составляет 1,12 мм. Если аналогично статическому измерению учесть, что верхняя и нижняя часть образца деформируются одинаково, то амплитуда колебаний нижней части рельса составит 0,56 мм.

После 93000 циклов при приложении нагрузки каретка образца вышла из направляющего нижнего рельса (рисунок 7).



Рисунок 7 - Положение каретки с роликами после разрушения нижнего рельса
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.7>

Видимых повреждений на поверхности ролика и композитного рельса не было обнаружено. При осмотре образца направляющего рельса было обнаружено расслоение между слоями углепластика (рисунок 8) [11].



Рисунок 8 - Фотография разрушения нижнего рельса, расслоение слоев углепластика
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.97.8>

Заключение

Нужно отметить, что характерных усталостных характеристик разрушений волокон композиционного материала не наблюдается. С большой долей вероятности разрушение произошло в результате изгиба рельса относительно оси x в характерном прогнозируемом месте, где напряжение сдвига складывается с изгибающим моментом относительно оси x .

По результатам испытаний считаем проведение сравнительного ресурсного анализа испытаний натурального характера композитных и дюралюминиевых направляющих рельсов сдвижных дверей поможет получить более детальные характеристики для дальнейших оценок их при эксплуатации конструкции в реальных условиях на модели вертолета.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. АП-29 Нормы лётной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории (с изменениями). — Москва : ОАО «Авиаиздат», 2003. — 130 с.
2. Вертолёты KB3 Ансат : реестр // Russianplanes.net. —URL: <https://russianplanes.net/planelist/KVZ/Ansат> (дата обращения: 24.01.2025).
3. Костин В.А. Ресурсные испытания композитных направляющих сдвижной грузовой двери легкого вертолета Ансат / В.А. Костин, А.С. Луканкин // «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» : Материалы XXIX Международного симпозиума им. А.Г. Горшкова. Том 2. — Москва : ООО «ТРП», 2023. — С. 101–104.
4. Костин В.А. Испытания на выкрашиваемость композитных направляющих сдвижной грузовой двери вертолета Ансат / В.А. Костин, А.С. Луканкин // Материалы конференции «XXVI Туполевские чтения. Школа молодых ученых», посвященной 100-летию со дня основания гражданской авиации России : сборник докладов. — Казань : ИП Сагиев А.Р., 2023. — С. 114–117.
5. Закиров И.М. Модернизация вертолета среднего класса с переводом элементов конструкции фюзеляжа на композитные материалы / И.М. Закиров, С.А. Луканкин, К.А. Алексеев [и др.]. — Казань : КНИТУ-КАИ, 2024. — 282 с.
6. Хлебников А. Важное событие / А. Хлебников // Вертолет : информационный технический журнал. — 2009. — № 3. — С. 4–5.

7. Машиностроение : энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) [и др.]. — Москва : Машиностроение, 2004. — 211 с.
8. Закиров И.М. Усовершенствование конструкции капота вертолета / И.М. Закиров, К.А. Алексеев, Н.М. Файзуллина // *Авиационная промышленность*. — 2016. — № 3. — С. 22–24.
9. Боголюбов В.С. Технология производства изделий из композиционных материалов, пластмасс, стекла и керамики / В.С. Боголюбов, О.С. Сироткин, Г.С. Головкин [и др.]. — 2006. — 576 с.
10. Проектировочный расчет на статическую прочность несущих композитных тонкостенных элементов конструкции фюзеляжа вертолета // *Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики» (АНТЭ-2024)*. — Казань, 2015. — С. 19–20.
11. Костин В.А. Методика проектировочного расчета на статическую прочность дверных модулей вертолета среднего класса из композиционных материалов / В.А. Костин, А.С. Луканкин // *Приоритетные направления развития науки и технологий : материалы XXXV Международной научно-практической конференции*. — Тула : Тульский государственный университет, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2024. — С. 262–264.

Список литературы на английском языке / References in English

1. AP-29 Normy ljotnoj godnosti vintokrylyh apparatov transportnoj kategorii (s izmenenijami) [AP-29 Airworthiness Standards for Transport Category Rotorcraft (with amendments)]. — Moscow : Aviaizdat JSC, 2003. — 130 p. [in Russian]
2. Vertoljoty KVZ Ansat [Ansats KVZ helicopters] : registry // *Russianplanes.net*. — URL: <https://russianplanes.net/planelist/KVZ/Ansat> (accessed: 24.01.2025). [in Russian]
3. Kostin V.A. Resursnye ispytaniya kompozitnyh napravljajushhih sdvizhnoj gruzovoj dveri legkogo vertoleta Ansat [Resource Testing of Composite Guides for the Sliding Cargo Door of the Ansat Light Helicopter] / V.A. Kostin, A.S. Lukanin // «Dinamicheskie i tehnologicheskie problemy mehaniki konstrukcij i sploshnyh sred» ["Dynamic and Technological Problems of Mechanics of Structures and Continuous Media"] : Proceedings of the XXIX International Symposium named after A.G. Gorshkov. Volume 2. — Moscow : TRP LLC, 2023. — P. 101–104. [in Russian]
4. Kostin V.A. Ispytaniya na vykrashivaemost' kompozitnyh napravljajushhih sdvizhnoj gruzovoj dveri vertoleta Ansat [Testing for Delamination of Composite Guides for the Sliding Cargo Door of the Ansat Helicopter] / V.A. Kostin, A.S. Lukanin // *Materialy konferencii «XXVI Tupolevskie chtenija. Shkola molodyh uchenyh», posvjashhennoj 100-letiju so dnja osnovanija grazhdanskoj aviacii Rossii* [Proceedings of the Conference "XXVI Tupolev Readings. School of Young Scientists," Dedicated to the 100th Anniversary of Civil Aviation in Russia] : Collection of Reports. — Kazan : IP Sagiev A.R., 2023. — P. 114–117. [in Russian]
5. Zakirov I.M. Modernizacija vertoleta srednego klassa s perevodom jelementov konstrukcii fuzeljazha na kompozitnye materialy [Modernization of a Medium-Class Helicopter with the Transition of Fuselage Structural Elements to Composite Materials] / I.M. Zakirov, S.A. Lukanin, K.A. Alekseev [et al.]. — Kazan : KNRTU-KAI, 2024. — 282 p. [in Russian]
6. Khlebnikov A. Vazhnoe sobytie [An Important Event] / A. Khlebnikov // *Vertolet [Helicopter] : Informational Technical Journal*. — 2009. — № 3. — P. 4–5. [in Russian]
7. Mashinostroenie [Mechanical Engineering] : Encyclopedia / Editorial Board: K.V. Frolov (Chairman) [et al.]. — Moscow : Mechanical Engineering, 2004. — 211 p. [in Russian]
8. Zakirov I.M. Usovershenstvovanie konstrukcii kapota vertoleta [Improvement of the Helicopter Cowling Design] / I.M. Zakirov, K.A. Alekseev, N.M. Fayzullina // *Aviacionnaja promyshlennost' [Aviation Industry]*. — 2016. — № 3. — P. 22–24. [in Russian]
9. Bogolyubov V.S. Tehnologija proizvodstva izdelij iz kompozicionnyh materialov, plastmass, stekla i keramiki [Technology of Manufacturing Products from Composite Materials, Plastics, Glass, and Ceramics] / V.S. Bogolyubov, O.S. Sirotkin, G.S. Golovkin [et al.]. — 2006. — 576 p. [in Russian]
10. Proektirovochnyj raschet na staticheskuju prochnost' nenesushhih kompozitnyh tonkostennyh jelementov konstrukcii fuzeljazha vertoleta [Design Calculation for Static Strength of Non-Load-Bearing Composite Thin-Walled Elements of the Helicopter Fuselage Structure] // *Materialy IX Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Problemy i perspektivy razvitija aviacii, nazemnogo transporta i jenergetiki» (ANTJe-2024)* [Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems and Prospects of Aviation, Ground Transport, and Energy Development" (ANTE-2024)]. — Kazan, 2015. — P. 19–20. [in Russian]
11. Kostin V.A. Metodika proektirovochnogo rascheta na staticheskuju prochnost' dvernyh modulej vertoleta srednego klassa iz kompozicionnyh materialov [Methodology for Design Calculation of Static Strength of Door Modules for a Medium-Class Helicopter Made of Composite Materials] / V.A. Kostin, A.S. Lukanin // *Prioritetnye napravlenija razvitija nauki i tehnologij* [Priority Directions for the Development of Science and Technology] : Proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference. — Tula : Tula State University, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, 2024. — P. 262–264. [in Russian]