
Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-75-84

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТКАНЕПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ НИХ ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

К.В. Макрушин¹, А.А. Баранников¹, И.А. Ищенко¹, Ю.И. Судьин¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Показаны основные принципы, методы и способы оценки герметичности тканепленочных материалов (ТПМ) и изготовленных из них гибких трубопроводов систем кондиционирования воздуха (СКВ) авиационной техники. Герметичность данных изделий является одним из основных требований и необходима для надежного функционирования СКВ. Даны методика расчета показателей герметичности при испытаниях манометрическим методом, схемы устройства для контроля герметичности ТПМ и стенда для испытаний герметичности гибких трубопроводов, а также краткий технологический процесс проведения операций контроля герметичности.

Ключевые слова: тканепленочные материалы, гибкие трубопроводы, системы кондиционирования воздуха, контроль герметичности, требования, полимеры

Для цитирования: Макрушин К.В., Баранников А.А., Ищенко И.А., Судьин Ю.И. Вопросы оценки герметичности тканепленочных материалов и изготовленных из них гибких трубопроводов систем кондиционирования воздуха // Труды ВИАМ. 2024. № 12 (142). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-75-84.

Scientific article

ISSUES OF ASSESSING THE TIGHTNESS OF FABRIC-FILM MATERIALS AND FLEXIBLE PIPELINES OF AIR CONDITIONING SYSTEMS MADE OF THEM

K.V. Makrushin¹, A.A. Barannikov¹, I.A. Ishchenko¹, Yu.I. Sudyin¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The article presents the main principles, methods and techniques for assessing the tightness of fabric-film materials (FMM) and flexible pipelines of air conditioning systems (ACS) of aircraft made of them. The tightness of these products is one of the main requirements and is necessary for the reliable functioning of the ACS. The article presents a method for calculating the tightness indicators during tests using the manometric method, diagrams of a device for monitoring the tightness of the TPM, a stand for testing the tightness of flexible pipelines, and a brief technological process for performing tightness monitoring operations.

Keywords: fabric-film materials, flexible pipelines, air conditioning systems, control tightness, requirements, polymers

For citation: Makrushin K.V., Barannikov A.A., Ishchenko I.A., Sudyin Yu.I. Issues of assessing the tightness of fabric-film materials and flexible pipelines of air conditioning systems made of them. *Trudy VIAM*, 2024, no. 12 (142), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-75-84.

Введение

Системы кондиционирования воздуха (СКВ) в составе конструкции современной авиационной техники предназначены для создания безопасных и комфортных условий пребывания человека на борту самолетов или вертолетов. Таким образом, главная задача СКВ – обеспечить в кабинах летательных аппаратов требуемые температурно-влажностные и воздушные режимы [1]. Как известно, климатические условия внешней окружающей среды при полетах (особенно на больших высотах) неприемлемы для существования экипажа и пассажиров. Поэтому СКВ должны создавать искусственные климатические условия для поддержания гигиенических параметров воздуха в салоне летательного аппарата [2]. Ранее основным материалом для изготовления элементов СКВ являлись алюминиевые сплавы. Но, начиная с последних десятилетий прошлого века, произошла настоящая революция в области материаловедения, а в отраслях машиностроения началось массовое внедрение полимерных композиционных материалов. Особенно такая тенденция проявилась при создании авиационно-космической техники [3–5] – например, в самолетах Ан-124 и Ан-225 объем применения композитов доходил до 28 % [6]. Применение полимерных композиционных материалов в составе СКВ очень выгодно для снижения массы и повышения ресурса летательного аппарата, а также обеспечивает экономию и необходимое качество воздуха в салоне самолетов и вертолетов. Как правило, элементы СКВ имеют вид трубопроводов разнообразных форм и размеров. В случае изготовления трубопроводов СКВ из композитов они могут быть в виде гибких конструкций круглого или овального сечения или в виде жестких коробов и труб любой геометрической формы. Использование гибких трубопроводов СКВ из композитов обусловлено следующими преимуществами:

- расположение в необходимых местах с минимальными затратами на монтаж;
- возможность размещения трубопроводов за счет гибкости в любых свободных объемах отсеков с более плотной компоновкой;
- оптимизация весовых характеристик СКВ;
- невосприимчивость к коррозии (по сравнению с трубопроводами из алюминиевых сплавов).

Как и любые детали и агрегаты авиационной техники, гибкие трубопроводы СКВ должны соответствовать требованиям по пожаробезопасности и минимуму массы, по высокой надежности и герметичности, а также по сохранению требуемых характеристик во всем диапазоне рабочих температур [7].

Характеристики гибкого трубопровода СКВ во многом зависят от свойств тканепленочного материала (ТПМ) оболочки, которая должна иметь минимальную массу, быть эластичной, прочной и термостойкой в заданном диапазоне температур – обычно от –60 до +80 °С (но возможен и другой диапазон) [8].

Тканепленочный материал представляет собой композиционный неметаллический материал, состоящий из тканевой основы, пропитанной эластичным резиноподобным полимерным составом. Возможны варианты, когда данный полимерный состав нанесен на тканевую основу в виде тонкой эластичной пленки, причем эта пленка может располагаться с одной или с обеих сторон тканевой основы.

Исходя из необходимых характеристик гибких трубопроводов СКВ в составе летательных аппаратов (таких как минимум массы, герметичность, механическая прочность, работоспособность в широком диапазоне температур, грибостойкость и стойкость к топливу и жидкости гидросистем), аналогичные требования предъявляются

к материалу оболочек гибких трубопроводов, т. е. к ТПМ, который испытывают на специально отобранных образцах [9].

Кроме того, для возможности изготовления гибких трубопроводов, к ТПМ могут предъявляться требования по адгезии к клеям и герметикам или к способности свариваться, в том числе и автоматизированной сваркой.

Материалы и методы

В настоящее время к номенклатуре авиационных ТПМ, использование которых возможно при изготовлении гибких трубопроводов СКВ, можно отнести такие серийные материалы, как Атом, Атом-2, а также опытный материал марки ВРТ-12, которые имеют удельную массу $\sim 2,9$ г/дм². Для равноценной замены импортных комплектующих возникла необходимость оснащения летательных аппаратов гибкими трубопроводами СКВ с удельной массой гибкой оболочки не более 8 г/дм². Вследствие этого ТПМ для проектируемых гибких трубопроводов СКВ (согласно расчету с учетом масс спиральной части и материала для склейки) должен иметь удельную массу не более 1,7 г/дм². Создание такого легкого материала является сложной задачей, поэтому одно из наиболее важных требований, предъявляемых к ТПМ, – сохранение герметичности в необходимом диапазоне рабочих температур [10]. Существует ряд нормативных технических документов, регламентирующих методы испытаний на герметичность различных изделий, которые применимы и к испытаниям ТПМ. Необходимо отметить следующие наиболее распространенные методы испытаний на герметичность [11]:

– *радиоактивный метод*, который предусматривает два способа реализации:

– компрессионный, при котором изделие из испытываемого материала наполняется инертным газом, содержащим радиоактивные вещества. По индикатору радиации делают вывод о герметичности. Очевидно, что этот метод не подходит для контроля ТПМ, так как это листовая материал, не имеющий объема;

– камерный, при котором изделие из испытываемого материала размещается в камере, содержащей газ с радиоактивным веществом. Вывод о герметичности делают аналогично – по индикатору радиации;

– *масс-спектрометрический метод* с помощью вакуумной камеры, при котором изделие из испытываемого материала размещают в вакуумированной камере и наполняют газом под давлением. Величину утечки данного газа в камеру определяют течеискателем. При этом методе также может применяться способ накопления при атмосферном давлении. В этом случае изделие из испытываемого материала размещают в камере с атмосферным воздухом и наполняют газом под давлением. Величину утечки данного газа определяют аналогично – с помощью щупа течеискателя.

Следующий способ реализации данного метода – с помощью опрессовки в камере, при котором изделие из испытываемого материала сначала вакуумируют и размещают в специальной камере, которую наполняют нейтральным газом. Затем изделие соединяют с течеискателем и определяют герметичность.

В рамках масс-спектрометрического метода существует еще способ опрессовки замкнутых оболочек, при котором изделие из испытываемого материала размещают в специальной камере, которую наполняют нейтральным газом под давлением. Затем изделие перемещают во вторую камеру – ее уже вакуумируют и определяют герметичность с помощью течеискателя, присоединенного ко второй камере.

Следующий способ контроля герметичности в рамках масс-спектрометрического метода – обдув, при котором изделие из испытываемого материала вакуумируют и обдувают инертным газом. Герметичность определяют течеискателем, соединенным с изделием.

Еще один способ, который применяется при масс-спектрометрическом методе, – определение герметичности с помощью щупа, которым исследуют поверхность изделия, заполненного инертным газом под давлением, при этом щуп подключен к течеискателю.

– *галогенный метод*, при котором существуют два способа выявления мест негерметичности:

– при помощи специального щупа, соединенного с галогенным течеискателем для исследования изделия, наполненного газом под избыточным давлением, содержащим галогены (например, фреон);

– с помощью обдува испытываемого изделия галогеносодержащим газом. Герметичность изделия определяют с помощью соединенного с ним течеискателя;

– *пузырьковый метод*, который имеет несколько способов реализации:

– при компрессионном способе надувают газом изделие из испытываемого материала и помещают его в емкость с какой-либо жидкостью (например, с водой) – при наличии негерметичности наблюдаются пузырьки газа. При способе нагревания контроль проводят аналогично, только жидкость в емкости нагревают;

– камерный способ отличается тем, что изделие из испытываемого материала подключают к специальной камере, которая позволяет считать выделяющиеся пузырьки газа. Если изделие из испытываемого материала, заполненное газом, погрузить в емкость с жидкостью и над поверхностью жидкости создать вакуум, то при наличии негерметичности также будут наблюдаться пузырьки. Такой способ называется вакуумным;

– самый простой способ – это обмыливание. При этом способе изделие из испытываемого материала также надувают индикаторным газом и покрывают пенящейся жидкостью. В случае негерметичности в слое пены образуются лопающиеся пузырьки;

– *ультразвуковой метод*, при котором изделие из испытываемого материала наполняют сжатым газом. Затем поверхность изделия обследуют ультразвуковым течеискателем – при обнаружении негерметичности изменяется сигнал прибора;

– *катарометрический метод*, при котором, в отличие от предыдущего метода, газ в изделии из испытываемого материала имеет теплопроводность, отличающуюся от теплопроводности окружающей среды. Места негерметичности изделия обнаруживают специальным катарометрическим течеискателем;

– *химический метод*, при котором поверхность изделия из испытываемого материала покрывают массой из специального химического вещества или пленкой с таким веществом. Испытываемое изделие надувают особым газом, который химически реагирует с данной массой или пленкой с появлением пятен, которые обнаруживают визуально;

– *инфракрасный метод*, при котором, аналогично предыдущим методам, изделие из испытываемого материала надувают газом, но места негерметичности обнаруживают специальным инфракрасным течеискателем;

– *параметрический метод*, при котором изделие из испытываемого материала размещают в камере с повышенным давлением газа. Заключение о негерметичности дается в случае отклонения каких-либо параметров изделия от заданных характеристик;

– *манометрический метод* может применяться различными способами:

– при компрессионном способе изделие из испытываемого материала надувают газом с повышенным давлением, затем кран закрывают и измеряют продолжительность снижения давления в изделии, по которой делают вывод о герметичности;

– при вакуумном способе в изделии из испытываемого материала создают вакуум, затем кран закрывают и измеряют продолжительность повышения давления в изделии до определенного уровня, что является основанием для заключения о герметичности изделия;

– при камерном способе изделие из испытываемого материала размещают в герметичной камере и надувают газом с повышенным давлением, затем выдерживают некоторое время. По степени возрастания давления в камере делают вывод о герметичности изделия.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

Для выбора наиболее оптимального метода контроля ТПМ необходимо определиться с критериями оценки степени герметичности данного материала в конкретной цифровой форме. Например, в ОСТ 1 00128–74 [12] приведены требования по группам герметичности с величинами соответствующих этим группам норм утечек и натеканий для изделий из испытываемых материалов, работающих под давлением сжатого газа или под вакуумом, а также рекомендации по выбору метода контроля герметичности в зависимости от номера группы. Поскольку гибкие трубопроводы авиационных СКВ относятся к системам открытого типа (т. е. на выходе соединяются с атмосферой кабины экипажа или пассажирского салона), то для их оболочек, изготовленных из ТПМ, целесообразно предъявлять требования по герметичности на уровне группы 2-12 по ОСТ 1 00128–74. Для данной группы в указанном документе рекомендуется применение манометрического метода в соответствии с ОСТ 1 41318–2002 [13], но, согласно данному стандарту, изделие из испытываемого материала должно иметь вид объемной фигуры, а ТПМ представляет собой рулонный материал. Выход из указанного противоречия возможен, если в рамках манометрического метода использовать вакуумный способ, описанный ранее. Для реализации этого способа принято, что листовой фрагмент ТПМ с площадью зоны контроля герметичности S (дм²) является разверткой на плоскость объемной фигуры в виде куба. Длина стороны куба (дм) равна a (рис. 1). Тогда объем данного куба V (л) равен $V = a^3$, площадь грани этого куба S_1 (дм²) составляет $S_1 = a^2$.

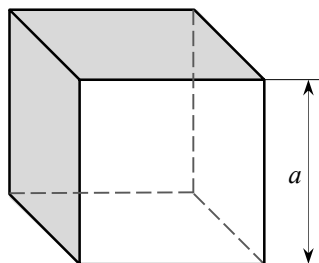


Рис. 1. Куб с площадью поверхности, соответствующей зоне контроля герметичности

Поскольку куб имеет шесть граней $S_1 = S/6$, то расчет величины утечки A (Па·л/с) проводится на основании ОСТ 1 00128–74 по формуле

$$A = \frac{P \cdot V}{t} \quad (1)$$

или, если подставить в эту формулу выражение для V , то по формуле

$$A = \frac{P(\sqrt{S/6})^3}{t}, \quad (2)$$

где P – величина снижения давления вакуума на заданную величину, Па; t – продолжительность снижения давления вакуума, с.

Величина утечки A должна соответствовать выбранной группе герметичности по ОСТ 1 00128–74. С практической стороны для контроля герметичности ТПМ данным способом возможно применение специального приспособления (рис. 2).

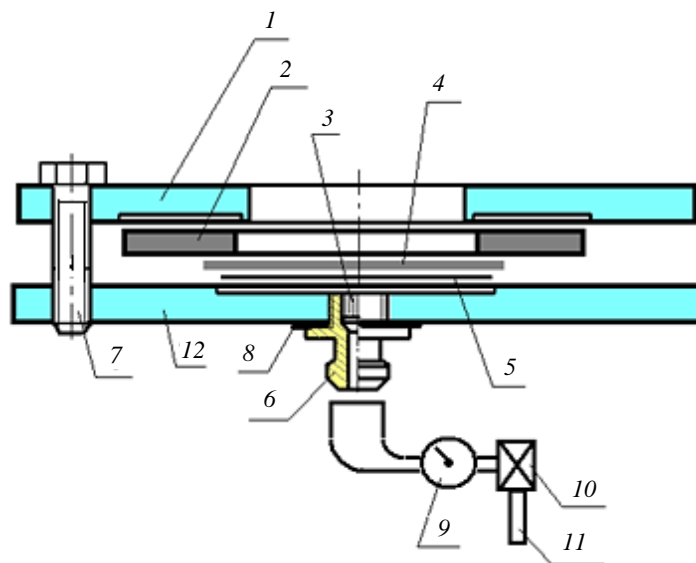


Рис. 2. Возможная схема приспособления для определения герметичности тканепленочного материала (вид сечения по плоскости, перпендикулярной плоскости образца из композита): 1 – крышка; 2 – резиновое уплотнение; 3 – втулка из пористого материала; 4 – испытываемый тканепленочный материал; 5 – слой распределительной сетки; 6 – штуцер; 7 – болт (не менее 3 шт.); 8 – прокладка резиновая; 9 – вакуумметр; 10 – кран; 11 – трубка к вакуумному насосу; 12 – основание

Видно, что приспособление имеет простую конструкцию и обеспечивает быструю процедуру контроля герметичности образца ТПМ. Верхняя поверхность основания должна быть полированной, а прилегающая к ней поверхность резинового уплотнения также должна быть максимально гладкой. Образец ТПМ вырезают в виде геометрической фигуры наиболее простой формы – например, круга или квадрата с заранее рассчитанной площадью, которая больше площади зоны контроля герметичности S на 10–15 %. В выемку основания приспособления укладывают распределительную сетку. Испытываемый образец ТПМ должен иметь несколько больший размер по сравнению с сеткой, его укладывают на сетку полимерным слоем вниз. Далее на образец помещают резиновое уплотнение, которое прижимают крышкой с помощью болтов. При испытании под образцом ТПМ создают вакуум, затем закрывают вакуумный кран, измеряют продолжительность снижения вакуумного давления на заранее заданную величину и проводят расчет величины утечки по вышеуказанной методике. Рекомендуется начинать процедуру контроля с испытания не образца ТПМ, а пленки гарантированно полностью герметичного материала – например, из металлической фольги или из тонкой резины. Таким образом, можно выявить начальную погрешность системы измерения герметичности, зависящую от наличия микроскопических зазоров между элементами приспособления. Как правило, контролируют герметичность серии образцов ТПМ, вырезанных из различных мест рулона материала каждой партии.

Поскольку главная цель оценки герметичности ТПМ – это обеспечение стабильного качества конечного изделия, т. е. гибкого трубопровода СКВ, то завершающей стадией процедуры контроля герметичности партии ТПМ должны являться изготовление гибкого трубопровода в соответствии с конструкторской и нормативно-

технической документацией [14] и контроль его герметичности. Технологический процесс изготовления данного трубопровода включает следующие операции: подготовка оснастки, раскрой оболочки из ТПМ, склейка оболочки, подготовка армирующей стренги, намотка армирующей стренги, изготовление гибких манжет для соединения с другими трубопроводами СКВ.

Выбранная технология позволяет минимизировать габариты и массу конструкции при обеспечении заданных тактико-технических характеристик и высокой надежности в сложных условиях эксплуатации [15].

На герметичность гибкого трубопровода влияет не только состояние герметичности ТПМ, применяемого при его изготовлении, но и состояние склейки оболочки и манжет. Для контроля готового гибкого трубопровода в качестве наиболее простого и эффективного решения можно предложить примененный при контроле ТПМ манометрический метод. Но использовать уже не вакуумный способ, а другой, так называемый компрессионный способ, при котором испытываемый гибкий трубопровод заполняется газом, сжатым до определенного давления. После закрытия крана измеряют продолжительность снижения давления в гибком трубопроводе на выбранную фиксированную величину. Затем проводят расчет величины утечки A по приведенной ранее формуле (1), но только с учетом того, что в качестве величины V берется внутренний объем испытываемого гибкого трубопровода, а в качестве величины снижения давления P – выбранное по условиям удобства расчета фиксированное значение, например 10000 Па (0,01 МПа или 0,1 кгс/см²) или другое, кратное ему. Величина утечки A при компрессионном способе (так же как и при вакуумном способе, примененном при испытаниях ТПМ) должна соответствовать выбранной группе герметичности по ОСТ 1 00128–74.

Для применения манометрического метода компрессионным способом разработан и изготовлен специальный стенд, показанный на рис. 3.

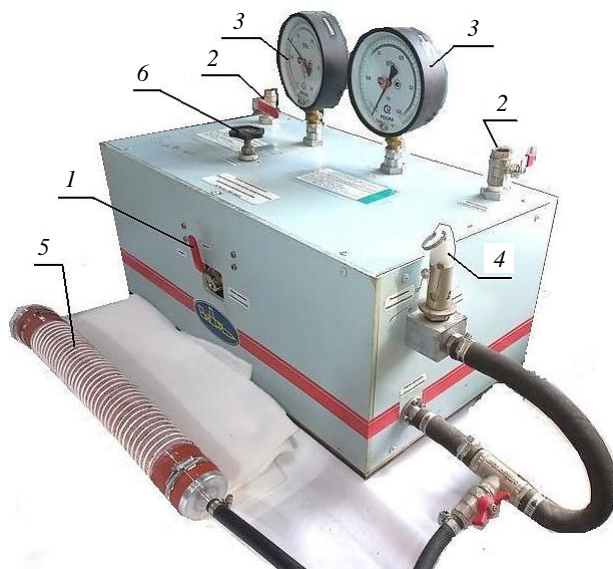


Рис. 3. Стенд для определения герметичности компрессионным способом на основе манометрического метода: 1 – кран управления; 2 – краны стравливания давления; 3 – манометры; 4 – предохранительный клапан; 5 – испытываемый гибкий трубопровод; 6 – редукционный клапан

Технологический процесс определения герметичности компрессионным способом на основе манометрического метода с помощью стенда начинают с операции

подготовки гибкого трубопровода, т. е. установки в манжетах двух заглушек, одна из которых должна иметь штуцер для закрепления шланга подачи газа с избыточным давлением. Затем после подключения стенда к сети сжатого газа с помощью редукционного клапана задают величину избыточного давления и контролируют по первому манометру. Обычно она не должна превышать 0,07 МПа. Далее с помощью крана управления подают сжатый газ под необходимым давлением внутрь испытываемого гибкого трубопровода, а по второму манометру контролируют величину давления в нем. После достижения необходимой величины давления кран управления закрывают и с помощью секундомера по второму манометру контролируют продолжительность снижения давления на ранее выбранную фиксированную величину P . По полученным данным рассчитывают величину утечки. После проведения испытаний необходимо закрыть подачу сжатого газа и снизить давление в стенде с помощью кранов стравливания. При несоответствии рассчитанной величины утечки требованиям технических условий проводят визуальный контроль мест негерметичности гибкого трубопровода (как показано ранее – компрессионным способом пузырькового метода, т. е. погружением испытываемого трубопровода в емкость с водой и подачей сжатого воздуха с помощью стенда или способом обмыливания).

Необходимо также отметить, что в целях повышения производительности труда актуальной становится задача автоматизации процедуры контроля герметичности ТПМ и изделий из него. Наиболее подробно различные методы и способы решения данной задачи рассмотрены в работе [16]. Если проанализировать факты выявленных случаев негерметичности ТПМ, то можно сделать вывод, что дефектные места имеют вид отдельных точек с отсутствующим на ткани основы полимерным покрытием. Визуально они невидимы, но на просвет с применением сильной электрической лампы эти места выглядят как яркие точки. Поэтому можно предложить косвенный метод автоматизированного контроля герметичности ТПМ, при котором полотно готового материала при его непрерывном движении на выходе из установки нанесения полимерного покрытия постоянно просвечивают сильными электрическими лампами и яркие точки мест дефектов фиксируют фотоэлектронными приборами с компьютерным управлением.

Заключения

Представленный в статье анализ методов и способов контроля герметичности ТПМ и изготовленных из них гибких трубопроводов СКВ, а также результатов натурных испытаний с применением указанного оборудования позволяет сделать вывод, что поставленные задачи успешно решаются. Данные технологии контроля герметичности опробованы, отработаны и применяются при проведении опытных и серийных хозяйственных работ по изготовлению элементов СКВ для современной авиационной техники.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Министерство) в рамках Соглашения № 075-11-2024-006 между Министерством и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на основании Распоряжения Правительства Российской Федерации № 1789-р от 04 июля 2023 г. об утверждении комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства».

Список источников

1. ГОСТ 22607–77. Системы кондиционирования воздуха самолетов и вертолетов. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1977. 7 с.
2. Ткачева В.Р., Галка Г.А. Обзор существующих систем кондиционирования воздушных судов // Молодой ученый. 2016. № 23 (127). С. 91–95.
3. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее. Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. № 5. С. 8–18.
4. Старцев В.О., Антипов В.В., Славин А.В., Горбовец М.А. Современные отечественные полимерные композиционные материалы для авиастроения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 2 (71). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 14.10.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
5. Ерасов В.С., Сибяев И.Г. Схема разработки и оценки свойств конструкционных авиационных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 1 (70). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 14.10.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-61-81.
6. Каблов Е.Н. Материалы – основа любого дела // Деловая слава России. 2013. № 2. С. 4–9.
7. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Современные полимерные материалы для изготовления элементов системы кондиционирования воздуха в летательных аппаратах // Труды ВИАМ. 2017. № 12 (60). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 23.08.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-12-6-6.
8. Тканепленочный материал и изделие на его основе: пат. 2733779 Рос. Федерация; заявл. 11.11.19; опубл. 06.10.20.
9. Сутубалов А.И., Подживотов Н.Ю., Шершак П.В., Яковлев Н.О. Оценка однородности физико-механических свойств полуфабрикатов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2024. № 1 (74). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 14.10.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-1-121-135.
10. Иванов М.С., Павлюкович Н.Г., Донских И.Н., Морозова В.С. Влияние эксплуатационных факторов на свойства тканепленочного материала для воздухопроводов низкого давления системы кондиционирования воздуха летательных аппаратов // Труды ВИАМ. 2023. № 4 (122). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.09.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-4-118-127.
11. ГОСТ 24054–80. Изделия машиностроения и приборостроения. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1980. 14 с.
12. ОСТ 1 00128–74. Отраслевой стандарт. Герметичность изделий. Нормы. М.: МАП, 1987. 7 с.
13. ОСТ 1 41318–2002. Авиационный стандарт. Системы гидрогазовые. Контроль герметичности манометрическим методом. М.: МАП, 2002. 7 с.
14. Гибкий трубопровод из полимерного композиционного материала: пат. 2733797 Рос. Федерация; заявл. 11.11.19, опубл. 06.10.20.
15. Каблов Е.Н. Основные направления развития материалов для авиационно-космической техники // Перспективные материалы. 2000. № 3. С. 27–36.
16. Жежера Н.И. Автоматизация испытаний изделий на герметичность: учеб. пособие. Оренбург, 2005. 475 с.

References

1. State Standard 22607–77. *Air conditioning systems for aircraft and helicopters. Terms and definitions*. Moscow: Publ. House of Standards, 1977, 7 p.
2. Tkacheva V.R., Galka G.A. Review of existing aircraft air conditioning systems. *Molodoy uchenyy*, 2016, no. 23 (127), pp. 91–95.
3. Kablov E.N. What to make the future from. New generation materials, technologies for their creation and processing – the basis of innovations. *Krylya Rodiny*, 2016, no. 5, pp. 8–18.
4. Startsev V.O., Antipov V.V., Slavin A.V., Gorbovets M.A. Modern domestic polymer composite materials for aviation industry (review). *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 2 (71), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 14, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.

5. Erasov V.S., Sibayev I.G. Scheme for the development and evaluation of properties of structural aviation composite materials. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 1 (70), paper no. 05. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 14, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-61-81.
6. Kablov E.N. Materials are the basis of any business. *Delovaya slava Rossii*, 2013, no. 2, pp. 4–9.
7. Veshkin E.A., Satdinov R.A., Postnov V.I., Strelnikov S.V. Modern polymer materials for manufacture of elements of the air conditioning system in flying apparatus. *Trudy VIAM*, 2017, no. 12 (60), paper no. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 23, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-12-6-6.
8. *Film-based material and product based on it*: pat. 2733779 Rus. Federation; appl. 11.11.19; publ. 06.10.20.
9. Sutubalov A.I., Podzhivotov N.Yu., Shershak P.V., Yakovlev N.O. Evaluation of homogeneity of physical and mechanical properties of semi-finished products for aviation purpose. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 1 (74), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 14, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-1-121-135.
10. Ivanov M.S., Pavlukovich N.G., Donskih I.N., Morozova V.S. Influence of operational factors on the properties of fabricfilm material for lowpressure air ducts of the air conditioning system of aircraft. *Trudy VIAM*, 2023, no. 4 (122), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 20, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-4-118-127.
11. State Standard 24054–80. *Mechanical engineering and instrument making products. Leak test methods. General requirements*. Moscow: Publ. House of Standards, 1980, 14 p.
12. Industry standard 1 00128–74. *Industry standard. Leakage of products*. Norms. Moscow: MAP, 1987, 7 p.
13. Industry standard 1 41318–2002. *Aviation standard. Hydrogas systems. Leakage testing by manometric method*. Moscow: MAP, 2002, 7 p.
14. *Flexible pipeline made of polymer composite material*: pat. 2733797 Rus. Federation; appl. 11.11.19, publ. 06.10.20.
15. Kablov E.N. Main directions of development of materials for aerospace engineering. *Perspektivnye materialy*, 2000, no. 3, pp. 27–36.
16. Zhezhera N.I. *Automation of testing of products for tightness*: textbook. Orenburg, 2005, 475 p.

Информация об авторах

Макрушин Константин Владимирович, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Баранников Александр Александрович, начальник лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Ищенко Иван Александрович, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Судьин Юрий Иванович, инженер-технолог, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Konstantin V. Makrushin, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Alexander A. Barannikov, Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ivan A. Ishchenko, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Yuri I. Sudin, Engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 28.10.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 07.11.2024.
The article was submitted 28.10.2024; approved and accepted for publication after reviewing 07.11.2024.