

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

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26>

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОБЩЕЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ НАВЕСКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ «ФЮЗЕЛЯЖ-ПРОЕМ-ДВЕРЬ»

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 (lousouheiyopru-4602[at]yopmail.com)

Аннотация

В рамках проведения работы по модернизации агрегатов конструкции вертолета «Ансат» и перевода их на высокопрочные композиционные материалы, была рассмотрена её конструкционная модель «фюзеляж-проём-дверь» входящая в состав вертолета которая включает в себя: элементы сдвижной двери и двери пилота и их элементы кинематики. Установлено: что при взлете и посадке воздушного судна имелись неоднократные случаи выпадения роликов двери из рельсов направляющих, изготовленных в стандартном исполнении (из сплава алюминия). Возможность устранения случаев выпадения роликов двери из рельсов возможно за счет ужесточения допусков на сборку фюзеляжа, или проектирования более точной оснастки для установки рельсов.

По результатам анализа общей картины конструкционной модели дверных модулей, была разработана и предложена новая методика оценки новых рельс направляющих из композиционных материалов и их элементов кинематики в составе фюзеляжа вертолета, для оценки их живучести в условиях схожими с посадкой воздушного судна.

Ключевые слова: ансат, интегральная конструкция, ПКМ, дверной модуль, полиуретановый герметик, рельсы композитной направляющей.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE OVERALL LOAD-BEARING CAPACITY OF THE INTEGRATED 'FUSELAGE-OPENING-DOOR' SUSPENSION SYSTEM

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 (lousouheiyopru-4602[at]yopmail.com)

Abstract

As part of the work to modernise the 'Ansats' helicopter's components and convert them to high-strength composite materials, its 'fuselage-opening-door' structural model, which is part of the helicopter, was examined. It includes sliding door and pilot door elements and their kinematic elements. It was established that during take-off and landing, there were repeated cases of door rollers falling out of the guide rails, which were manufactured in a standard design (from aluminium alloy). It is possible to prevent the door rollers from falling out of the rails by tightening the tolerances for fuselage assembly or by designing more precise equipment for installing the rails.

Based on the results of analysing the overall picture of the structural model of door modules, a new method was developed and suggested for assessing new guide rails made of composite materials and their kinematic elements in the helicopter fuselage, in order to evaluate their survivability in conditions similar to aircraft landing.

Keywords: ansat, integral construction, SCM, door module, polyurethane sealant, composite guide rails.

Введение

После предварительной проработки выбранных для реализации вариантов была сформулирована концепция, предполагающая объединение пилотской и грузовой сдвижной дверей в единый модуль изготовленного с применением композиционных материалов, модель которого представлена на рисунке 1.

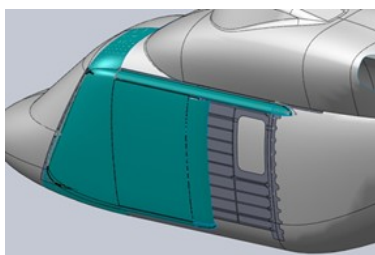


Рисунок 1 - Предлагаемый новый контур теоретического обвода модуля

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.1>

Данная конструкция позволяет:

1. Кардинально улучшить внешний облик вертолета за счет создания единого поля с достаточно большой площадью поверхности, имеющей высокий класс исполнения, имеющими такую же фактуру и качество как при стандартном исполнении элементов конструкции.
2. Улучшить аэродинамику, существенно не меняя теоретический контур (+ 30мм к обводу фюзеляжа — максимум), но убирая из потока все элементы кинематики, узлы навески и так далее., выглаживая и повышая качество поверхности.
3. Увеличить степень надежности работы и ресурс механизмов сдвижной двери за счет защиты от попадания влаги и снега.
4. Возможность изготовления интегральной конструкции в виде полностью законченного модуля, объединяющего все элементы в единый агрегат, имеющий достаточно высокие параметры собственной жесткости и прочности клеевых соединений,
5. Обеспечить прочность и жесткость конструкции двери без внедрения в пространство внутреннего объема салона за счет увеличения строительной высоты двери, выходящей за теорию.
6. Обеспечить точность и чистоту изготовления всего модуля за счет изготовления его с единой оснасткой «макродеталью», с последующей разделкой на элементы, что обуславливает однозначную собираемость всех деталей с полным совпадением обводов контура фюзеляжа [1], [2].

Предлагаемая интегральная конструкция, по функциональному исполнению являясь одинаковой для кабины пилота и грузового отсека, представляет собой крупный несущий контур — проем, опирающийся на элементы силовой схемы фюзеляжа вертолета. Проем содержит элементы навески, на которых закреплена дверь. В ходе проработки вариантов изготовления модифицированной конструкции с применением композитных материалов были предложены две схемы интеграции проема в существующий силовой контур: первая схема сохраняет элементы существующего проема без изменений, вторая — предполагает незначительную доработку элементов, окаймляющих существующий проем. В обоих вариантах — окантовка проема и его конструкционные элементы устанавливаются на особый динамический клеевой шов на основе герметизирующих клеевых составов, на основе полиуретановых или эпоксидно-эластомерных компаундов. Данная схема крепления представлена схематично на рисунке 2. Выбор данного решения обсуждался на международной научно-практической конференции [6].

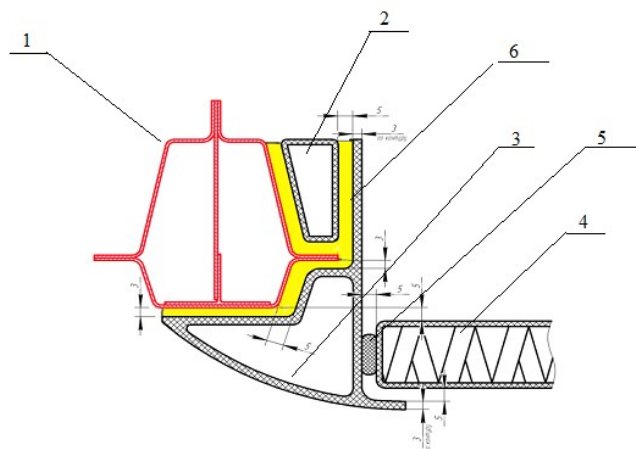


Рисунок 2 - Конструкционная схема крепления интеграции проема в существующий силовой контур в составе модели вертолета

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.2>

Примечание: 1 – силовой набор фюзеляжа вертолета, изготовленный в стандартном исполнении из алюминиевого сплава; 2 – фиксирующей вставки, конструктивно исполненной из углеродного ПКМ за счет своей конструктивной особенности такой как, расклинивания её в представленной схеме обеспечивается всей конструкции заданное положение относительно проема фюзеляжа; 3 – несущий профиль силового контура модуля, изготовленный из углеродного ПКМ с толщиной стенки ~ 3-5 мм, монтируемый в существующий проем фюзеляжа без изменения геометрических характеристик фюзеляжа вертолета; 4 – сдвижная грузовая дверь вертолета закрепленная на верхнюю и нижнюю композитную направляющую с её кинематическими элементами; 5 – уплотнительный резиновый профиль создающий надежный стык с конструктивными элементами; 6 – динамический клеевой шов заполненный в конструкционной полости ~ на 5 мм с применением полиуретанового герметика для компенсации размерных отклонений

Методы и принципы исследования

Для подтверждения правильности выбора конструктивно-технических решений и дальнейшего прогноза срока службы элементов кинематики сдвижной двери была предложена новая методика проведения испытаний экспериментальной оценки общей способности работы новой модели направляющих изготовленных из углеарамидного волокна, в условиях проведения испытаний схожих с посадкой вертолета, на которого действуют аэродинамические силы. Данный метод поможет детально изучить аспект параметров механизмов грузовой двери, проанализировать упругие свойства предложенного материала в составе интегральной модели [1].

С целью проведения натурных испытаний по оценки общей несущей способности системы навески грузовой двери вертолета, был изготовлен стенд, общий вид которого изображен на рисунке 3 [1], [8].

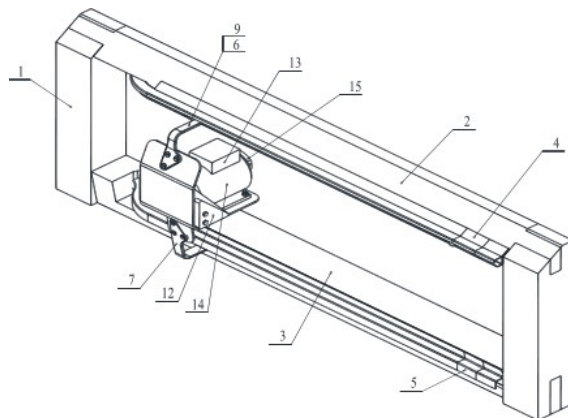


Рисунок 3 - Эскиз стенда для оценки общей картины работоспособности системы навески грузовой двери
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.3>

Примечание: 1 – рама; 2 – верхняя поперечная рама; 3 – нижняя поперечная рама; 4, 5 – направляющие; 6 – штатная верхняя каретка; 7 – штатная нижняя каретка; 9 – верхний кронштейн навески; 12 – площадка с дополнительными грузами; 13 – вибратор; 14 – трехфазный асинхронный двигатель; 15 – несбалансированный груз

Стенд состоит из: рамы 1, набранной из составных брусьев 100x100 мм. К верхней 2 и нижней 3 поперечной раме приклеены направляющие 4 и 5 на полиуретановый-герметик марки «Эласил 137–83». Направляющие являются штатными верхней и нижней направляющими дверного модуля грузовой двери и выполнены из композиционных материалов [2].

В направляющие, штатным образом, установлены штатные верхняя 6 и нижняя 7 каретки со своими роликами и верхним кронштейном навески 9. На кронштейны навески установлена площадка с дополнительными грузами 12 и вибратором 13. Вес площадки с дополнительными грузами, вибратором, кронштейнами и каретками доведен до 7,5 кг. Вибратор 13 представляет из себя трехфазный асинхронный двигатель 14 марки AUP56A4Y3 с закрепленным на валу несбалансированным грузом 15 [7].

При проведении эксперимента динамическое воздействие грузовой двери на систему навески имитировалось системой двигатель — вращающийся груз, характеризующейся как общим статическим весом всей системы, так и воспроизведением вынужденных гармонических колебаний силой, возникающей при вращении несбалансированного груза. В качестве груза равного весу модернизированной двери в сборе (7,5 кг) в конструкции стенда использован металлический каркас, изображенный на рисунке 4, оборудованный дополнительными боковыми грузами и установленным на нем трехфазным асинхронным двигателем.

Вибрационная составляющая вертикальной нагрузки из (условий принимаем, что дверь совершает при посадке вертолета движение только в вертикальной плоскости) образуется за счет возникновения инерционной нагрузки от вращения, закрепленного на валу несбалансированного груза, изображенного на рисунке 5 красной стрелкой [1], [9].



Рисунок 4 - Двигатель имитирующей воздействие массы грузовой двери
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.4>



Рисунок 5 - Модель несбалансированного груза
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.5>

Дисбаланс закрепленного груза имеет величину $3,75 \text{ кг} \cdot \text{мм}$, что при частоте вращения двигателя 1350 об/мин и плечом 100 мм дает вертикальную составляющую инерционной силы $\pm 7,5 \text{ кг}$ ($\pm 75 \text{ Н}$). С учетом указанной инерционной составляющей и общего (статического) веса каркаса с двигателем нагрузка на верхнюю направляющую, передающуюся через деформируемую силовую систему верхний кронштейн — каретка — ролики изображенная при виде сверху на рисунке 6 составит $0 \div 15 \text{ кг}$ ($0 \div 150 \text{ Н}$) за период колебаний (одна посадка вертолета).

В этом случае нижняя направляющая будет воспринимать через деформируемую систему навески. Двери нижний кронштейн — каретка — ролики статический момент от внецентренного приложения нагрузки — веса каркаса (центр тяжести каркаса с двигателем не лежит на одной оси с роликами каретки) и динамическую составляющую момента от инерционной силы, возникающей при вращении двигателя [1].



Рисунок 6 - Верхний кронштейн – каретка – ролик
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.6>

Так как при вращении неуравновешенного груза возникают и горизонтальные составляющие переменной силы, то для их компенсации каркас с двигателем оборудован соответствующими растяжками, воспринимающими эти усилия, показанные на рисунке 7 красной стрелкой.



Рисунок 7 - Каркас-двигателя, оборудованный растяжками
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.7>

Для определения времени работы стенда (количество циклов нагружения упругой системы навески двери: кронштейн — каретка — ролики) будем исходить из следующих соображений. Общее время эксплуатации вертолета примем равным 30000 полетных часов. Тогда с учетом того, что один час полетного времени сопровождается одной посадкой, получим циклов нагружения.

При частоте оборотов двигателя 1350 об/мин получим расчетное время проведения эксперимента равное 23 мин. На рисунке 8 проиллюстрирован график изменения амплитуды циклов нагружения при максимальной силе нагружения на экспериментальный образец во время эксперимента [1], [9].

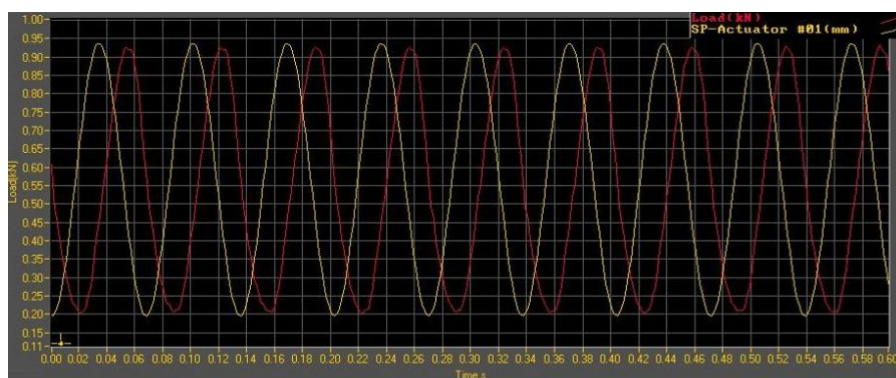


Рисунок 8 - Изменение амплитуды прилагаемых усилий к образцу во времени при испытании при нагрузке:

белая линия - $R_{\max}=0,95$ кН; красная линия - $R_{\min}=0,11$ кН

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.8>

Обсуждение

Вместе с тем в модернизированной модели крепления налицо заметны следующие недостатки:

1. Увеличение трудозатрат и объемов работ по проектированию и изготовлению оснастки и новых образцов экспериментальных изделий из ПКМ, сравнительно с первоначальными предлагаемыми решениями в рамках работы, затрагивающими изменения только по грузовой двери.
2. Увеличение, аналогично, издержек по последующему внедрению экспериментальных технологий в существующий техпроцесс мелкосерийного производства и в последующем повлекшим за собой экспериментальных испытаний для определения достоверных значений.
3. Некоторое сравнительное удорожание себестоимости изделия за счет увеличения объема применяемых дорогостоящих материалов, а также увеличения номенклатуры деталей и, соответственно, трудозатрат на их изготовление.
4. Пусть незначительное, но фактически осуществляемое — изменение теоретического контура фюзеляжа (+30мм).
5. Возможна недостаточная жесткость двери в варианте трех опорной навески с двумя жесткими и одним динамическим (подламывающимся) шарниром.

Основные результаты

Визуальное обследование составных частей упругой системы навески грузовой двери вертолета не выявило каких-либо следов разрушений, механических повреждений поверхностей направляющих в месте контактов роликов, лицевых поверхностей самих роликов и изменений геометрических параметров конструктивных элементов системы навески. Недопустимыми конструкционными дефектами на воздушном судне считаются: во время установки двери и рельсов, за счет прокладок не обеспечение зазора между контуром двери и проемом фюзеляжа, не более чем на 3 мм, а допустимое отклонение от теоретического контура фюзеляжа не превышающие чем на 1 мм. При существующих допусках заложенных на сборку агрегатов фюзеляжа таких как: (проем двери, потолочная и нижняя панель и их элементов кинематики) невозможно обеспечить заложенные допуски и отклонения. Также в процессе эксплуатации необходимо приложение больших усилий к ручкам (наружной и внутренней) для закрытия и открытия двери.

Недостатком и возможно недопущением конструкции кинематики закрытия-открытия сдвижной двери является наличие большого числа кинематических связей и элементов, которые собираются в единый механизм на платформе (каркас двери), имеющей достаточно большие допустимые отклонения от теории и имеющей не достаточную жесткость для четкой работы вышеуказанных кинематических связей. Работоспособность конструкции после испытаний можно характеризовать не только качественным образом, но и количественными показателями на примере: промежуточного анализа износостойкости типовой конструкции из дюраль алюминиевого сплава и представленной конструкции из ПКМ. Анализ которых представлен на Рис. 9.

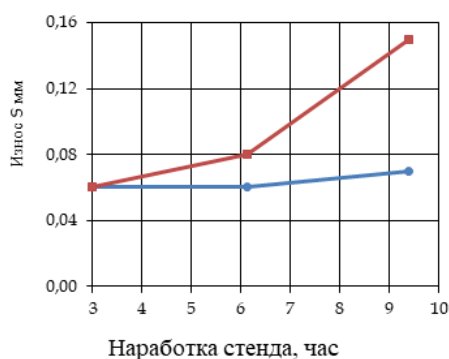


Рисунок 9 - Графики изнашивания элементов типовой конструкции выделенной синим цветом и конструкции из ПКМ выделенным красным цветом

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.26.9>

Принимая во внимания параметры износа обеих конструкций, которые лежат в пределах одного порядка, можно говорить об их одинаковой стойкости к износу, что и может в дальнейшем послужить значимой характеристикой оценки параметра работоспособности конструкции. В схожих методиках оценки: при посадке вертолета учитывалась оценка общей максимальной массы конструкции вертолета в целом, и её оценка на дальнейший ресурс конструкции, но не выделялись и не описывались критерии характеристики новых элементов кинематики предлагаемых к внедрению в новую интегральную конструкцию.

В свете полученных результатов можно рассуждать о том, что: новые технологические подходы по улучшению физико-механических характеристик, путем изготовления новой модели направляющих из высокопрочных композитных материалов взамен существующей ранее модели, вполне могут удовлетворять всем эксплуатационным требованиям в составе конструкционной схемы креплений дверных модулей при применении их в интегральной схеме исполнения в составе модели вертолета.

Заключение

Предложенная модель также устраняет существующие ранее механические недостатки, этому может свидетельствовать экспериментальная методика оценки проведения испытаний, которую можно рассматривать в качестве эталонного примера натурного характера, и давать с помощью нее оценку особенностям поведения самой конструкции, при условии схожими с посадкой вертолета. По результатам экспериментальных исследований модернизированная модель не только показывает свою надёжность и живучесть, но и еще раз убеждает нас о правильности выбора данного технологического решения, которое вполне удовлетворяет требованиям и нормам летной годности «АП-29» [1], [4], [5], [7].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

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.

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) / МАК. — 2003.
2. Боголюбов В.С. Технология производства изделий из композиционных материалов, пластмасс, стекла и керамики-ТЗ-6 / В.С. Боголюбов, О.С. Сироткин, Г.С. Головкин [и др.]; под общ ред. В.С. Боголюбова. — 2006. — 576 с.
3. 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, 2024. — С. 3–282.
4. 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. — Москва: ТРП, 2023. — Т. 2. — С.101–104.
5. 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» посвящена 100-летию со дня основания гражданской авиации России. — Казань: Сагиев А.Р., 2023. — С. 114–117.
6. Луканкин А.С. Методика применения технологии клееивания к моделям элементов дверного модуля вертолета среднего класса из композитных материалов / А.С. Луканкин // Приоритетные направления развития науки и технологий: XXXV Международная научно-практическая конференция, сборник докладов. — Тула: Издательство ТулГУ, 2024. — С. 265–272.

7. Лукина Н.Ф. Свойства клеев и клеящих материалов для изделий авиационной техники / Н.Ф. Лукина, Л.А. Деметьева, А.П. Петрова [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. — 2009. — № 1. — С. 14–24.
8. Машиностроение. Энциклопедия / Под ред. К.В. Фролова [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1994.
9. Мэттьюз Ф. Композитные материалы. Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Роллингс. — Москва: Техносфера, 2004.
10. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: уч. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин [и др.]; под ред. А.А. Берлина. — Санкт-Петербург: Профессия, 2008. — 560 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. AP-29 Normy ljotnoj godnosti vintokrylyh apparatov transportnoj kategorii (s izmenenijami) [AP-29 Standard of airworthiness for propeller-winged vehicles of the transport category (with changes)] / MAK. — 2003. [in Russian]
2. Bogoljubov V.S. Tehnologija proizvodstva izdelij iz kompozicionnyh materialov, plastmass, stekla i keramiki-T3-6 [Technology for the production of products from composite materials, plastics, glass and ceramics-T3-6] / V.S. Bogoljubov, O.S. Sirotkin, G.S. Golovkin [et al.]; under ed. of V.S. Bogoljubov. — 2006. — 576 p. [in Russian]
3. Zakirov I.M. Modernizacija vertoleta srednego klassa s perevodom jelementov konstrukcii fuzeljazha na kompozitnye materialy [Modernization of the middle class helicopter with conversion of fuselage construction elements to composite materials] / I.M. Zakirov, C.A. Lukankin, K.A. Alekseev [et al.]. — Kazan, 2024. — P. 3–282. [in Russian]
4. Kostin V.A. Resursnye ispytaniya kompozitnyh napravljajushhih sdvizhnoj gruzovoj dveri legkogo vertoleta Ansat [Resource testing of composite guides for the sliding cargo door of a light helicopter Ansat] / V.A. Kostin, A.S. Lukankin // Dinamicheskie i tehnologicheskie problemy mehaniki konstrukcij i sploshnyh sred: Materialy XXIX Mezhdunarodnogo simpoziuma. im. A.G. Gorshkova [Dynamic and technological problems of mechanical structures and continuous media: Materials of the XXIX International Symposium named after A.G. Gorshkov]. — Moscow: TRP, 2023. — Vol. 2. — P.101–104. [in Russian]
5. Kostin V.A. Ispytaniya na vykrashivaemost' kompozitnyh napravljajushhih sdvizhnoj gruzovoj dveri vertoleta Ansat [Tests on the painting of composite guides of a sliding cargo door of a helicopter Ansat] / V.A. Kostin, A.S. Lukankin // Materialy konferencii «XXVI Tupolevskie chtenija shkola molodyh uchenyh» posvjashhena 100-letiju so dnja osnovanija grazhdanskoj aviacii Rossii [Conference materials «XXVI Tupolev Reading School of Young Scientists» dedicated to the 100th anniversary of the founding of civil aviation in Russia]. — Kazan: Sagiev A.R., 2023. — P. 114–117. [in Russian]
6. Lukankin A.S. Metodika primeneniya tehnologii vkleivaniya k modeljam jelementov dvernogo modulja vertoleta srednego klassa iz kompozitnyh materialov [Methodology of application of technology for gluing to models of door elements of a medium-class helicopter made of composite materials] / A.S. Lukankin // Prioritetnye napravleniya razvitija nauki i tehnologij: XXXV Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencii, sbornik dokladov [Priority areas of science and technology development: XXXV International Scientific and Practical cConference, collection of reports]. — Tula: Publishing House TulSU, 2024. — P. 265–272. [in Russian]
7. Lukina N.F. Svoystva kleev i klejashhih materialov dlja izdelij aviacionnoj tehniki [Properties of adhesives and adhesive materials for aerospace products] / N.F. Lukina, L.A. Dement'eva, A.P. Petrova [et al.] // Kлеи. Герметики. Технологии [Glue. Sealants. Technology]. — 2009. — № 1. — P. 14–24. [in Russian]
8. Mashinostroenie. Jenciklopedija [Mechanical engineering. Encyclopaedia] / Ed. by K.V. Frolov [et al.]. — Moscow: Mashinostroenie, 1994. [in Russian]
9. Matthews F. Kompozitnye materialy. Mehanika i tehnologija [Composite materials. Mechanics and technology] / F. Matthews, R. Rollings. — Moscow: Tehnosfera, 2004. [in Russian]
10. Kerber M.L. Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svoystva, tehnologija: uch. posobie [Polymeric composite materials: structure, properties, technology: study guide] / M.L. Kerber, V.M. Vinogradov, G.S. Golovkin [et al.]; ed. by A.A. Berlin. — St. Petersburg: Professija, 2008. — 560 p. [in Russian]