ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
ГосНИИ ГА

SCIENTIFIC BULLETIN
OF THE STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF CIVIL AVIATION (GosNII GA)

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ (№ 348)

№ 37

Москва
2021

ББК 39.5

Н34

Научный вестник ГосНИИ ГА

№ 37

Научный вестник ГосНИИ ГА включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, сформированный в соответствии с приказом Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. № 793.

Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation is included in the List of peer-reviewed scientific publications, which should be published basic scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Sciences, for the degree of Doctor of Sciences, formed in accordance with the order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of 25 July 2014 no. 793.

Учредитель. Издатель. Редакция:

Федеральное государственное унитарное предприятие
Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации
125438, Москва, ул. Михалковская, д. 67, корп. 1

Founder, Publisher, Editorial board:
Federal State Unitary Enterprise The State Scientific Research Institute of Civil Aviation
Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation

Подписной индекс в Объединенном Каталоге
«Пресса России» 70663
© ФГУП Государственный НИИ гражданской авиации, 2021

Редакционная коллегия

Главный редактор – А.В. Максименко, канд. соц. наук (ФГУП ГосНИИ ГА)
Зам. главного редактора – А.А. Богоявленский, д-р техн. наук (ФГУП ГосНИИ ГА)
Ответственный секретарь – С.В. Диогенов, канд. воен. наук (ФГУП ГосНИИ ГА)

Члены редакционной коллегии

С.С. Билидеров, д-р техн. наук, доцент (*Национальный военный университет, Велико Тырново, Болгария*)
Е.С. Вайцехович, канд. техн. наук (*ОАО «Минский завод гражданской авиации № 407», Минск, Беларусь*)
В.И. Горбаченко, почетный работник высшего профессионального образования РФ, д-р техн. наук, профессор (*ПГУ, Пенза, Российская Федерация*)
М.С. Громов, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, канд. техн. наук (*ФГУП ГосНИИ ГА, Москва, Российская Федерация*)
С.В. Далецкий, заслуженный работник транспорта РФ, д-р техн. наук, профессор (*ФГУП ГосНИИ ГА, Москва, Российская Федерация*)
А.Я. Книвель, канд. техн. наук *(ФАО «Авиарегистр России», Москва, Российская Федерация)*
В.Б. Козловский, д-р техн. наук, профессор (*АО «НПК «ПАНХ», Краснодар, Российская Федерация*)
Е.А. Куклев, заслуженный работник высшей школы, д-р техн. наук, профессор (*СПбГУ ГА, Санкт-Петербург, Российская Федерация*)
Е.Е. Нечаев, заслуженный работник транспорта, д-р техн. наук, профессор (*МГТУ ГА, Москва, Российская Федерация*)
Г. Попов, д-р техн. наук, профессор (*Научно-технический союз машиностроителей Болгарии «Industry-4.0», София, Болгария*)
Н. Радулов, д-р техн. наук, профессор (*Новый Болгарский Университет, София, Болгария*)
Н.А. Сиденко, д-р техн. наук (*Рижский технический университет, Рига, Латвия*)
В.А. Соколов, заслуженный работник высшей школы РФ, д-р физ.-мат. наук, профессор, (*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Российская Федерация*)
О.Ю. Страдомский, заслуженный работник транспорта РФ, канд. техн. наук (*ФГУП ГосНИИ ГА, Москва, Российская Федерация*)
Р.С. Фадеев, канд. техн. наук (*Ассоциация «Транспортная безопасность», Москва, Российская Федерация*)
Фам Вьет Зунг, канд. техн. наук (*Министерство транспорта Вьетнама, Ханой, Вьетнам*)
О.Г. Феоктистова, д-р техн. наук, доцент (*МГТУ ГА, Москва, Российская Федерация*)

тел./факс: 8 (495) 956 49 63 (*1018) e-mail: science@gosniiga.ru

Плата за публикацию в Научном вестнике ГосНИИ ГА с аспирантов и студентов не взимается

Editorial Board

Chief editor – Maksimenko A.V., Cand. Sci. (Soc.), GosNII GA, Moscow, Russian Federation

Deputy chief editor – Bogoyavlenskiy A.A., Dr. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russian Federation

Responsible secretary – Diogenov S.V., Cand. Sci. (Mil.), GosNII GA, Moscow, Russian Federation

The members of the Editorial Board

Biliderov S.S., Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, The National Military University, Veliko Tarnovo, Bulgaria
Vaitsehovich E.S., Cand. Sci. (Eng.), Minsk Plant of Civil Aviation No. 407, Minsk, Belarus
Gorbachenko V.I., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Penza State University, Penza, Russian Federation
Gromov M.S., Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russian Federation
Daletskiy S.V., Dr. Sci. (Eng.), Professor, GosNII GA, Moscow, Russian Federation
Dung Pham Viet, Cand. Sci. (Eng.), Department of Air Navigation of the Ministry of Transport of Vietnam, Hanoi, Vietnam
Knivel A.Ya., Cand. Sci. (Eng.), Aviation register of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation
Kozlovskiy V.B., Dr. Sci. (Eng.), Professor, PANH Helicopters, Krasnodar, Russian Federation
Kuklev E.A., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Saint-Petersburg State University CA, Saint-Petersburg, Russian Federation
Nechaev E.E., Dr. Sci. (Eng.), Professor, MSTU CA, Moscow, Russian Federation
Popov G., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Scientific and Technical Union of Mechanical Engineers of Bulgaria «Industry-4.0», Sofia, Bulgaria
Radulov N., Dr. Sci. (Eng.), Professor, New Bulgarian University, Sofia, Bulgaria
Sidenko N.A., Dr. Sci. (Eng.), Riga Technical University, Riga, Latvia
Sokolov V.A., Dr. Phys.-Mat. (Eng.), Professor, P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russian Federation
Stradomskiy O.Yu., Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russian Federation
Fadeev R.S., Cand. Sci. (Eng.), Transport Safety Association, Moscow, Russian Federation
Feoktistova O.G., Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, MSTU CA, Moscow, Russian Federation

tel./fax: 8 (495) 956 49 63 (*1018) e-mail: science@gosniiga.ru

Postgraduates and students are not charged for the publication of articles in the Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation

Federal State Unitary Enterprise The State Scientific Research Institute of Civil Aviation
Legal and postal address: Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

№ 37 **2021**

СОДЕРЖАНИЕ

Аэронавигация и эксплуатация воздушного транспорта

Разиньков Ф.Ф. Анализ эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок, обшивки хвостовых балок вертолетов типа Ми-8..... 9

Масленникова Г.Е., Дмитриева С.В., Тажетдинов Р.Р. Обобщение опыта использования режима снижения тяги при взлете самолетов RRJ-95..... 22

Богоявленский А.А. Методология и практика обеспечения единства измерений при эксплуатации наземных автоматизированных систем контроля бортового оборудования воздушных судов..... 31

Великанов А.В., Дьяков Д.Е., Великанова Л.А., Дьякова Н.А. Роботизированная система для наземного транспортирования воздушных судов..... 42

Свиридов А.А. Развитие методов получения механических свойств полимерных композиционных материалов..... 53

Великанов А.В., Дьяков Д.Е., Великанова Л.А., Дьякова Н.А. Рекуперация при буксировке самолетов..... 65

Мхитарян В.А., Леве Д.Е., Волков В.В. Совершенствование методов определения аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений самолетов..... 73

Головченко Г.В., Чинючин Ю.М., Далецкий С.В. Анализ приоритетов и тенденций автоматизации российских аэропортов..... 84

Низаметдинов Р.Р. Структура парка региональных самолетов гражданской авиации Российской Федерации и его динамика на 2021–2025 гг..... 95

Техногенная безопасность транспортных систем (на воздушном транспорте)

Болелов Э.А., Шалупин С.В., Губерман И.Б. Задача разработки математического обеспечения компьютерной тренажерной системы для инженерно-технического персонала служб ЭРТОС..... 107

Кулешов А.А. К решению задачи управления безопасностью полетов самолета для местных воздушных линий с поддержкой эксплуатационным стандартом технического обслуживания MSG-3..... 117

Будзко В.И., Волков М.В., Годиков Д.А., Кан А.В., Михайлин И.С., Шапкин В.С. Технологии искусственного интеллекта в системе управления безопасностью авиационной деятельности..... 126

Машошин А.О. Определение истинности сообщений системы автоматического зависимого наблюдения в условиях несанкционированного вмешательства на управление воздушным движением за счет метода монолатерации..... 136

SCIENTIFIC BULLETIN
OF THE STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE
OF CIVIL AVIATION

No. 37 **2021**

CONTENTS

Air navigation and operation of aircraft

Razinkov F.F. Operational damage analysis, caused by fatigue of the material under the action of vibroacoustic loads, frames tail beams of Mi-8 helicopters..... 9

Maslennikova G.E., Dmitrieva S.V., Tazhetdinov R.R. Summary of experience of using thrust reduction mode during aircraft RRJ-95 take-off..... 22

Bogoyavlenskiy A.A. Methodology and practice of ensuring the uniformity of measurements in the operation of ground-based automated systems for diagnostics airborne equipment of aircraft..... 31

Velikanov A.V., Dyakov D.E., Velikanova L.A., Dyakova N.A. Robotic system for ground transport of aircraft..... 42

Sviridov A.A. Evolution of the methods of obtaining mechanical properties of the polymer composite materials..... 53

Velikanov A.V., Dyakov D.E., Velikanova L.A., Dyakova N.A. Recuperation when towing aircraft..... 65

Mkhitaryan V.A., Leve D.E., Volkov V.V. Improvement of methods for determining aerodynamic errors in aircraft air pressure receivers..... 73

Golovchenko G.V., Chinuchin Yu.M., Daletskiy S.V. Analysis of priorities and trends in automation of russian airport..... 84

Nizametdinov R.R. The structure of the fleet of regional civil aviation aircraft of the Russian Federation and its dynamics for 2021–2025..... 95

Technogenic safety of transport systems (on air transport)

Bolelov E.A., Shalupin S.V., Guberman I.B. The task of developing mathematical support for a computer simulator system for engineering and technical personnel of the radio equipment and communication maintenance services..... 107

Kuleshov A.A. The task of flight safety management system for regional aircraft with support by MSG-3 schedule maintenance standard..... 117

Budzko V.I., Volkov M.V., Godikov D.A., Kan A.V., Mikhailin I.S., Shapkin V.S. Artificial intelligence technologies in the aviation safety management system..... 126

Mashoshin A.O. Message verification of the automatic dependent surveillance system under unauthorized intervention using the monolateration method..... 136

УДК УДК 629.735.015.4:629.735.45

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ УСТАЛОСТЬЮ МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ОБШИВКИ ХВОСТОВЫХ БАЛОК ВЕРТОЛЕТОВ ТИПА МИ-8

Ф.Ф. РАЗИНЬКОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе приведены основные результаты анализа усталостных повреждений обшивки хвостовых балок (ХБ) вертолетов типа Ми-8. Показано, что после усиления обшивки ХБ в зонах установки стабилизатора и подкосов хвостовой опоры наиболее часто повреждения усталостного характера выявляются в зоне, сопряженной с обтекателем антенны АШС-1 в верхней части ХБ между шпангоутами № 2 ХБ–3 ХБ, и между шпангоутами № 1 ХБ–9 ХБ левой и нижней технологических панелей обшивки ХБ. Для уменьшения количества усталостных повреждений в обшивке хвостовых балок по результатам проведенного анализа рекомендовано провести ее усиление в указанных зонах. Анализ распределения суммарного количества усталостных трещин, выявленных в обшивке ХБ, а также количества хвостовых балок с трещинами в обшивке и усиливающих накладках в зоне установки обтекателя антенны АШС-1 и сопряженных с ней зонах по наработке с начала эксплуатации, позволил выявить интервалы наработок, при которых в рассмотренных зонах обшивки хвостовых балок наблюдается изменение интенсивности образования усталостных трещин.

Ключевые слова: вертолет Ми-8, хвостовая балка, обшивка, усиливающая накладка, шпангоут, усталостное повреждение, трещина

OPERATIONAL DAMAGE ANALYSIS, CAUSED BY FATIGUE OF THE MATERIAL UNDER THE ACTION OF VIBROACOUSTIC LOADS, FRAMES TAIL BEAMS OF MI-8 HELICOPTERS

F.F. RAZINKOV

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper presents the main results of the analysis of fatigue damage to the skin of the tail beams of Mi-8 helicopters. It is shown that after strengthening the tail beam skin in the areas of installation of the stabilizer and struts of the tail support, fatigue damage is most often detected in the area associated with the fairing of the antenna in the upper part of the tail beam between the frames No. 2–3, and between the frames No. 1–9 of the left and lower technological panels of the tail beam skin. In order to reduce the amount of fatigue damage in the skin of the tail beams, according to the results of the analysis, it is recommended to strengthen it in these zones. Analysis of the distribution of the total number of fatigue cracks detected in the tail beams skin, as well as the number of tail beams with cracks in the skin and reinforcing linings in the installation area of the antenna fairing and its associated zones by operating time since the beginning of operation, allowed us to identify the intervals of operating time at which a change in the intensity of fatigue cracks formation is observed in the considered areas of the tail beam skin

Keywords: Mi-8 helicopter, tail boom, frame, reinforcing linings, diaphragm, fatigue damage, crack

Введение

Доработка, выполняемая по критическому месту усталостной прочности и долговечности фюзеляжа вертолетов Ми-8 всех типов и модификаций, которая Разработчиком определена в зоне между шпангоутами № 3–4 концевой балки (КБ) [1], привела практически к полному устранению условий образования трещин усталостного характера в обшивке концевых балок [2–6].

Вместе с тем, после проведения ряда доработок стыковых шпангоутов хвостовых балок (ХБ), усиления шпангоутов № 13 ХБ и 14 ХБ в зоне установки стабилизатора, а также локального усиления обшивки хвостовых балок в этой же зоне и в зоне крепления подкосов хвостовой опоры, мероприятий, приводящих к устранению возможности образования эксплуатационных повреждений в силовом каркасе и обшивке хвостовых балок, до настоящего времени не разработано.

В данной статье термин «повреждение» используется применительно к усталостным трещинам, выявленным в объектах исследования после завершения этапа циклического накопления повреждений усталостного характера на стадии инкубационного периода исчерпания долговечности.

Наиболее наглядно различие в результатах мероприятий, направленных на повышение долговечности элементов конструкции концевых и хвостовых балок вертолетов типа Ми-8, прослеживается на примере сопоставления количества повреждений усталостного характера, выявленных в обшивке концевых и хвостовых балок. Так, если в обшивке КБ вертолетов типа Ми-8 за время наблюдений с 1999 года выявлено всего девять трещин (из них две в усиливающих накладках 140-0630-327, установленных по бюллетеню № М1733-БД-Г) девяти концевых балок, то в обшивке и в усиливающих накладках ХБ за это же время зарегистрировано 377 трещин 228 хвостовых балок [7].

На более современных типах вертолетов Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ устанавливаются усиленные концевые балки, в то время как устанавливаемая хвостовая балка не имеет конструктивных отличий от хвостовых балок вертолетов типа Ми-8. В связи с этим представляется актуальным определить зоны образования усталостных повреждений в обшивке хвостовых балок и оценить изменение интенсивности их образования по мере увеличения наработки парка вертолетов типа Ми-8.

Цель исследования

Целью исследования является анализ повреждаемости обшивки хвостовых балок вертолетов типа Ми-8 под действием виброакустических нагрузок.

Объект исследования

Объектом исследования является обшивка хвостовых балок вертолетов типа Ми-8.

Краткая характеристика объекта исследования

Хвостовая балка вертолетов типа Ми-8 имеет форму усеченного конуса, состоит из силового каркаса и гладкой наружной обшивки из листового алюминиевого сплава Д16А-Т, подкрепленной продольным силовым набором, состоящим из 26 стрингеров с № 1 по № 14, начиная сверху по обе стороны от вертикальной оси. Обшивка и стрингеры перед сборкой с поперечным силовым набором собираются в три технологические панели – правую, левую и нижнюю. Толщина обшивки панелей хвостовой балки – 0,8 мм за исключением участков правой

панели между шпангоутами № 10 ХБ–17 ХБ и стрингерами № 1–6, и левой панели между шпангоутами № 9 ХБ–17 ХБ и стрингерами № 1–9, толщина которых составляет 1 мм.

Сборка панелей хвостовых балок, изготавливаемых Казанским вертолетным заводом (КВЗ), технологически отличается от сборки Улан-Удэнского авиационного завода (У-УАЗ). Соединение стрингеров и обшивки в панелях хвостовых балок Улан-Удэнского завода клеесварное, Казанского – клепкой.

Несмотря на указанное технологическое отличие, напряженно-деформированное состояние хвостовых балок в местах, определяющих их усталостную долговечность, практически одинаково [8]. В связи с этим в настоящей работе статистический анализ повреждаемости обшивки проведен для всех хвостовых балок вертолетов типа Ми-8 без учета технологических отличий изготовления.

Краткая историческая справка выявления повреждений усталостного характера в обшивке хвостовых балок вертолетов типа Ми-8

Трещины усталостного характера, обусловленные виброакустическими нагрузками, выявлялись в обшивке хвостовых балок вертолетов типа Ми-8, начиная с самого начала их эксплуатации в гражданской авиации в 1967 году. К 1974 году было известно как минимум о 16 вертолетах, в обшивке хвостовых балок которых было выявлено 26 трещин [9]. При наработках вертолетов в пределах первого капитального ремонта, который до 1978 года проводился при достижении 1000 часов налета, выявленные в обшивке ХБ трещины в основном носили единичный характер и обнаруживались в различных зонах балок. При бóльших наработках, в интервале 1000–3000 часов, трещины выявлялись уже в основном по левому борту в зоне, ограниченной шпангоутами № 1 ХБ–4 ХБ и стрингерами № 7–12. Линейный размер трещин достигал 80 мм [9].

Устранялись такие трещины засверливанием и установкой усиливающих накладок, мероприятий по конструктивному усилению данной зоны Разработчиком не проводилось. Вследствие этого трещины усталостного характера неоднократно выявлялись в рассмотренной зоне в процессе дальнейшей эксплуатации вертолетов данного типа, в основном – между шпангоутами № 1 ХБ–3 ХБ и стрингерами № 8-9 по левому борту, достигая линейного размера 50–70 мм [10, 11].

По мере увеличения наработки парка вертолетов типа Ми-8, наряду с трещинами в рассмотренной зоне стали выявляться трещины обшивки ХБ в зонах, сопряженных с внешними агрегатами, – стабилизатором вертолета, установленным между шпангоутами № 13 ХБ–14 ХБ, и узлами крепления подкосов хвостовой опоры вертолета, расположенными в зоне шпангоута № 15 ХБ [11, 12].

Усиление обшивки ХБ в зоне установки стабилизатора частично было реализовано в рамках доработки по бюллетеню № М742-ДК «По вопросу: Усиление 13-го шпангоута хвостовой балки» (введен для вертолетов гражданской авиации 25.09.1979), в соответствии с которым помимо установки диафрагмы, усиливающей шпангоут № 13 ХБ, был увеличен с 508 мм до 540 мм в осевом направлении размер установленной на обшивке усиливающей накладки между шпангоутами № 13 ХБ–14 ХБ.

Все эксплуатирующиеся в настоящее время вертолеты типа Ми-8 доработаны в соответствии с требованиями бюллетеня № М742-ДК.

Усиление обшивки ХБ в зоне крепления подкосов хвостовой опоры было реализовано гораздо позже введением для вертолетов гражданской авиации 24.07.1991 бюллетеня № ТМ2409-БУ-Г «Вертолет Ми-8, Ми-8МТ. По вопросу: Усиление хвостовой балки в районе крепления хвостовой опоры».

Данный бюллетень распространяется на все вертолеты типа Ми-8 гражданской авиации, изготовленные КВЗ до заводского номера 8686, и изготовленные У-УАЗ до заводского номера

99150983. Вертолеты с бóльшими заводскими номерами дорабатывались в соответствии с технологией бюллетеня № ТМ2409-БУ-Г при их изготовлении.

В то же время для вертолетов, находившихся в эксплуатации до введения указанного бюллетеня, доработка не является обязательной. В соответствии с требованиями бюллетеня усилению обшивки ХБ в зоне крепления подкосов хвостовой опоры в обязательном порядке подлежат лишь хвостовые балки с имеющейся трещиной в обшивке.

Вследствие этого на ряде вертолетов, изготовленных до 1991 года, и в настоящее время выявляются трещины в обшивке ХБ в зоне шпангоута № 15 ХБ, ограниченной стрингерами № 8-10 по левому и правому бортам [7].

Но наибольшее влияние на снижение долговечности обшивки хвостовых балок оказала установка в 1984 году обтекателя антенны АШС-1 между шпангоутами № 2 ХБ-3 ХБ и стрингерами № 1-2 по правому борту (в соответствии с бюллетенями № М1218-ДМ и № М1490-БУ для вертолетов КВЗ и У-УАЗ соответственно), который ранее располагался между шпангоутами № 18-19 центральной части фюзеляжа.

Выполнение данной доработки, связанное с заменой радиостанции Р-860 на радиостанцию «Баклан-20», привело в 1989-1990 гг. к увеличению отбраковки в ремонте до 40 % усиливающих накладок, установленных под обтекателем антенны АШС-1, и резкому увеличению количества трещин в обшивке ХБ между шпангоутами № 2 ХБ-3 ХБ [13].

Анализ распределения эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала обшивки, по зонам хвостовых балок

Распределение суммарного количества эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок, в обшивке и усиливающих накладках по длине хвостовой балки вертолетов типа Ми-8 приведено на рис. 1.

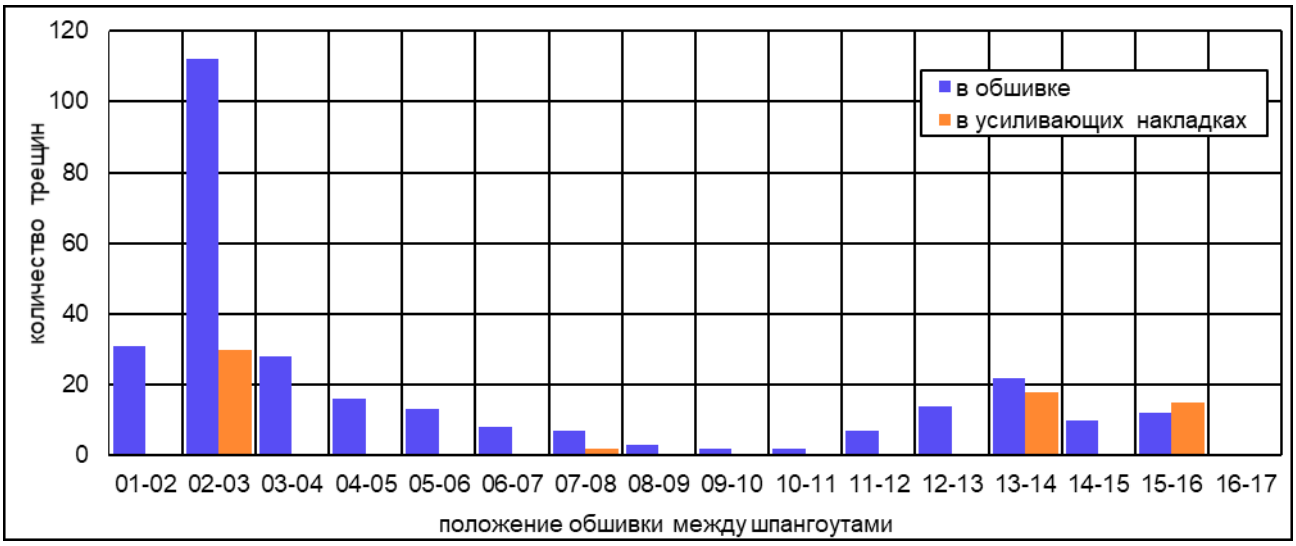


Рис. 1. Гистограмма распределения в продольном направлении хвостовой балки суммарного количества трещин в обшивке и усиливающих накладках

Наибольшее количество трещин усталостного характера в обшивке и усиливающих накладках хвостовых балок зарегистрировано в зоне между шпангоутами № 1 ХБ–4 ХБ, наименьшее – в центральной зоне ХБ между шпангоутами № 8 ХБ–11 ХБ.

Ранее было выявлено, что количество трещин в шпангоутах № 13 ХБ, 14 ХБ и диафрагмах между ними в зоне крепления стабилизатора сопоставимо с количеством трещин в шпангоутах № 2 ХБ и 3 ХБ в зоне установки обтекателя антенны АШС-1 [14]. В обшивке и усиливающих накладках ХБ количество трещин в зоне установки стабилизатора значительно меньше, чем в зоне между шпангоутами № 1 ХБ–4 ХБ. В сравнении с зоной между шпангоутами № 1 ХБ–4 ХБ также значительно меньше трещин в обшивке и в усиливающих накладках в зоне установки подкосов хвостовой опоры по шпангоуту № 15 ХБ. Это может свидетельствовать об эффективности доработок по эксплуатационным бюллетеням, разработанных с целью усиления обшивки хвостовых балок в рассмотренных зонах.

Распределение суммарного количества трещин, выявленных в обшивке и накладках хвостовых балок по правому и левому бортам относительно вертикальной оси симметрии, приведено на рис. 2.

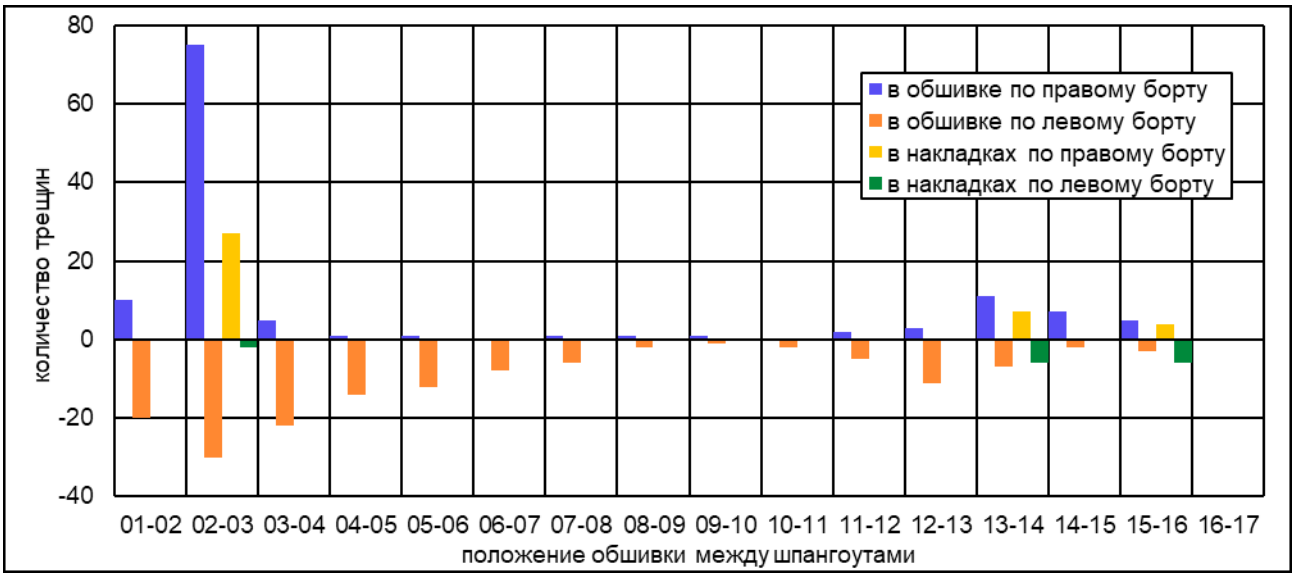


Рис. 2. Гистограмма распределения в продольном направлении хвостовой балки суммарного количества трещин в обшивке и накладках по правому и левому бортам

Между распределениями трещин в шпангоутах и в обшивке по правому и левому бортам хвостовых балок также имеется значительное различие. Так, если для шпангоутов подавляющее большинство трещин усталостного характера выявлено по правому борту хвостовых балок [14], то для обшивки и усиливающих накладок превышение количества трещин, выявленных по правому борту, справедливо только для зон установки обтекателя антенны АШС-1 между шпангоутами № 2 ХБ–3 ХБ и стабилизатора вертолета между шпангоутами № 13 ХБ–14 ХБ. В остальных зонах количество трещин, выявленных по левому борту, превосходит количество трещин, выявленных по правому борту.

Распределение количества трещин в окружном направлении, выявленных раздельно в обшивке и усиливающих накладках, приведено на рис. 3, распределение суммарного количества трещин – на лепестковой гистограмме рис. 4.

Здесь также прослеживается различие между распределением в окружном направлении количества трещин в шпангоутах и в обшивке (усиливающих накладках) хвостовых балок.

Так, между стрингерами № 6–7 по правому борту, где выявлено максимальное количество трещин (74 трещины) в шпангоутах № 13 ХБ и усиливающих диафрагмах между шпангоутами № 13 ХБ–14 ХБ [14], в обшивке и усиливающих накладках ХБ за все время сбора данных об усталостных повреждениях с 1999 года выявлено только 10 трещин.

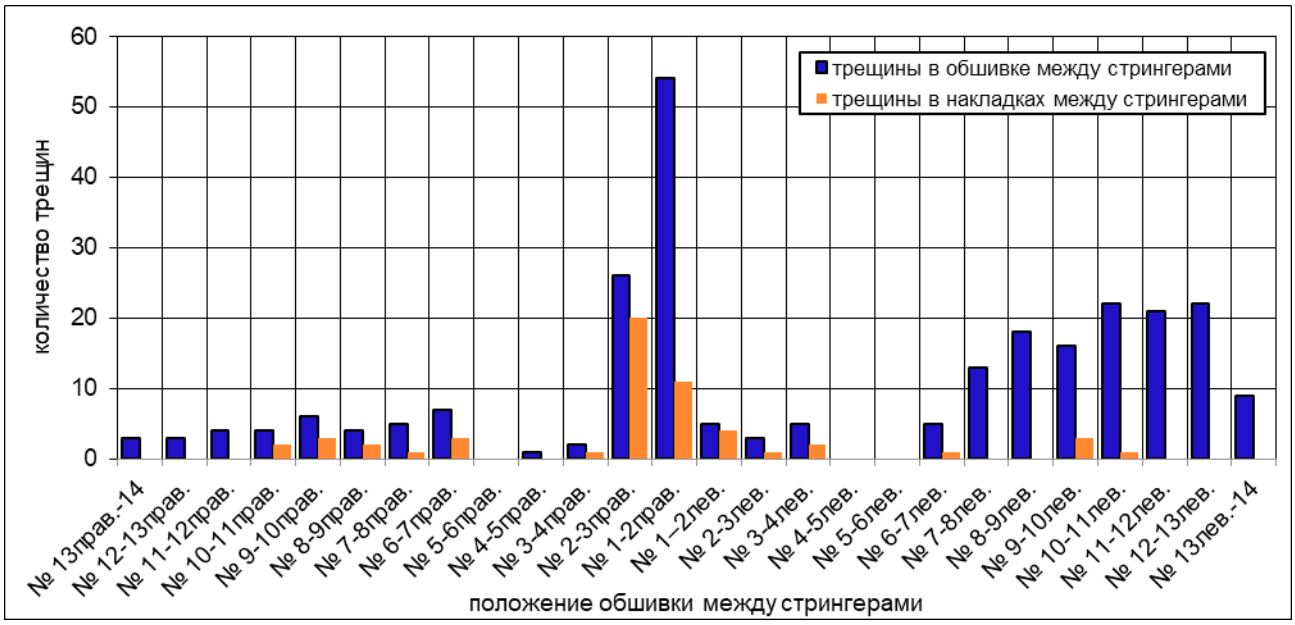


Рис. 3. Гистограмма распределения в окружном направлении суммарного количества трещин в обшивке и усиливающих накладках между стрингерами хвостовых балок

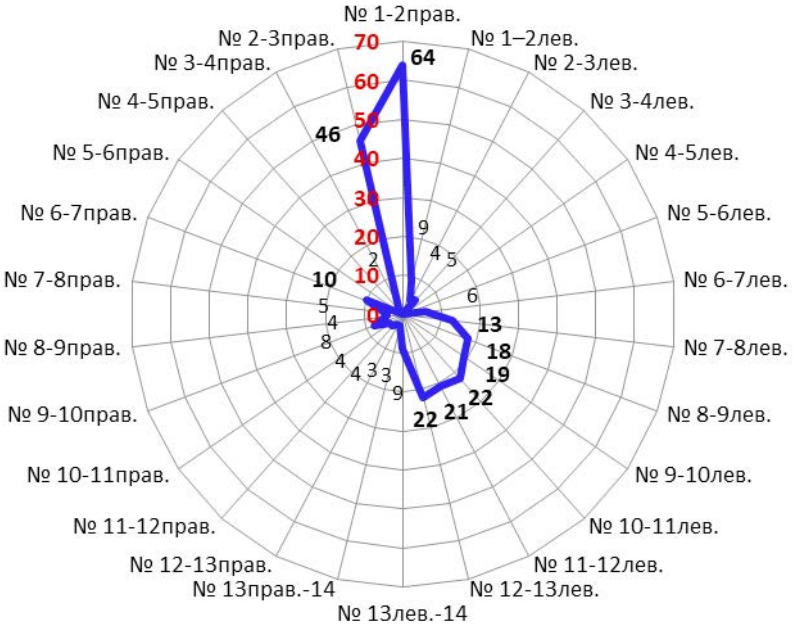


Рис. 4. Лепестковая гистограмма распределения в окружном направлении суммарного количества трещин в обшивке и усиливающих накладках между стрингерами хвостовых балок

Аналогичное различие наблюдается и в зоне установки обтекателя антенны АШС-1. Так, максимальное количество трещин в обшивке (и усиливающих накладках) выявлено, как и в шпангоутах, между стрингерами № 1–2 по правому борту. Вместе с тем большое количество трещин в обшивке зарегистрировано между стрингерами № 2–3 по правому борту, в то время как в шпангоутах зона с большим количеством трещин выявлена между стрингерами № 1-2 по левому борту.

Значительно отличается и распределение трещин в передней части хвостовых балок. Если в шпангоутах № 1 ХБ–9 ХБ трещин в зоне между стрингерами № 7-13 по левому борту не зарегистрировано, то в обшивке и усиливающих накладках между шпангоутами № 1 ХБ–№ 9 ХБ и стрингерами № 7–13 по левому борту выявлено достаточно большое их количество (рис. 4).

Анализ распределения эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала обшивки, по наработке с начала эксплуатации

Распределение суммарного количества трещин в обшивке и усиливающих накладках хвостовых балок вертолетов типа Ми-8 по наработке с начала эксплуатации (СНЭ) приведено на рис. 5.

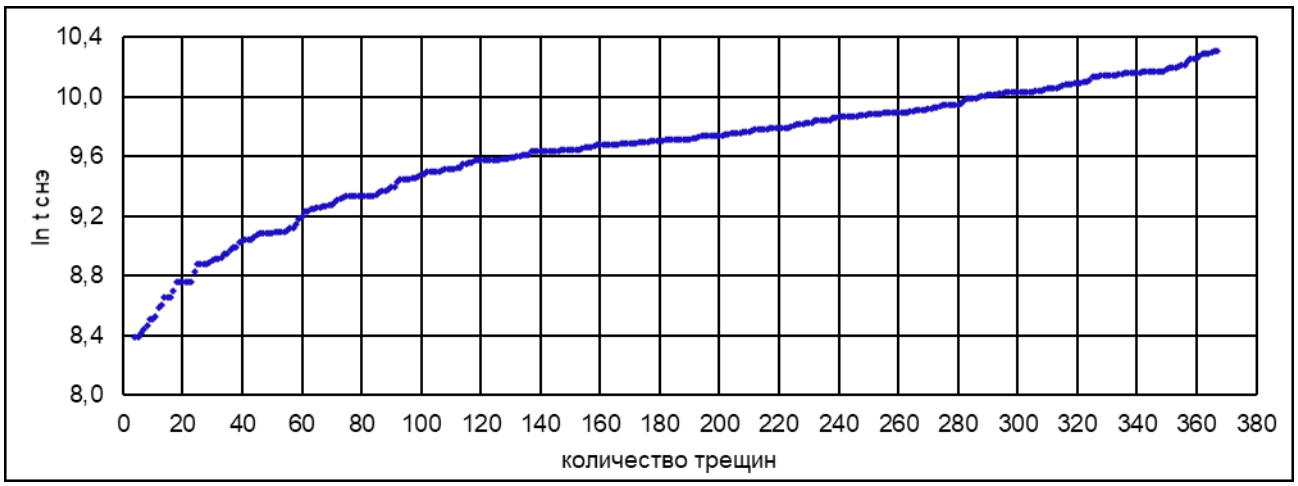


Рис. 5. Точечная гистограмма распределения суммарного количества трещин в обшивке и усиливающих накладках хвостовых балок по наработке СНЭ

На отдельных участках приведенная гистограмма имеет явно выраженный «ступенчатый» характер, который свидетельствует о достаточно резком изменении интенсивности образования трещин в обшивке и усиливающих накладках, что может быть связано с изменением напряженного состояния одного из элементов конструкции вертолета [2, 3, 14]. Наиболее характерно «ступенчатость» проявляется в интервале наработок СНЭ от восьми до приблизительно 14,5 тысяч часов ($\ln t_{снэ} \approx 9–9{,}6$).

Распределение среднего суммарного количества трещин, выявленных в обшивке и усиливающих накладках единичной хвостовой балки, по интервалам наработки СНЭ приведено на рис. 6.

В отличие от шпангоутов ХБ, в которых до наработки СНЭ 6 тыс. часов выявлялось не более одной трещины в единичной хвостовой балке, в обшивке и усиливающих накладках единичных хвостовых балок в интервале наработок СНЭ 2–6 тыс. часов по две трещины выявлялось неоднократно. Наименьшая наработка СНЭ, при которой было выявлено две трещины в различных зонах обшивки ХБ (в зонах накладок под узлы крепления подкосов хвостовой опоры по правому и левому бортам), составила 2944 часа (хвостовая балка вертолета Ми-8Т RA-25139, зав. № 99047492).

По мере увеличения наработки СНЭ происходит и увеличение среднего количества трещин в обшивке и усиливающих накладках, достигая при наработках 22–30 тыс. часов величины 1,8–1,9 трещин на одну хвостовую балку.

Таким образом, начиная с интервала наработки СНЭ 2–6 тыс. часов, усталостные повреждения единичных хвостовых балок вертолетов типа Ми-8 по признаку выявления двух и более трещин в их обшивке и усиливающих накладках могут характеризоваться как многоэлементные [15].

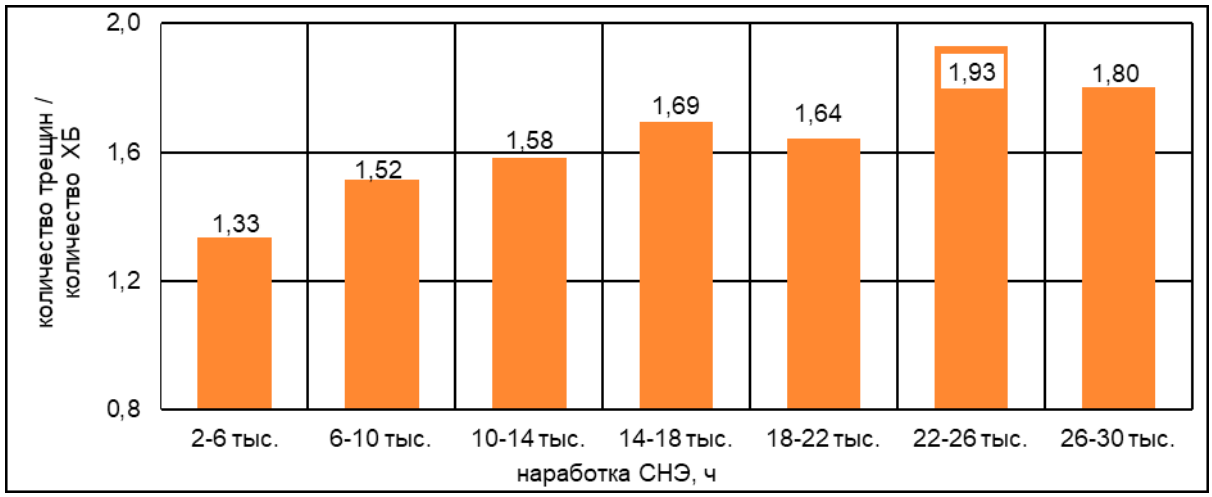


Рис. 6. Гистограмма распределения среднего суммарного количества трещин в обшивке и усиливающих накладках единичной хвостовой балки по интервалам наработки СНЭ

Сравнительные точечные гистограммы распределения по наработке СНЭ количества хвостовых балок с трещинами в обшивке в зонах между шпангоутами № 1 ХБ–4 ХБ, в том числе в зоне установки обтекателя антенны АШС-1, а также в усиливающих накладках под обтекатели антенн АШС-1, приведены на рис. 7–9.

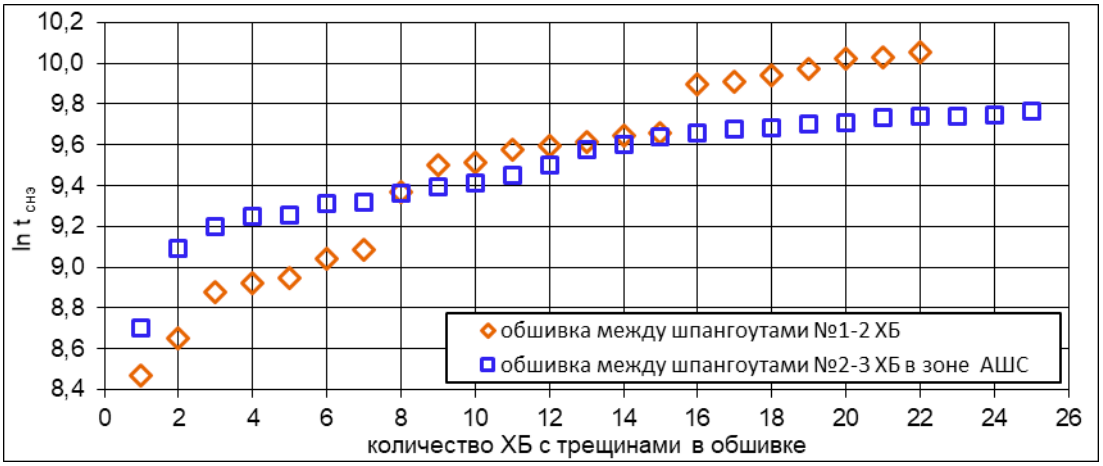


Рис. 7. Точечные гистограммы распределения по наработке СНЭ количества хвостовых балок с трещинами в обшивке между шпангоутами № 2 ХБ-3 ХБ и № 1 ХБ–2 ХБ

Для всех трех сравнительных гистограмм характерны две особенности.

Первая – все точечные гистограммы имеют характерный «ступенчатый» вид, как и точечная гистограмма распределения по СНЭ суммарного количества трещин, приведенная на рис. 5.

Вторая – для всех сравнительных гистограмм характерно изменение интенсивности выявления трещин в зонах, прилегающих к зоне между шпангоутами № 2 ХБ–3 ХБ (зоне установки обтекателя антенны АШС-1), по отношению к интенсивности образования трещин в этой зоне (рис. 7, 8). Аналогичная особенность характерна и для соотношения интенсивностей выявления трещин в обшивке ХБ под усиливающей накладкой обтекателя антенны АШС-1 и в самой усиливающей накладке (рис. 9).

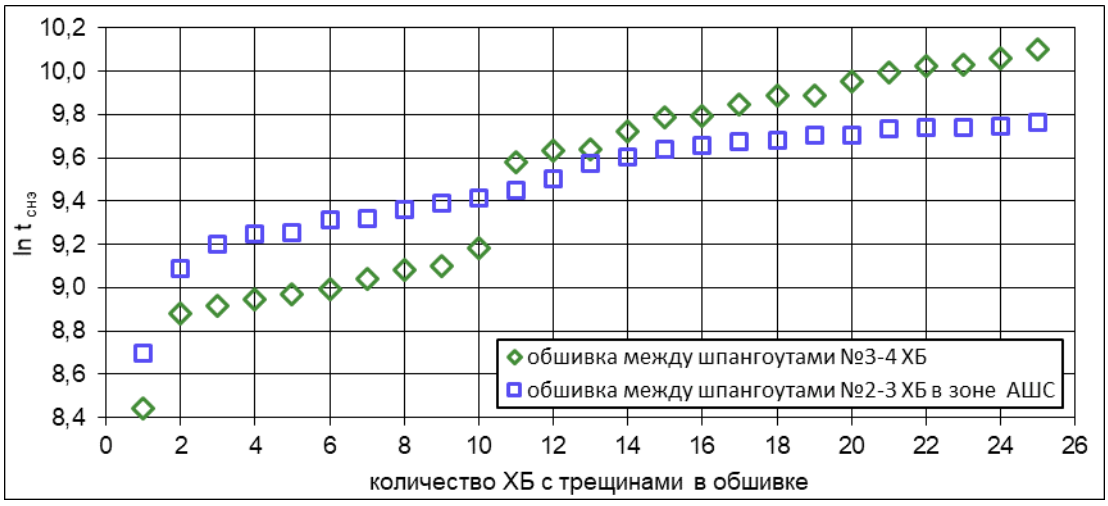


Рис. 8. Точечные гистограммы распределения по наработке СНЭ количества хвостовых балок с трещинами в обшивке между шпангоутами № 2 ХБ–3 ХБ и № 3 ХБ–4 ХБ

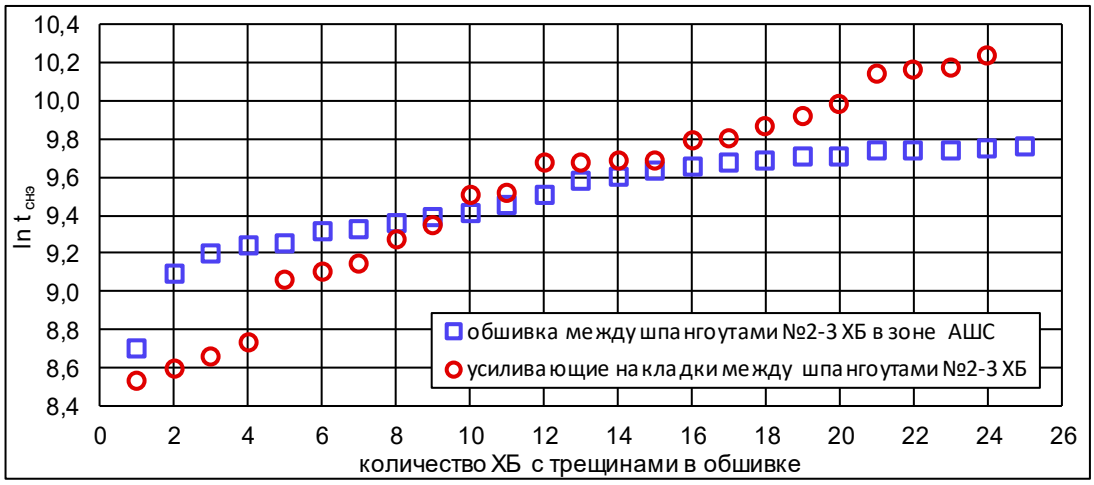


Рис. 9. Точечные гистограммы распределения по наработке СНЭ количества хвостовых балок с трещинами в обшивке между шпангоутами № 2 ХБ–3 ХБ и в усиливающих накладках обтекателя антенны АШС-1

Так, если до наработки СНЭ приблизительно 9 900 часов ($\ln t_{снэ} = 9{,}2$) интенсивность выявления трещин в обшивке обеих прилегающих зон и в усиливающих накладках выше, чем в обшивке ХБ в зоне установки обтекателя антенны АШС-1, то после наработки СНЭ приблизительно 12 100 часов ($\ln t_{снэ} = 9{,}4$) интенсивность выявления трещин в обшивке ХБ в зоне установки обтекателя антенны АШС-1 выше, чем в обшивке прилегающих к ней зон и в усиливающих накладках под антенну.

Последнее обстоятельство существенно затрудняет обнаружение усталостных трещин, развивающихся в обшивке ХБ под усиливающей накладкой антенны, на ранних стадиях их развития. Если при более раннем развитии трещины в усиливающей накладке при неповрежденной под ней обшивкой ХБ трещина достаточно легко распознается при внешнем осмотре хвостовой балки, то в случае неповрежденной усиливающей накладки и развитии под ней усталостной трещины в обшивке ХБ выявление ее возможно только изнутри хвостовой балки в более сложных эргономических условиях при затеняющем эффекте опоры хвостового вала, установленной в этой же зоне шпангоута № 2 ХБ.

Так, на вертолете Ми-8Т RA-24238 (зав. № 98730777) трещина, образовавшаяся в обшивке ХБ между шпангоутами № 2 ХБ–3 ХБ под усиливающей накладкой антенны, развивалась вдоль полки шпангоута № 2 ХБ от стрингера № 1 до стрингера № 4прав., достигнув ко времени ее выявления при наработке СНЭ 16 399 часов протяженности около 340 мм. В результате хвостовая балка была отбракована, на вертолет установлена новая.

Выводы

По результатам проведенного исследования установлено следующее.

1. Доработки, проведенные в соответствии с разработанными промышленностью бюллетенями, позволили существенно увеличить долговечность зон обшивки хвостовых балок вертолетов типа Ми-8, сопряженных с агрегатами и деталями вертолета – стабилизатором между шпангоутами № 13 ХБ–14 ХБ и узлами крепления подкосов хвостовой опоры в зоне шпангоута № 15 ХБ.

2. В настоящее время зоной обшивки ХБ с наименьшей усталостной долговечностью является зона установки обтекателя антенны АШС-1 между шпангоутами № 2 ХБ–3 ХБ и стрингерами № 1-2 по правому борту, что связано, наиболее вероятно, с изменением напряженного состояния обшивки в этой зоне после установки обтекателя антенны АШС-1 радиостанции «Баклан-20» и отсутствием доработок, предназначенных устранить условия образования в данной зоне усталостных трещин вследствие этого.

3. Второй зоной с наибольшим количеством трещин усталостного характера, выявляемых в обшивке хвостовых балок, была и остается зона между шпангоутами № 1 ХБ–9 ХБ и стрингерами № 7–13 по левому борту.

4. Начиная с интервала наработок СНЭ 2–6 тысяч часов, усталостные повреждения единичных хвостовых балок вертолетов типа Ми-8 по признаку выявления двух и более трещин в их обшивке и усиливающих накладках могут характеризоваться как многоэлементные.

Выявленные закономерности позволяют рекомендовать усиление обшивки хвостовых балок вертолетов типа Ми-8 в зонах, характеризующихся наибольшей усталостной повреждаемостью вследствие действия виброакустических нагрузок, одна из которых сопряжена с внешним элементом конструкции вертолета – обтекателем антенны АШС-1, а вторая располагается в передней части хвостовой балки между стыком с центральной частью фюзеляжа и шпангоутом № 9 ХБ в левой и нижней технологических панелях обшивки между стрингерами № 7–13 по левому борту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ усталостной прочности, живучести и эксплуатационной нагруженности критического по условиям живучести места конструкции фюзеляжей вертолетов семейства Ми-8 (концевая балка по правому борту в районе третьего шпангоута). М.: ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», 19.03.2001. 45 с.

2. Разиньков Ф.Ф., Акопян К.Э. Анализ эффективности доработок, направленных на предотвращение усталостных повреждений элементов конструкции концевых балок вертолетов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 33. С. 39–49.

3. Разиньков Ф.Ф., Акопян К.Э. Анализ влияния доработок по эксплуатационным бюллетеням на повреждаемость элементов конструкции концевых балок вертолетов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 35. С. 28–38.

4. Акопян К.Э., Разиньков Ф.Ф., Трофимов Г.М. Проблемы усталостной долговечности конструкции фюзеляжа вертолетов Ми-8 // Прочность конструкций летательных аппаратов. Труды ЦАГИ. 2017. Выпуск 2764. С. 295–297.

5. Потапенко Ю.А., Трофимов Г.М., Разиньков Ф.Ф. Уточнение периодичности осмотра шпангоута № 2 концевой балки вертолета типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2016. № 15. С. 92–98.

6. Разиньков Ф.Ф., Трофимов Г.М. Обзор усталостной повреждаемости элементов конструкции концевой балки по результатам оценки технического состояния вертолетов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2016. № 16. С. 89–98.

7. Сбор и систематизация эксплуатационных данных о повреждениях вертолетных конструкций, обусловленных виброакустическим воздействием. Часть 1. Вертолеты типа Ми-8, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ // Научно-технический отчет о научно-исследовательской работе, шифр «Конверт-2021», № гос. регистрации № 132/203-ПЛГ-2020. ФГУП ГосНИИ ГА, 2020. 290 с.

8. Заключение № Ф-8МТ-99 по назначенному ресурсу 7000 часов фюзеляжей вертолетов типа Ми-8МТ (по условиям усталостной прочности силовой конструкции фюзеляжа). М.: ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», 25.04.1999. 7 с.

9. Справка о дефектах по каркасу хвостовой части фюзеляжа, хвостовой и концевой балкам вертолета Ми-8, встретившихся в эксплуатации (по состоянию на конец 1974 г.) // п/я В-2323, 17.12.1974.

10. Провести исследование технического состояния конструкции вертолетов и их основных агрегатов с целью получения материалов для определения возможности установления ресурсов до 1-го ремонта // Отчет ГосНИИ ГА № 115/18-Ми-8/77 по результатам исследования технического состояния вертолетов, отработавших увеличенный до 1500 часов ресурс до первого ремонта, 16.08.1977. 62 с.

11. Провести исследования условий эксплуатации и эксплуатационной долговечности с целью обоснования, подтверждения и увеличения назначенных ресурсов и сроков службы воздушных судов гражданской авиации: по вертолету Ми-8 до 15 000 л. часов // Отчет ГосНИИ ГА № гос. регистрации 01850064112, 05.12.1985. 110 с.

12. Анализ опыта эксплуатации и ремонта вертолетов Ми-8 в предприятиях гражданской авиации // Отчет ГосНИИ ГА, 01.02.1989. 33 с.

13. Провести исследование условий эксплуатации и технического состояния с целью увеличения вертолетам Ми-8 назначенного ресурса до 20 000 летных часов // Отчет ГосНИИ ГА № 133/39-Ми-8/91 о научно-исследовательской работе, 21.02.1991. 96 с.

14. Разиньков Ф.Ф. Анализ эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок, шпангоутов хвостовых балок вертолетов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 36. С. 9–19.

15. Рекомендательный циркуляр РЦ-АП25.571-1А «Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкции» // ФГУП «ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского», 2015. 107 с.

REFERENCES

1. Analysis of fatigue strength, survivability and operational load of the critical survivability site of the fuselage structure of Mi-8 helicopters (the end beam on the starboard side in the area of the third frame). Moscow. MVZ im. M.L. Milya Publ., 19.03.2001, 45 p. (In Russian)

2. Razinkov F.F., Akopyan K.E. Analysis of the effectiveness of improvements aimed at preventing fatigue damage to the structural elements of the end beams of Mi-8 helicopters. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2020, no. 33, pp. 39–49. (In Russian).

3. Razinkov F.F., Akopyan K. E. Analysis of the impact of improvements on operational bulletins on the damage to the structural elements of the end beams of Mi-8 helicopters. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2021, no. 35, pp. 28–38. (In Russian).

4. Akopyan K.E., Razinkov F.F., Trofimov G.M. Problems of fatigue durability of the fuselage structure of Mi-8 helicopters. *Prochnost` konstruktsij letatel`nykh apparatov. Trudy TSAGI = Strength of aircraft structures. Works of TSAGII,* 2017, issue 2764, pp. 295–297. (In Russian).

5. Potapenko Yu.A., Trofimov G.M., Razinkov F.F. Clarification of the frequency of inspection of the frame number 2 of the end beam of the Mi-8 helicopter. Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation. 2016, no. 15, pp. 92–98. (In Russian).

6. Razinkov F.F., Trofimov G.M. Review of fatigue damage of the end beam structural elements based on the results of the evaluation of the technical condition of Mi-8 helicopters. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2016, no. 16, pp. 89–98. (In Russian).

7. Collection and systematization of operational data on damage to helicopter structures caused by vibroacoustic impact. Part 1. Mi-8 helicopters, Mi-8MTV-1, Mi-8AMT. Scientific and technical report on research work, code «Envelope-2021», State registration No. 132/203-PLG-2020. FSUE GosNII GA, 2020, 290 p. (In Russian).

8. Conclusion No. F-8 M-99 on the assigned resource of 7000 hours of fuselages of Mi-8MT helicopters (according to the conditions of fatigue strength of the power structure of the fuselage). Moscow. MVZ im. M.L. Milya Publ., 25.04.1999, 7 p. (In Russian).

9. Certificate of defect on the frame rear fuselage, and the tail end beams of the Mi-8 helicopter encountered in operation (as of end 1974). P/I-2323, 17.12.1974. (In Russian).

10. To conduct a study of the technical condition of the design of helicopters and their main units in order to obtain materials to determine the possibility of establishing resources before the 1st repair. GosNII GA report No. 115/18-Mi-8/77 on the results of a study of the technical condition of helicopters that have worked out a resource increased to 1500 hours before the first repair, 16.08.1977, 62 p. (In Russian).

11. To analyze the operating conditions and performance durability to justify, confirm and increase the assigned resources and timing services for civil aircraft: the Mi-8 helicopter up to 15,000 hours. GosNII GA report no. registration 01850064112, 05.12.1985, 110 p. (In Russian).

12. Analysis of the experience of operation and repair of Mi-8 helicopters in civil aviation enterprises. GosNII GA report, 01.02.1989, 33 p. (In Russian).

13. To conduct a study of operating conditions and technical condition in order to increase the assigned resource for Mi-8 helicopters to 20,000 flight hours. Report of the State Research Institute of Civil Aviation no. 133/39-Mi-8/91 on research work, 21.02.1991, 96 p. (In Russian).

14. Razinkov F. F. Analysis of operational damage caused by material fatigue under the influence of vibroacoustic loads, frames of tail beams of Mi-8 helicopters. *Nauchnyj vestnik GosNII GA=Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2021, no. 36, pp. 9–19. (In Russian).

15. Recommendation circular RC-AP25. 571-1A «Assessment of the admissibility of damage and fatigue strength of the structure». FSUE «TSAGI named after prof. N.E. Zhukovsky», 2015, 107 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Разиньков Федор Федорович, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника отдела, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, д. 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e- mail: razinkov_ff@ncplg.ru.

ABOUT THE AUTHOR

Razinkov Fedor F., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: razinkov_ff@ncplg.ru

УДК 629.735.072.4:351.814.343.2

ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖИМА СНИЖЕНИЯ ТЯГИ ПРИ ВЗЛЕТЕ САМОЛЕТОВ RRJ-95

Г.Е. МАСЛЕННИКОВА[1], С.В. ДМИТРИЕВА[2], Р.Р. ТАЖЕТДИНОВ[2]

[1]Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация
[2]Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье исследуются результаты применения методики взлета с уменьшением тяги на самолете RRJ-95 (Sukhoi Superjet 100). Мировой опыт использования такого режима показал его эффективность как с точки зрения увеличения ресурса и надежности авиадвигателей, так и сокращения расхода топлива. Согласно действующей эксплуатационной документации (ЭД) уменьшение режима работы двигателей на взлете должно происходить при выполнении всех требований норм летной годности, направленных на обеспечение безопасности на этом этапе полета. Однако ни перечень регистрируемых параметров самолета RRJ-95 (Sukhoi Superjet 100), ни алгоритмы экспресс-анализа полетной информации не предусматривают контроля соблюдения ограничений использования такого режима взлета, приведенных в ЭД. Результатом этого является то, что в анализируемом массиве данных присутствует информация о режимах взлета, выполненных с нарушениями действующих ограничений, что, в свою очередь, может отрицательно сказываться на уровне безопасности полетов. На основе полученных результатов делается вывод о том, что все положительные эффекты применения режима взлета с уменьшением тяги должны получаться при наличии объективного контроля соблюдения ограничений использования этого режима.

Ключевые слова: уменьшение взлетной тяги, температурный метод, порядок определения TFLEX, ограничения применения, анализ статистических данных

SUMMARY OF EXPERIENCE OF USING THRUST REDUCTION MODE DURING AIRCRAFT RRJ-95 TAKE-OFF

G.E. MASLENNIKOVA[1] , S.V. DMITRIEVA[2], R.R. TAZHETDINOV[2]

[1]Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation
[2]The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article explores the results of using the take-off technique with reduced thrust on the RRJ-95 aircraft (Sukhoi Superjet 100). The world experience in using such a regime has shown its effectiveness both in terms of increasing the resource and reliability of aircraft engines and reducing fuel consumption. According to the current operational documentation, the decrease in the mode of engines operation during take-off must occur when all requirements of airworthiness standards aimed at ensuring safety at this stage of flight are met. However, neither the list of recorded parameters of the aircraft RRJ-95 (Sukhoi Superjet 100), nor the algorithms of flight information express analysis provide for monitoring of compliance with the limits of use of such take-off mode specified in operational documentation. The result of this is that in the analyzed data array there is information about take-off modes performed with violations of existing restrictions, which in turn can negatively affect the level of flight safety. Based on the results obtained, it is concluded that all the

positive effects of the take-off mode with a decrease in thrust should be obtained if there is an objective control of compliance with the restrictions on the use of this mode.

Keywords: reduction of takeoff thrust, temperature method, TFLEX determination procedure, application restrictions, statistical data analysis

Введение

Авиационный двигатель является основной составной частью любого летательного аппарата. Это наиболее дорогостоящий агрегат из всех, используемых на воздушном судне, с одной стороны, и агрегат, постоянно работающий в условиях высоких температур в газовоздушном тракте и повышенной повреждаемости в зоне воздухозаборников, с другой стороны [1]. Первая из перечисленных особенностей двигателя для повышения экономичности эксплуатации требует установления максимальных ресурсов и сроков службы, а вторая, наоборот, является источником повышенных напряжений, быстрого износа и уменьшения сроков службы. Для установления оптимального соотношения между стоимостью и ресурсом долгое время использовались различные ограничения, не позволявшие получать расчетную мощность в случае повышенной нагрузки на турбину или повышения температуры газов.

Автоматическое обрезание мощности посредством специальной автоматики (ЭСУ) широко использовалось в системах управления двигателями самолетов, разработанных во второй половине прошлого века. По этому принципу работали системы самолетов Як-42, Ил-76, Ил-96 и других. Для двигателей ПС-90 самолета Ил-96, кроме того, после проведения сертификационных работ, было выполнено несколько доработок двигателей, позволивших уменьшить температуру лопаток турбин путем увеличения отборов сжатого воздуха на охлаждение [2]. Эти доработки позволили увеличить ресурс горячей части двигателя, но также привели к падению мощности.

Системы управления силовой установкой самолетов последних поколений используют другие принципы увеличения ресурса двигателей, основанные на расчете минимально необходимых значений тяги для фактических условий взлета, как наиболее ресурсоемкого режима эксплуатации двигателя. Современный двигатель эксплуатируется на предельных режимах только там, где это действительно необходимо – на режимах взлета с предельно-допустимыми взлетными массами, в условиях высокогорья и повышенных температур наружного воздуха. Во всех остальных случаях допускается использование взлета на пониженном режиме, определяемом из условий обеспечения нормируемых градиентов набора высоты и взлета с располагаемой длины взлетно-посадочной полосы (ВПП) при фактических условиях взлета [3].

В докладе, представленном Б. Хенри на презентации Аэробуса в 2006 году в Тулузе (OLM FBW 2006 – Toulouse – 26–28 September 2006) [4], описаны два способа уменьшения взлетной тяги:

– Flex take-off, когда снижение тяги задается пропорционально запасу по температуре газов до предельно-допустимой;

– Derated take-off – непосредственное снижение взлетной тяги.

На различных типах Аэробусов рекомендованы различные диапазоны снижения взлетной тяги [5]:

A318/319/320/321 – 25 % Flex – 24 % Derate;
A330 – 25 % Flex – 24 % Derate;
A340-200/300 – 25 % Flex – 24 % Derate;
A340-500/600 – 40 % Flex – 40 % Derate.

Снижение взлетной тяги для экономии ресурса двигателя на отечественных самолетах использовалось ранее крайне ограничено. На ряде типов самолетов прошлого века допускался взлет не на взлетном, а на номинальном режиме работы двигателей с приведением в РЛЭ

характеристик взлета на обоих режимах. Режим выбора промежуточного значения тяги для взлета на отечественных самолетах впервые был использован [6] для сокращения шума в зоне аэропортов при полетах в Европу после ограничений по этому параметру взлета, установленных Евросоюзом в 2002–2006 годах [7].

Снижение тяги для исключения вывода параметров работы двигателей за пределы установленных ограничений в конструкции отечественных силовых установок выполнялось посредством ЭСУ (электронной системы управления), которая работала, ориентируясь только на ограничения параметров силовой установки, и не предусматривала обеспечение самолета расчетным уровнем тяги, что с точки зрения безопасности полетов могло иметь печальные последствия.

Самолет RRJ-95

Первым отечественным самолетом, где режим снижения взлетной тяги используется без ущерба для безопасности полетов, так как автоматически рассчитывается на основе параметров взлета, фактических характеристик установленных на нем двигателей и требований норм летной годности, является самолет RRJ-95 (Sukhoi Superjet 100).

Функция Flexible системы автоматического управления (САУ) двигателя SaM-146, установленного на самолете RRJ-95, дает возможность производить гибкую настройку режима работы двигателя в соответствии с фактической взлетной массой и условиями взлета. Настройка производится при помощи параметра TFLEX, алгоритм определения которого [8] приведен на рис. 1. Параметр TFLEX, по сути, является предельной температурой наружного воздуха, при которой нормированные критерии безопасности [9] выполняются при фактической взлетной массе и длине ВПП.

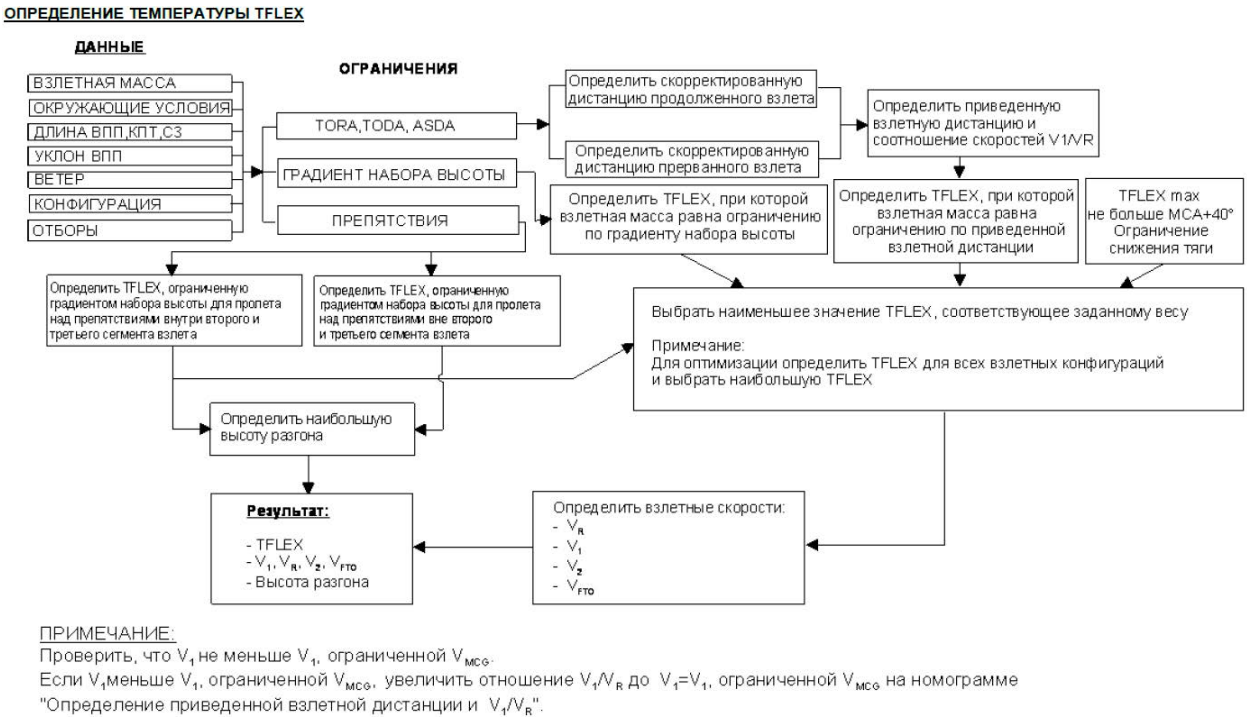


Рис. 1. Блок-схема работы алгоритма расчета параметра TFLEX

Данный алгоритм отличается от ранее используемых при фиксированном значении взлетной тяги тем, что искомым параметром является не максимально-допустимая взлетная масса, а значение TFLEX, позволяющее при фактическом значении взлетной массы получить:

– дистанции прерванного и продолженного взлета, не превышающие реальной длины ВПП;

– нормированные градиенты набора высоты в случае отказа одного двигателя.

Следует отметить, что в данных, регистрируемых системой объективного контроля самолета RRJ-95, отсутствует регистрация значения TFLEX, полученного в результате расчета по алгоритму, представленному на рис. 1.

Вследствие этого, значение TFLEX в исследуемом массиве данных о параметрах взлета, полученном при анализе 191 рейсового полета 19 экземпляров самолета, выполненных различными авиакомпаниями в течение 2016–2021 гг., определялось на основе фактического значения оборотов N1 на этапе разбега самолета по номограмме, приведенной на рис. 2.

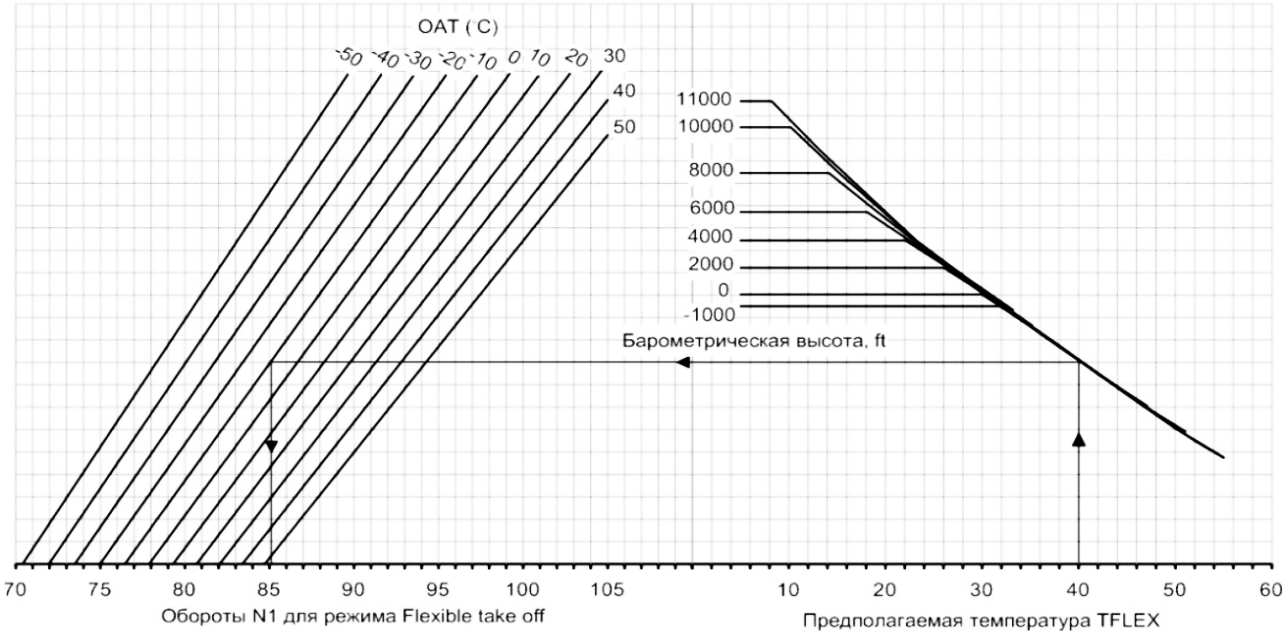


Рис. 2. Определение предполагаемой TFLEX на основе значения оборотов N1 на взлете

Соотношение между TFLEX, определенной по значению N1, по данным номограммы на рис. 2 и фактической температурой наружного воздуха, полученное по исследуемому массиву данных, приведено на рис. 3.

Изменение TFLEX связано не только с температурой наружного воздуха, но и с давлением на аэродроме вылета. Эта зависимость по исследуемому массиву представлена на рис. 4.

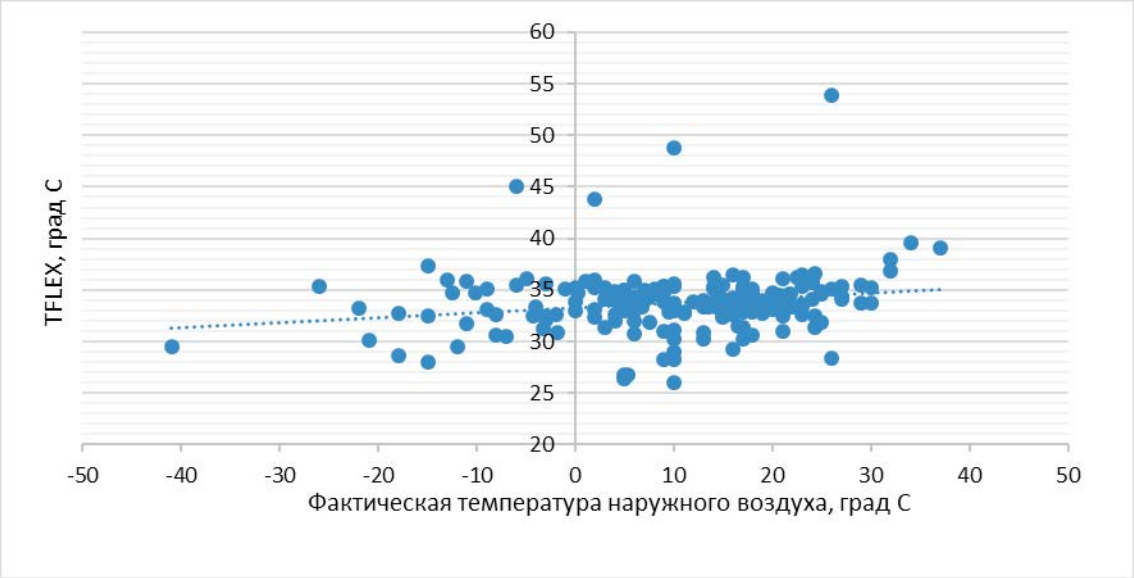


Рис. 3. Соотношение между TFLEX и фактической температурой наружного воздуха

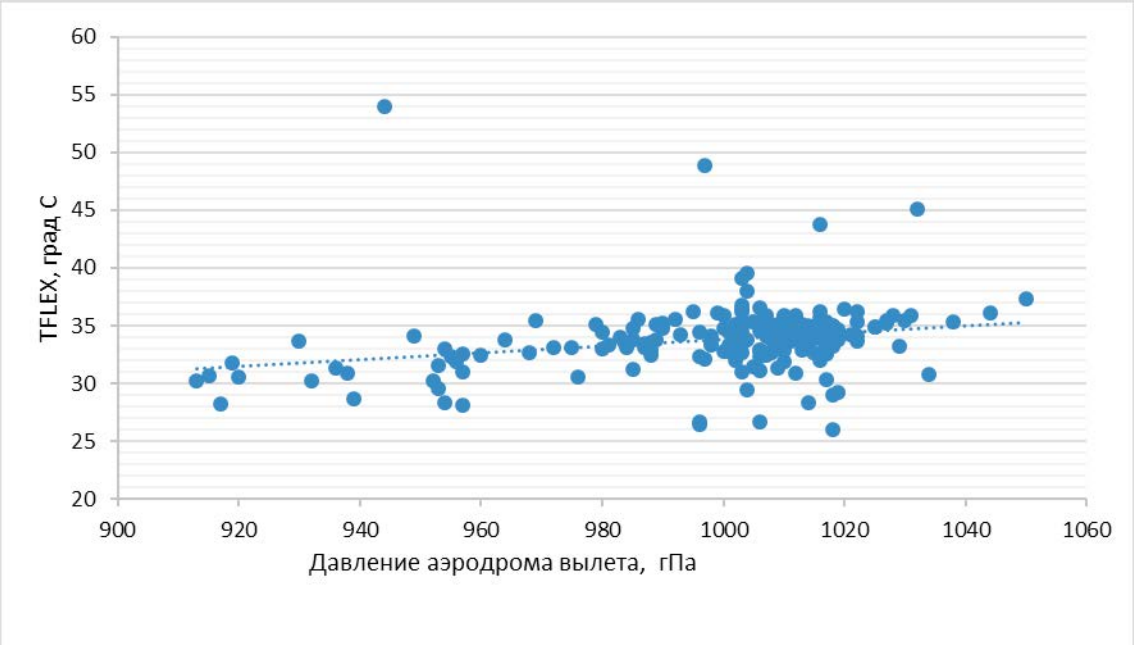


Рис. 4. Соотношение между TFLEX и фактическим давлением аэродрома вылета

Из данных, приведенных на рис. 3 и 4, видно, что большая часть значений TFLEX расположена в диапазоне температур от 25 до 40 ºС, и лишь четыре точки выпадают из этого диапазона, причем для одной точки, полученное на основе регистрируемой величины N1 значение TFLEX составляет 53,9 ºС, что для фактического давления на аэродроме влета в этом случае соответствует температуре СА+42,6 ºС. В этом полете взлет был выполнен при оборотах N1=88,4 %. Расчетные максимальные взлетные обороты для этих условий составляют 96,8 %. Таким образом, расчетная взлетная тяга была существенно уменьшена, хотя действующая ЭД [8] запрещает использование режима Flexible take off при расчетном значении TFLEX более СА+40º.

Наличие даже одной такой точки в столь небольшом исследуемом массиве (в среднем в процессе эксплуатации самолет RRJ-95 выполняет более пятисот полетов в год) говорит об отсутствии должного контроля над использованием режима уменьшения тяги на взлете. Для сохранения условий безопасности полетов такой контроль, обычно осуществляемый в рамках экспресс-анализа техники пилотирования по данным средств объективного контроля, необходим. Следует отметить, что конкретно в этом полете, выполненном из аэропорта г. Иркутска, фактическая дистанция разбега оказалась на 22 % больше расчетной.

На рис. 5 приведены распределения оценок дистанций разбега самолета [10] в исследуемом массиве, при этом оценивание было выполнено как относительно дистанции, получаемой в конкретных условиях взлета при использовании полной тяги, так и относительно дистанции, рассчитанной для режима снижения тяги в соответствии со значением TFLEX, определенном по фактическому значению оборотов N1.

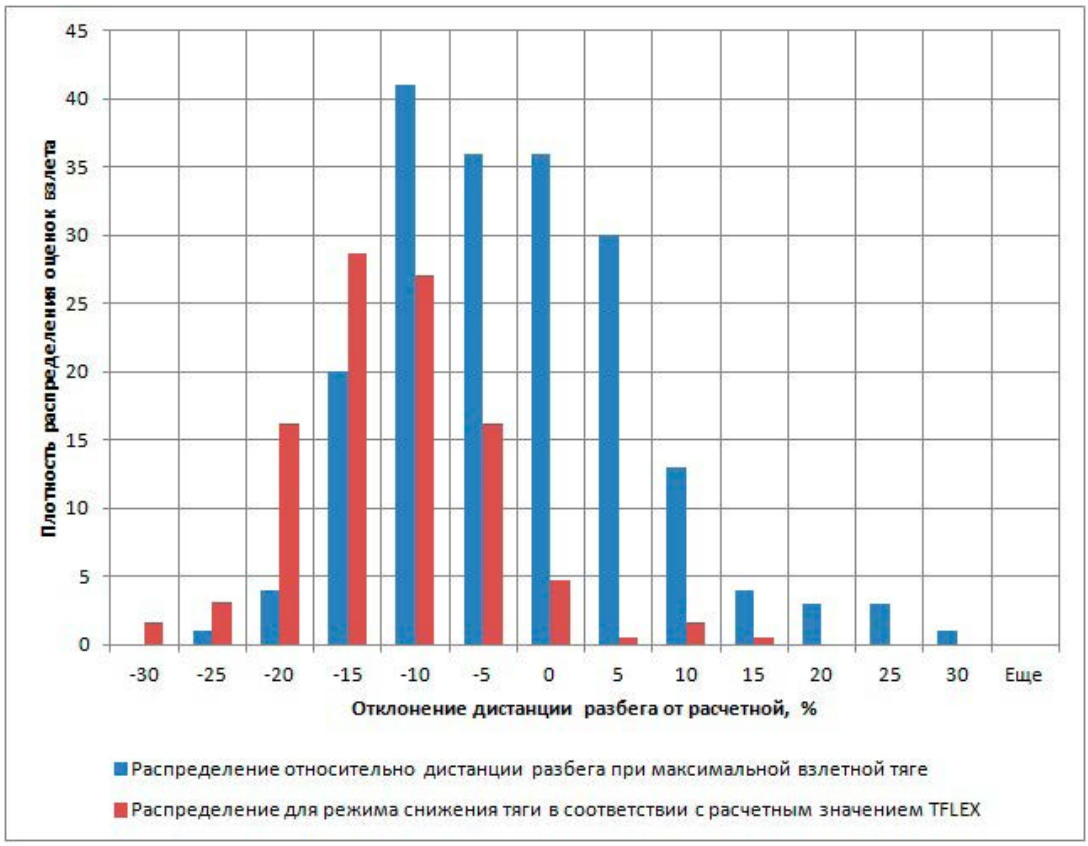


Рис. 5. Распределение оценок дистанций разбега самолетов RRJ-95

Из данных, приведенных на рис. 5, видно, что оценивание взлета с учетом возможного снижения тяги дает распределение оценок, близкое к нормальному закону с математическим ожиданием – 14,6 % и стандартным отклонением –7,2 %, что существенно лучше согласуется с ожидаемым характером распределения оценок, чем распределение, полученное при оценке относительно использования режима максимальной тяги на взлете.

На рис. 6 для исследуемого массива данных приведено распределение отличий максимальных взлетных оборотов N1 от фактически использованных при взлете.

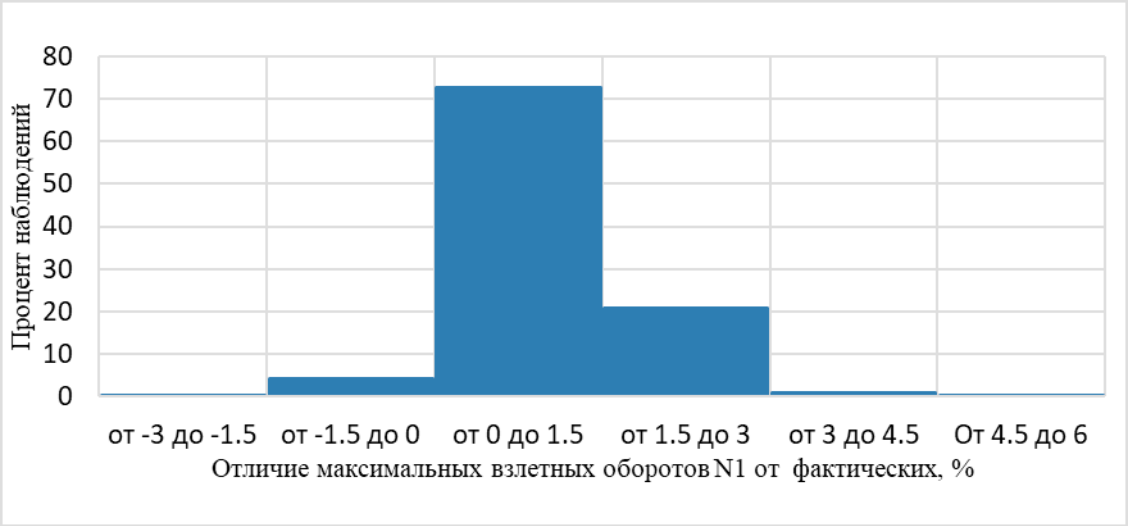


Рис. 6. Распределение отличий максимальных взлетных оборотов N1 от фактически использованных при взлете

Из данных, приведенных на рис. 6, следует, что более 40 выполненных взлетов (22 %) выполнены со снижением оборотов N1 относительно максимальных на величину от полутора до пяти и более процентов.

Выводы

Режим снижения тяги на взлете, позволяющий экономить ресурс авиадвигателей, широко используется в мировой практике, в том числе в авиакомпаниях РФ. Однако при анализе массивов данных по использованию данного режима российскими авиакомпаниями на самолетах RRJ-95 отмечен случай, когда режим снижения тяги использовался за диапазоном ограничений параметра TFLEX, что запрещено действующей ЭД.

При этом необходимо отметить, что в данных, регистрируемых системой объективного контроля самолета RRJ-95, отсутствует регистрация значения TFLEX, а алгоритмы экспресс-анализа полетной информации не предусматривают контроля соблюдения ограничений использования такого режима взлета, приведенных в ЭД. Наличие даже одного случая в столь небольшой выборке с большой степенью уверенности позволяет предположить о более частых нарушениях ограничения по использованию режима Flexible Take-off.

Таким образом, для обеспечения условий безопасности полетов одновременно с обеспечением условий экономии ресурса авиадвигателей, программы экспресс-анализа техники пилотирования по данным средств объективного контроля должны предусматривать контроль за соблюдением ограничений условий применения режима снижения тяги на взлете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Романов А.Н. Фундаментальные основы определения прочности, ресурса, живучести и безопасности авиадвигателей // Всероссийская научно-техническая конференция «Авиадвигатели XXI века». Сборник тезисов докладов. ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова». Москва, 24–27 ноября 2015 года.

2. Maslennikova G.E., Arep'ev K.A., Tazhetdinov R.R., Nikonov V.V., Spryskov V.B. Changes in the Cruise Climb Performance of the Il-96-300 Aircraft. Russian Aeronautics. 2019. Vol. 62. Issue 1. pp. 157–162.

3. Пикулев С.А. Анализ применения методики взлета с уменьшенной тягой двигателей // Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов. Том 11. 2017. С. 89–102.

4. Boris Henry. Enhanced Reduced Thrust at takeoff. OLM FBW 2006. Toulouse. 26-28 September 2006.

5. Flight Operations Support & Services. Введение в летно-технические характеристики воздушных судов Airbus. Русская версия. Издание 1. Октябрь 2007.

6. Самолет Ту-154М: Руководство по летной эксплуатации.

7. Метечко Л.Б., Тихонов А.И., Сорокин А.Е., Новиков С.В. Влияние экологических нормативов на развитие авиационного двигателестроения // Труды МАИ. 2017. Выпуск 85. С. 22.

8. RRJ-95. Руководство по летной эксплуатации. 2014. 2694 с.

9. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. 2009. 276 с.

10. Арепьев К.А., Масленникова Г.Е., Тажетдинов Р.Р. Разработка методики оценки соответствия данным эксплуатационной документации характеристик взлета современных магистральных самолетов // Научный вестник ГосНИИГА. 2017. № 19. С. 54–63.

REFERENCES

1. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Romanov A.N. Fundamental foundations for determining the strength, resource, survivability and safety of aircraft engines. *Vserossijskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Aviagvigateli XXI veka». Sbornik tezisov dokladov* [All-Russian Scientific and Technical C onference «Air Engines of the XXI Century». Collection of abstracts of reports]. Moscow. FSUE Central Institute of Aviation Motor Engineering named after P.I. Baranova. November 24-27, 2015. (In Russian).

2. Maslennikova G.E., Arep'ev K.A., Tazhetdinov R.R., Nikonov V.V., Spryskov V.B. Changes in the Cruise Climb Performance of the Il-96-300 Aircraft. Russian Aeronautics. 2019, vol. 62, issue 1, pp. 157–162.

3. Pikulev S.A. Analysis of the application of the take-off technique with reduced engine thrust. *Problemy letnoj ehkspluatatsii i bezopasnost` poletov* = Flight operation problems and flight safety, 2017, vol. 11, pp. 89–102. (In Russian).

4. Boris Henry. Enhanced Reduced Thrust at takeoff. OLM FBW 2006. Toulouse, 26-28 September 2006.

5. Flight Operations Support & Services. Introduction to flight specifications of Airbus aircraft. Russian version, edition 1, October 2007. (In Russian).

6. *Samolet Tu-154M. Rukovodstvo po letnoj ehkspluatatsii* [Tu-154M aircraft. Flight Manual]. (In Russian).

7. Metechko L.B., Tikhonov A.I., Sorokin A.E., Novikov S.V. The Impact of Environmental Standards on the Development of Aircraft Propulsion. *Trudy MAI = Proceedings of the Moscow Aviation Institute*, 2017, issue 85, p. 22. (In Russian).

8. *RRJ-95. Rukovodstvo po letnoj ehkspluatatsii* [RRJ-95. Flight Manua]. 2014, 2694 p. (In Russian).

9. Aviation rules. Part 25. Airworthiness standards of transport category aircraft. 2009, 276 p. (In Russian).

10. Arepyev K.A., Maslennikova G.E., Tazhetdinov R.R. Development of a methodology for assessing compliance with these operational documentation with the take-off characteristics of modern mainline aircraft. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2017, no. 19, pp. 54–63. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Масленникова Галина Евгеньевна, доктор технических наук, профессор кафедры Московского авиационного института (Национального исследовательского университета), Волоколамское шоссе, 4, Москва, Российская Федерация, 125993; начальник отдела, ФГУП

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: maslennikova@gosniiga.ru.

Дмитриева Светлана Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: dmitrievasv@gosniiga.ru.

Тажетдинов Радим Рустамович, инженер, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: tazhetdinovrr@gosniiga.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Maslennikova Galina E., Doctor of Technical Sciences, Professor of Moscow Aviation Institute (National Research University), Volokolamskoe highway, 4, 125993 Moscow, Russian Federation; Head of the Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: maslennikova@gosniiga.ru.

Dmitrieva Svetlana V., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: dmitrievasv@gosniiga.ru.

Tazhetdinov Radim R., Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: tazhetdinovrr@gosniiga.ru.

УДК 006.91:681.518.5

МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАКТИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.А. БОГОЯВЛЕНСКИЙ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье излагаются вопросы методологии обеспечения единства измерений и метрологического обеспечения при проведении эксплуатационных испытаний наземной автоматизированной системы контроля нового поколения. На примере наземной автоматизированной системы контроля НАСКД-200ПР разработана методология обеспечения единства измерений при допуске к эксплуатации в авиационной деятельности на воздушном транспорте новых типов средств эксплуатационного контроля для ВС отечественного производства. Методология успешно апробирована и подтвердила свою практическую эффективность. Проведено обобщение и представлен анализ основных результатов, полученных при испытаниях. В соответствии с международным стандартом ISO/IEC 17025 проведена оценка прослеживаемости выполняемых результатов измерений. Выполнен сравнительный анализ метрологических характеристик НАСКД-200ПР (в комплекте с адаптерами интерфейса) и средств измерений специальных и общего назначения, назначенных в технологических картах регламентов технического обслуживания (РО) и руководствах по ремонту бортового авиационного оборудования, применяемых в качестве наземных средств контроля. Исследованы нормы (диапазоны и погрешности измерений) номенклатуры контролируемых параметров бортового авиационного оборудования и обеспечение возможности осуществления их контроля с применением наземной автоматизированной системы контроля.

Ключевые слова: вертолет, бортовое авиационное оборудование, калибровка, метрологическое обеспечение, метрологический риск, наземная автоматизированная система контроля, обеспечение единства измерений, поверка, прослеживаемость измерений, регламент технического обслуживания

METHODOLOGY AND PRACTICE OF ENSURING THE UNIFORMITY OF MEASUREMENTS IN THE OPERATION OF GROUND-BASED AUTOMATED SYSTEMS FOR DIAGNOSTICS AIRBORNE EQUIPMENT OF AIRCRAFT

A.A. BOGOYAVLENSKIY

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents the issues of methodology for ensuring the uniformity of measurements and metrological support during operational tests of a ground-based automated control system of a new generation. Using the example of the ground-based automated control system NASKD-200PR, a methodology has been developed to ensure the uniformity of measurements when allowing new types of operational control equipment for domestic aircraft to be used in aviation activities in air transport, the methodology has been successfully tested and confirmed its practical effectiveness. The generalization and analysis of the main results obtained during the tests are carried out. In accordance with the international standard ISO/IEC 17025, the

traceability of the performed measurement results was assessed. A comparative analysis of the metrological characteristics of the NASKD-200PR (complete with interface adapters) and special and general-purpose measuring instruments assigned in the technological maps of maintenance regulations (RO) and manuals for the repair of on-board aviation equipment used as ground-based controls has been performed. The norms (ranges and measurement errors) of the nomenclature of controlled parameters of on-board aviation equipment and ensuring the possibility of their control using a ground-based automated control system are investigated.

Keywords: helicopter, onboard aviation equipment, calibration, metrological support, metrological risk, ground-based automated control system, ensuring the uniformity of measurements, verification, traceability of measurements, maintenance regulations

Введение

Целью настоящего исследования является установление возможности применения наземной автоматизированной системы контроля НАСКД-200ПР (рис. 1 и 2) отечественного производства для оценки технического состояния бортового авиационного оборудования вертолетов Ми-8Т, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ, Ми-171, Ми-171А, Ми-172. Такого рода оценка производится путем измерительного контроля параметров бортового авиационного оборудования в соответствии с технологическими картами регламентов технического обслуживания (РО) перечисленных типов вертолетов. Отличительной особенностью НАСКД-200ПР от других аналогичных систем отечественного производства [1-5] является то, что измерения параметров производятся на борту вертолетов на контактах недемонтированных объектов контроля. При этом при применении на воздушном транспорте (ВТ) НАСКД-200ПР относится к категории специальных средств измерений (ССИ).

При выполнении работы институтом проведен анализ и оценка технической документации и актов испытаний (с адаптерами интерфейса), представленных разработчиком и изготовителем НАСКД-200ПР:

– руководств эксплуатации на одиннадцать типов адаптеров интерфейсов и три набора тестовых программ;

– технологических карт руководств по технической эксплуатации двадцати трех типов бортового авиационного оборудования;

– актов испытаний бортового оборудования вертолетов Ми-8Т, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ, Ми-171, Ми-171А, Ми-172 и их модификаций с применением НАСКД-200ПР с адаптерами интерфейса и наборами тестовых программ;

– руководства оператора Р53201.9900.000 34 01 Программное обеспечение;

– свидетельства об утверждении типа средства измерений RU.C.34.001.B № 51118 и описания типа к нему.

Методы исследования

Эксплуатационные испытания системы проведены на основании Совместного решения АО «НЦВ Миль и Камов» № 515 от 25.11.2020 г. в соответствии с Программой, в два этапа. На первом этапе специалистами метрологической службы института проведена оценка прослеживаемости измерений согласно положениям ГОСТ ISO/IEC 17025 [6] и в соответствии с представленной на рис. 3 блок-схемой. Она состоит из двух взаимосвязанных направлений: I – традиционная схема метрологического обслуживания, содержащая элементы 1–3 и 5; II – схема метрологического обслуживания с использованием НАСКД-200ПР, содержащая элементы 1, 4 и 5.

Рис. 1. Внешний вид НАСКД-200ПР

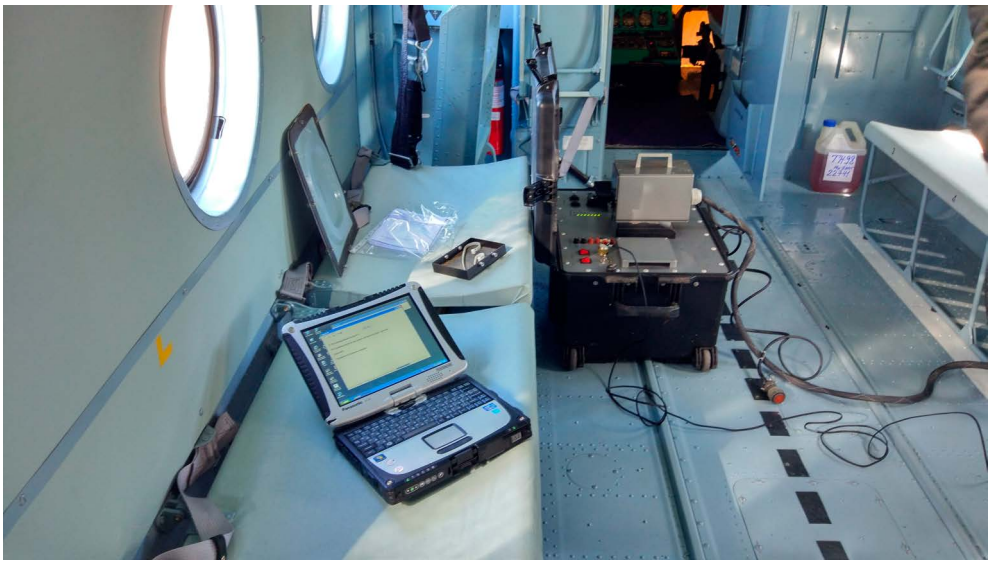


Рис. 2. Подготовка НАСКД-200ПР в салоне вертолета семейства Ми-8 к контролю бортового авиационного оборудования

Ключевым для блок-схемы (рис. 3) прослеживаемости измерений (как для традиционной, так и с применением НАСКД-200ПР) является элемент 1 – государственная поверочная схема (ГПС), во главе которой находится государственный первичный эталон соответствующей единицы величин. Оба направления выходят непосредственно на элемент 5 – БСК (бортовое авиационное оборудование и бортовые средства контроля), что и является основой прослеживаемости результатов измерений, начиная от государственных первичных эталонов соответствующих единиц величин.

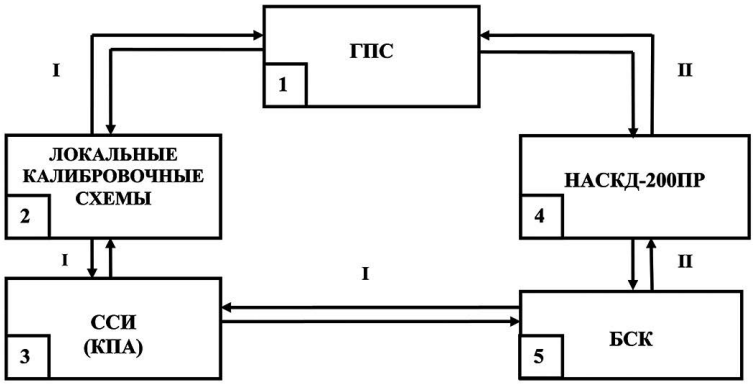


Рис. 3 Блок-схема прослеживаемости измерений при испытаниях НАСКД-200ПР с адаптерами интерфейса

I – традиционная схема метрологического обслуживания;
II – схема метрологического обслуживания с применением НАСКД-200ПР;
1) ГПС – государственные поверочные схемы;
2) локальные калибровочные схемы;
3) ССИ – специальные средства измерений (в т.ч. КПА – контрольно-проверочная аппаратура);
4) НАСКД-200ПР – наземная автоматизированная система контроля;
5) БСК – бортовое авиационное оборудование и бортовые средства контроля

В состав НАСКД-200ПР с учетом применения адаптеров интерфейса и наборов тестовых программ, входят подсистемы, состоящие из измерительных каналов и способные:

а) измерять величины электрические (напряжение и сила постоянного и переменного тока, сопротивление постоянному току) и радиотехнические (частота, емкость, индуктивность, добротность и фаза; параметры импульсных сигналов, в том числе мощность; мощность высокочастотных сигналов; параметры модуляции);

б) генерировать ВЧ сигналы; сигналы произвольной формы 1-го и 2-го типа; стимулирующие (питающие) напряжения 1–5 типов, а также программируемые сопротивления;

в) воспроизводить и измерять единицы абсолютного и избыточного давления;

г) задавать и измерять углы положения. При этом все подсистемы работают под управлением компьютера.

В рамках выполнения исследования проведен сравнительный анализ метрологических характеристик ССИ (КПА), а также средств измерений общего назначения, указанных в технологических картах регламентов технического обслуживания (РО), руководствах по ремонту бортового авиационного оборудования, для применения в качестве наземных средств контроля, и НАСКД-200ПР – с адаптерами интерфейса. При этом оценивалось также обеспечение необходимого запаса по точности, регламентированного государственными поверочными схемами соответствующих единиц величин. По результатам анализа установлено, что НАСКД-200ПР с адаптерами интерфейса по диапазонам и погрешностям измерений в полном объеме перекрывает метрологические характеристики назначенных ССИ (КПА) и средств измерений общего назначения. Одновременно проведено сравнение метрологических характеристик НАСКД-200ПР и контролируемых параметров бортового авиационного оборудования, проверку которого предложено осуществлять при применении системы. При этом оценивалось обеспечение необходимого запаса по точности, регламентированного государственными поверочными схемами соответствующих видов измерений, а также прослеживаемость измерений согласно положениям ГОСТ ISO/IEC 17025 [6].

Помимо этого на первом этапе эксплуатационных испытаний проведены метрологическая экспертиза эксплуатационной документации системы, а также оценка возможности выполнения работ по обеспечению единства измерений НАСКД-200ПР метрологическими службами организаций ВТ и иными метрологическими органами.

Метрологическое обслуживание НАСКД-200ПР может осуществляться в соответствии с методикой, входящей в комплект эксплуатационной документации НАСКД-200ПР с применением более 25 типов средств поверки/калибровки в основном отечественного производства, среди которых:

1) широко применяемые метрологическими службами предприятий ВТ – частотомеры электронно-счетные; генераторы сигналов низкочастотные; меры электрического сопротивления однозначные и измерительные; магазины сопротивлений; меры и магазин емкости; ваттметры поглощаемой мощности; калибраторы мощности; измерители коэффициента стоячей волны панорамные; измерители модуляции; анализаторы спектра;

2) малораспространенные в оснащении метрологических служб – стандарты частоты и времени; вольтметры-калибраторы; установка измерительная К2-76 с диапазоном от 10 мВ до 2,5 В при частотах от 50 Гц до 18 ГГц; аппаратура для поверки измерителя коэффициента амплитудной модуляции; калибраторы фазы; меры добротности; рабочий эталон абсолютного давления с диапазоном 0,3–250 кПа и средним квадратическим отклонением 1,3–2,5 Па; манометры абсолютного и избыточного давлений I разряда.

По результатам первого этапа испытаний подтверждена прослеживаемость измерений при применении НАСКД-200ПР с первичными национальными эталонами единиц физических величин международной системы СИ согласно ГОСТ ISO/IEC 17025 [6]. При этом по всем видам измерений коэффициенты точности НАСКД-200 соответствуют требованиям государственных поверочных схем.

Периодическое метрологическое обслуживание НАСКД-200ПР может осуществляться в виде калибровки в метрологических службах предприятий ВТ, в случае соответствия их технической компетентности положениям ГОСТ Р 55867 [7] и [8–9], подтверждаемой в рамках Системы сертификации объектов гражданской авиации, либо в виде поверки – аккредитованными в рамках национальной системы аккредитации метрологическими службами.

Экспериментальные исследования

На втором этапе проведены экспериментальные исследования НАСКД-200ПР на базе Улан-Удэнского авиационного завода. Блок-схема экспериментальной части исследований аналогична разработанной НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА [1], использовавшейся в 2012 году при эксплуатационных испытаниях лабораторной модификации системы – типа НАСКД-200 (работает со снятым бортовым авиационным оборудованием), представлена на рис. 4.

При проверках двадцати трех типов бортового авиационного оборудования с применением НАСКД-200ПР предварительно проводилась проверка технических характеристик одного и того же экземпляра авиационного оборудования и/или бортового средства контроля по номенклатуре и величинам параметров, заданных технологическими картами РО, в первую очередь с применением ССИ (КПА) и СИ общего назначения. Результаты измерений параметров вручную фиксировались в протоколах испытаний. После чего этот же экземпляр конкретного типа авиационного оборудования и/или бортового средства контроля проверялся с применением НАСКД-200ПР. Полученные результаты в автоматическом режиме записывались в штатный компьютер автоматизированной системы. Далее проводилось сравнение и анализ полученных результатов по критериям, в качестве которых приняты допускаемые значения параметров и погрешности их измерений (абсолютные, относительные или приведенные), нормированные в технологических картах РО вертолетов.

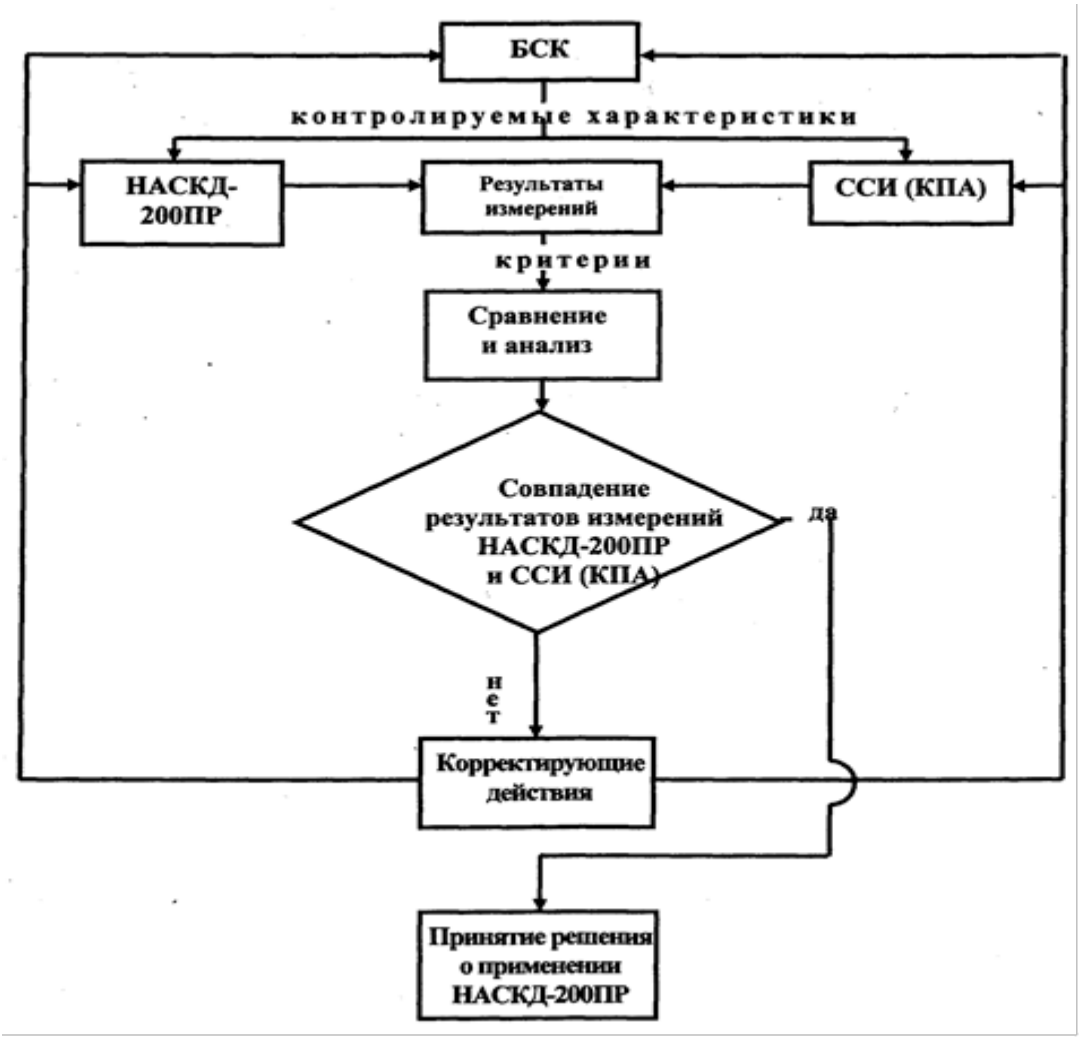


Рис. 4. Блок-схема проведения метрологической части экспериментальных исследований при испытаниях НАСКД-200ПР:
БСК – бортовое авиационное оборудование и бортовые средства контроля;
НАСКД-200ПР – наземная автоматизированная система контроля;
ССИ – специальные средства измерений, включая КПА – контрольно-проверочную аппаратуру

При совпадении результатов измерений параметров, полученных при помощи ССИ (КПА) и автоматизированной системы, принималось положительное решение о возможности применения НАСКД-200ПР для регламентных проверок конкретного типа бортового авиационного оборудования и/или бортового средства контроля.

При несовпадении результатов измерений производились корректирующие действия согласно блок-схеме рис. 4, заключающиеся в повторной проверке авиационного оборудования и/или бортового средства контроля с применением ССИ (КПА) и НАСКД-200ПР с соответствующими адаптерами интерфейса, путем повторения операций технологических карт РО. При повторном несовпадении результатов проводились итерации с использованием другого экземпляра данного типа авиационного оборудования и/или бортового средства контроля. В аналитической оценке Актов проверок по результатам испытаний НАСКД-200ПР с адаптерами интерфейса помимо специалистов метрологической службы ФГУП ГосНИИ ГА принимали участие эксперты по бортовому авиационному оборудованию филиала «НИИ Аэронавигации».

Анализ результатов

Помимо этого проведена оценка соответствия объема: полноты номенклатуры и величин параметров БСК, заложенного в технологических картах РО и руководствах по ремонту оборудования, и контролируемого НАСКД-200ПР. Оценка проведена для шести вариантов объема контроля: 1) входной контроль; 2) номер блока и борта; 3) подозрение на отказ; 4) средний ремонт; 5) капитальный ремонт; 6) регламентные работы.

Метрологические характеристики (диапазоны и погрешности измерений) НАСКД-200ПР, метрологическая надежность и др. обеспечивают возможность и достоверность проверок для 23 типов бортового авиационного оборудования (включая БСК) вертолетов Ми-8Т, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ, Ми-171, Ми-171А, Ми-172. Проверки могут проводиться по всей номенклатуре и диапазонам измерений параметров с существующими допусками, обеспечивающими коэффициенты точности согласно требованиям государственных поверочных схем соответствующих видов измерений. Система подтвердила возможность проверок такого оборудования как БРН120Т5А с. 3; ГМК-1ГЭ; ИВ-500Е с. 2; СО-121ВМ; ТЭР-1М; АРК-15М; БКК-18; ПТС-800БМ; ЭКСР-46; ЭРД-3ВМ с. 2; 5035-2Р-Р44; SAE5-35; Л-166В1АЭ; РТ12-6 с. 2; ССП-ФК с. 2; АП-34Б с. 2; ДИСС-32-90АЭ; СПУУ-52; САС-4-9; БУР-1-2 с. 2; 8А813Ц с. 4; А-037; система ПВД, и обеспечить возможность проверок бортового авиационного оборудования на борту вертолетов без демонтажа для лабораторных проверок.

Из технологических процессов ТОиР вертолетов при применении НАСКД-200ПР будут исключены такие морально и физически устаревшие специальные средства измерений (контрольно-проверочная аппаратура) и средства измерений общего назначения как УВОП-1, КПА-САС, ПП-ССП, Е-016, ПН-8, УПП-1, ПС-11-02 из комплекта КПА-034, М4100/1, В7-16, С1-68 Д121/1, Ц4353, Ч3-57, Ч3-38, магазин сопротивлений Р33, мост постоянного тока Р333, прибор Р4833 и другие.

Тестирование программного обеспечения

С учетом положений ГОСТ Р 8.654 [10] и публикаций [11–13] и алгоритма блок-схемы (рис. 4) выполнено тестирование используемого в НАСКД-200ПР программного обеспечения (ПО), состоящего из системной оболочки «ProTest» и управляемых ею индивидуальных модулей для каждого адаптера. ПО предназначено (помимо прочего) для метрологического обслуживания системы. В дальнейшем при рассмотрении вопроса применения НАСКД-200ПР для регламентных проверок других типов бортового авиационного оборудования, установленного на иных типах ВС, имеется возможность разработки дополнительных программных модулей. При этом с учетом вызовов цифровизации экономики ПО системы НАСКД-200ПР по структуре и алгоритмам близко к системе связей и зависимостей, описывающих поведение реального объекта в нормальных условиях работы и избыточно больших данных, получаемых с реального объекта [14]. Цифровая тень способна предсказать поведение реального объекта в тех условиях, в которых осуществлялся сбор данных. При проведении оценки Руководства оператора Р53201.9900.000 34 01 установлено, что система НАСКД-200ПР позволяет проводить входной контроль, определять номер блока и бортовой номер ВС, выявлять подозрения на отказ и определять виды требуемого ТО (средний ремонт, капитальный ремонт или регламентные работы).

В процессе проведенных испытаний подтверждено также, что программные приложения, совместно с комплектом оборудования изделия, позволяют: реализовать программными методами автоматизированную проверку; оценивать основные параметры; диагностировать состояние объектов контроля; контролировать приборы в составе изделия; запоминать и хранить получаемые результаты; оказывать информационную и техническую поддержку оператору изделия; обрабатывать результаты работы в различных режимах.

Система НАСКД-200ПР внесена в Перечень ССИ, применяемых в гражданской авиации, а также имеет Свидетельство об утверждении типа средства измерений, зарегистрированное в государственном реестре под № RU.C.34.001.B № 51118. Тип средства измерений НАСКД-200ПР утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18.09.2018 г. № 598.

Для внедрения НАСКД-200ПР в практику авиационной деятельности при участии специалистов метрологической службы института разработан и утвержден 09.06.21 АО «НЦВ Миль и Камов» эксплуатационный бюллетень [15], что позволяет модернизировать инструментальную базу контроля таких типов бортового оборудования вертолетов Ми-8Т, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ, Ми-171, Ми-171А, Ми-172 и их модификаций как БРН120Т5А с. 3; ГМК-1ГЭ; ИВ-500Е с. 2; СО-121ВМ; ТЭР-1М; АРК-15М; БКК-18; ПТС-800БМ; ЭКСР-46; ЭРД-3ВМ с. 2; 5035-2Р-Р44; SAE5-35; Л-166В1АЭ; РТ12-6 с. 2; ССП-ФК с. 2; АП-34Б с. 2; ДИСС-32-90АЭ; СПУУ-52; САС-4-9; БУР-1-2 с. 2; 8А813Ц с. 4; А-037; система ПВД, и обеспечить возможность проверок бортового авиационного оборудования на борту вертолетов.

Из технологических процессов ТОиР вертолетов семейства Ми-8 при применении НАСД-200ПР будут исключены такие морально и физически устаревшие ССИ (в том числе, контрольно-проверочная аппаратура) и средства измерений общего назначения как УВОП-1, КПА-САС, ПП-ССП, Е-016, ПН-8, УПП-1, ПС-11-02 из комплекта КПА-034, М4100/1, В7-16, С1-68 Д121/1, Ц4353, Ч3-57, Ч3-38, магазин сопротивлений Р33, мост постоянного тока Р333, прибор Р4833, и другие, применяемые при лабораторных проверках бортового авиационного оборудования в соответствии с технологическими картами РО.

Выводы

На примере наземной автоматизированной системы контроля НАСКД-200ПР разработана методология обеспечения единства измерений при допуске к эксплуатации в авиационной деятельности на воздушном транспорте новых типов средств эксплуатационного контроля для ВС отечественного производства. Методология успешно апробирована и подтвердила свою практическую эффективность.

Метрологические характеристики (диапазоны и погрешности измерений), метрологическая надежность и другие сервисные возможности НАСКД-200ПР обеспечивают возможность и достоверность проверок для 23 типов бортового авиационного оборудования вертолетов семейства Ми-8 по полной номенклатуре параметров с допускаемыми отклонениями.

При применении НАСКД-200ПР подтверждена прослеживаемость измерений с первичными национальными эталонами единиц международной системы СИ. При этом по всем видам измерений НАСКД-200ПР обеспечивает коэффициенты точности, соответствующие требованиям государственных поверочных схем.

Одним из элементов метрологической части проведения эксплуатационных испытаний явилось тестирование программного обеспечения «ProTest», осуществляющего управление индивидуальными программными модулями для каждого отдельного адаптера и предназначенного помимо прочего для метрологического обслуживания системы. Итоги тестирования показали отсутствие влияния ПО при работе НАСКД-200ПР на результаты измерений параметров бортового авиационного оборудования.

Система НАСКД-200ПР зарегистрирована в Перечне специальных средств измерений, применяемых в гражданской авиации, а также имеет зарегистрированный в государственном реестре сертификат об утверждении типа средств измерений.

Периодическое метрологическое обслуживание НАСКД-200ПР может осуществляться в виде калибровки в метрологических службах предприятий ВТ, в случае соответствия их технической компетентности положениям ГОСТ Р 55867 [7] и [8, 9], подтверждаемой в рамках

Системы сертификации объектов гражданской авиации (СДС ОГА), либо в виде поверки – аккредитованными в рамках национальной системы аккредитации метрологическими службами.

Применение НАСКД-200ПР в практике авиационной деятельности на воздушном транспорте обеспечит исключение возможностей возникновения значительного спектра метрологических рисков негативных ситуаций [16], связанных с процедурами регламентного обслуживания вертолетов семейства Ми-8.

Отличительной особенностью НАСКД-200ПР от других аналогичных систем отечественного производства является то, что измерения параметров производятся на борту вертолетов на контактах недемонтированных объектов контроля.

По результатам эксплуатационных испытаний бюллетенем от 09.06.21 № ТМ 3811-БЭ-Г [15], утвержденным АО «Научный центр вертолетостроения «Миль и Камов», система НАСКД-200ПР введена в состав наземных средств контроля для применения на предприятиях ВТ при техническом обслуживании и ремонте (ТОиР) вертолетов Ми-8Т, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ, Ми-171, Ми-171А, Ми-172 для проведения проверок бортового авиационного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богоявленский А.А., Боков А.Е., Матюхин К.Е. Метрологическое обеспечение межведомственных испытаний наземной автоматизированной системы контроля: методология и анализ результатов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 219 (9). С. 137–143.

2. Богоявленский А.А., Боков А.Е., Матюхин К.Е. Об обеспечении единства измерений при испытаниях и применении нового поколения средств эксплуатационного контроля воздушных судов отечественного производства. // Сб. докл. Международной научн.-техн. конф. «Интеллектуальные системы измерений, контроля, управления и диспетчеризации в промышленности». М.: Компания ITE; МАИ, 2014. С. 85–88.

3. Богоявленский А.А. Анализ процедур обеспечения достоверности средств и методов измерения вибрации в процессах поддержания летной годности воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. Том 20. № 01. С. 78–87.

4. Богоявленский А.А. Процедуры обеспечения точности результатов измерений параметров вибрации при технической эксплуатации авиационной техники // Авиакосмическое приборостроение. 2016. № 11. С. 3–14.

5. Богоявленский А.А. Обеспечение единства измерений параметров вибрации при технической эксплуатации воздушных судов // Мир измерений. 2016. № 2. С. 6–14. DOI 10.35400/1813-8667-2016-2-6-14.

6. ГОСТ ISO/IEC 17025—2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М.: Стандартинформ, 2021. 32 с.

7. ГОСТ Р 55867—2013. Воздушный транспорт. Метрологическое обеспечение на воздушном транспорте. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.

8. Богоявленский А.А., Ермолаева О.Л. Оценка технической компетентности калибровочных лабораторий специальных средств измерений при производстве авиационной деятельности // Научный вестник Гос.НИИ ГА. 2013. № 3 (№ 314). С. 34–40.

9. Богоявленский А.А., Ермолаева О.Л. Об организации и проведении работ по обеспечению единства измерений на воздушном транспорте // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2012. № 2 (№ 313). С. 24–29.

10. ГОСТ Р 8.654—2015. ГСИ. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. 14 с.

11. Богоявленский А.А. Аттестация испытательного оборудования узлов и агрегатов авиационной техники // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 199 (1). С. 126–133.

12. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Аттестация программного обеспечения специальных СИ на воздушном транспорте // Мир измерений. 2012. № 11. С. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2012-11-14-22.

13. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Ермолаева О.Л., Матюхин К.Е. О сертификации программного обеспечения средств измерений и информационно-измерительных систем, применяемых в гражданской авиации // Труды ГосНИИ ГА. 2010. Вып. 311. С. 86–90.

14. Богоявленский А.А. Роль метрологической деятельности в условиях инновационного развития России // Мир измерений. 2021. № 1. С. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2021-1-22-26.

15. Бюллетень № ТМ 3811-БЭ-Г от 09.06.21. Вертолеты Ми-8Т, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ, Ми-171, Ми-171А, Ми-172. По вопросу: Информирование организаций и предприятий, осуществляющих эксплуатацию и ремонт вертолетов о включении наземной автоматизированной системы контроля и диагностики НАСКД-200ПР производства АО «БЕТА ИР» в состав наземных средств контроля (НСК).

16. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности // Мир измерений. 2013. № 10. С. 3–7. DOI 10.35400/1813-8667-2013-10-3-7.

REFERENCES

1. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E., Matyukhin K.E. Metrological support of operation testing of ground-based automated control system: the methodology and analysis of results. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Civil Aviation High Technologies*, 2015, no.219, pp.137–143. (In Russian.)

2. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E., Matyukhin K.E. On ensuring uniformity of measurements during testing and application of a new generation of operational monitoring equipment for domestic aircraft. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii «Intellektual`nye sistemy izmerenij, kontrolya, upravleniya I dispetcherizatsii v promyshlennosti»* [The collection of reports of the international scientific technical conference «Intellectual systems of measuring, control, management and scheduling in the industry»]. Moscow, Kompaniya ITE, MAI Publ., 2014, pp. 85–88. (In Russian).

3. Bogoyavlenskiy A.A. Analysis of methods providing accuracy for tools and techniques vibration measurement in the process of maintaining airworthiness of aircraft. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Civil Aviation High Technologies*, 2017, vol. 20, no.1, pp. 78–87. (In Russian).

4. Bogoyavlenskiy A.A. Procedures for ensuring accuracy of results of vibration parameters changes during aircraft maintenance. *Aviakosmicheskoe priborostroenie = Aerospace Insrumentation*, 2016, no. 11, pp. 3–14. (In Russian).

5. Bogoyavlenskiy A.A. Ensuring uniformity of vibration parameters measurements during aircraft maintenance. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2016, no. 2, pp. 6–14. DOI 10.35400/1813-8667-2016-2-6-14. (In Russian).

6. GOST ISO/IEC 17025—2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Moscow. Standartinform Publ., 2021, 32 p. (In Russian).

7. GOST R 55867—2013. Air transport. Metrological support in air transport. Main provisions. Moscow. Standartinform Publ., 2014, 15 p. (In Russian).

8. Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L. Assessment of technical competence of calibration laboratories of special measuring instruments in the production of aviation activities. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2013, no. 3(314), pp. 34–40. (In Russian).

9. Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L. On organization and implementation of works to ensurw uniformity of measurements in air transport. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2012, no. 2(313), pp. 24–29. (In Russian).

10. GOST R 8.654—2015. SMS. Requirements for measuring instruments software. Main provisions. Moscow. Standartinform Publ., 2019, 14 p. (In Russian).

11. Bogoyavlenskiy A.A. Certification of test equipment, components and assemblies of aviation technology. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2014, no. 199 (1), pp. 126–133. (In Russian).

12. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E. Certification of software for special MS in air transport. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2012, no. 11, pp. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2012-11-14-22. (In Russian).

13. Bogoyavlensky A.A., Bokov A.E. Ermolaeva O.L., Matyukhin K.E. On software certification of measuring instruments and measuring systems used in civil aviation. *Trudy GosNII GA = Proceedings of GosNII GA*, 2010, no. 311, pp. 86-90. (In Russian).

14. Bogoyavlenskiy A.A. The role of metrological activity in the conditions of innovative development of Russia. *Mir izmerenij = Measurement world,* 2021, no. 1, pp. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2021-1-22-26. (In Russian).

15. Bulletin no. TM 3811-BE-G from 09.06.21. Helicopters Mi-8T, Mi-8MTV-1, Mi-8AMT, Mi-171, Mi-171A, Mi-172. On the issue: Informing organizations and enterprises operating and repairing helicopters about the inclusion of the ground-based automated control and diagnostics system NASKD-200PR of JSC «BETA IR» production in the ground-based control equipment. (In Russian).

16. Bogoyavlensky A.A., Bokov A.E. Setting the task of developing methods for managing metrological risks of negative situations in aviation activities. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2013, no. 10, pp. 3–7. DOI 10.35400/1813-8667-2013-10-3-7. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Богоявленский Анатолий Александрович, доктор технических наук, член-корреспондент Метрологической академии, главный метролог, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: bogoyavlenskiy@gosniiga.ru.

ABOUT THE AUTHOR

Bogoyavlensky Anatoliy A., Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Metrological Academy, Chief Metrologist, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: bogoyavlenskiy@gosniiga.ru.

УДК 629.7.083:621.868.238.6-52

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.В. ВЕЛИКАНОВ[1], Д.Е. ДЬЯКОВ[1], Л.А. ВЕЛИКАНОВА[1], Н.А. ДЬЯКОВА[2]

[1]Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация
[2]ФГБУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. Анализ аэродромных средств буксировки подтвердил актуальность проведения работ по созданию малогабаритных роботизированных буксировочных систем для транспортирования пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов. Разработан способ аэродромного транспортирования летательных аппаратов с применением малогабаритной роботизированной буксировочной системы, позволяющий автоматизировать процесс буксировки. Предложена конструкция малогабаритной роботизированной буксировочной системы. Разработаны основные требования к конструкции роботизированной буксировочной системы. Система обеспечивает унификацию, повышение надежности и безопасности при максимальной эффективности, несмотря на малые размеры устройства и парковочного пространства. Роботизированная буксировочная система позволяет оператору управления осуществлять визуальный контроль за всеми частями самолета в процессе его буксировки. Оснащение буксировочной системы машинным зрением исключает возможность ее столкновения с препятствием. Система обладает повышенной маневренностью, минимизирует время стыковки с летательным аппаратом. Предложена методика применения разработанной буксировочной системы по жесткому аэродромному покрытию со специально нанесенной разметкой, позволяющей роботизированному буксировщику производить транспортирование воздушных судов на заданных участках в автоматическом режиме без участия оператора управления. Рассмотренная малогабаритная роботизированная буксировочная система способна эффективно производить наземную буксировку разнотипных летательных аппаратов, имеющих классическую схему шасси, в том числе по аэродромному покрытию с низким коэффициентом сцепления.

Ключевые слова: роботизированная буксировочная система, самолет, унификация, сцепной вес, автоматическое управление, буксировочное водило, средства буксировки, воздушное судно

ROBOTIC SYSTEM FOR GROUND TRANSPORT OF AIRCRAFT

A.V. VELIKANOV[1], D.E. DYAKOV[1], L.A. VELIKANOVA[1], N.A. DYAKOVA[2]

[1]Military Research and Training Centre of Air Force «Military Air Academy named after prof. N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin», Voronezh, Russian Federation
[2]Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

Abstract. The analysis of airfield towing facilities confirmed the relevance of the work on the development of small-sized robotic towing systems for the transportation of manned and unmanned aircraft. The method of airfield transportation of aircrafts using small-sized robotic towing system allows automation of the towing process. The design of small-sized robotic towing system is proposed. The basic requirements to the construction of the robotized towing system are worked out. The system provides unification, increased reliability and safety, with maximum efficiency despite the small size of the device and the parking space. The robotic towing system allows the operator to visually monitor all parts of the aircraft while it is being towed. Equipping the towing system with machine vision eliminates the possibility of it colliding with an obstacle. The system has increased manoeuvrability and minimizes the docking time with the aircraft. The methods of application of the developed towing system on

the hard airfield pavement with special markings, which allows the robotic tugger to make the transportation of the aircraft on the specified sections automatically without the participation of the control operator, is offered. The considered small-sized robotic towing system is capable of efficient ground towing of various types of aircraft with a classic landing gear scheme, including on the airfield pavement with a low coefficient of adhesion.

Keywords: robotic towing system, aircraft, unification, hitch weight, automatic control, towing driver, towing tools, aircraft

Введение

Технически грамотное использование наземной авиационной техники обеспечивает безопасность и регулярность полетов авиации. Современные мощные колесные тягачи обладают запасом нереализованного окружного усилия на ведущих колесах, особенно в осенне-зимний период эксплуатации из-за низких значений коэффициента сцепления колес с поверхностью аэродрома. В то же время при качественном использовании средств буксировки на аэродромах существенно экономится моторесурс самолетных двигателей и горючее, а также снижается шум и загрязнение атмосферы. Такие показатели достигаются потому, что аэродромный буксировщик затрачивает на цикл буксировки более чем в 100 раз меньше топлива, чем самолет при заруливании при помощи собственных двигателей.

Для увеличения силы тяги по сцеплению буксировщики загружают дополнительным грузом. Вес этого балласта зачастую превышает вес самого тягача, что увеличивает расход топлива в среднем на 25–30 %. Это может быть оправдано в период буксировки, но при совершении холостого пробега ведет к непроизводительному перерасходу топлива.

Для наземного транспортирования воздушных судов (ВС) на российских аэродромах широко применяют метод буксировки с использованием унифицированного водила. Данный метод позволяет применять для этой цели специальные аэродромные буксировщики и серийно выпускаемые полноприводные тягачи. Буксировочные водила изготавливают различных конструкций и размеров под каждый тип самолета.

Однако применение унифицированных водил имеет ряд недостатков, таких как низкая скорость транспортирования (20 км/ч), что увеличивает расход топлива, так как используется низшая передача, большой продольный габарит, что при строительстве и реконструкции аэродромов требует увеличения радиусов сопряжений рулежных дорожек и магистральных полос.

Большинство серийных аэродромных буксировщиков не оборудованы какими-либо энергосберегающими системами, что снижает их эффективность при эксплуатации, а именно при транспортировании ВС, имеющих большой взлетный вес. Данная проблема может быть решена путем догрузки буксировщиков весом ВС и использованием в качестве буксировщиков малогабаритных роботизированных систем.

Создаваемые в настоящее время специализированные буксировщики для транспортирования тяжелых ВС способны решать поставленные перед ними задачи за счет увеличения мощности двигателя и сцепного веса, что ведет к непроизводительному расходу топлива и моторесурса, особенно при движении без тяговой нагрузки.

Таким образом, разработка малогабаритных роботизированных буксировочных систем (МРБС) с изменяемым сцепным весом для наземного транспортирования воздушных судов является актуальной задачей.

В нашей стране разработан ряд специализированных буксировщиков и буксировщиков с изменяемым сцепным весом [1–8].

Методика исследования

Полученные в ходе проведенных исследований данные позволили сформулировать ряд требований к конструкции (устройству) малогабаритных роботизированных буксировочных комплексов для наземного транспортирования воздушных судов:

1. Устройство должно быть унифицированным и закрепляться быстросъемными соединениями к переднему шасси самолета, а также иметь возможность догрузки от него.

2. Усилие догрузки на МРБС должно передаваться по возможности ближе к центру масс или к ведущей оси, если МРБС не полноприводная.

3. Чтобы улучшить маневренность и устойчивость агрегата МРБС – воздушное судно в процессе работы крепление между ними должно быть достаточно жестким.

Схема разработанной с учетом выше приведенных требований МРБС представлена на рис. 1, 2. Буксировочная система имеет возможность изменять сцепной вес, используя при этом вес передней стойки самолета и производить буксировку по заданному маршруту в автоматическом режиме.

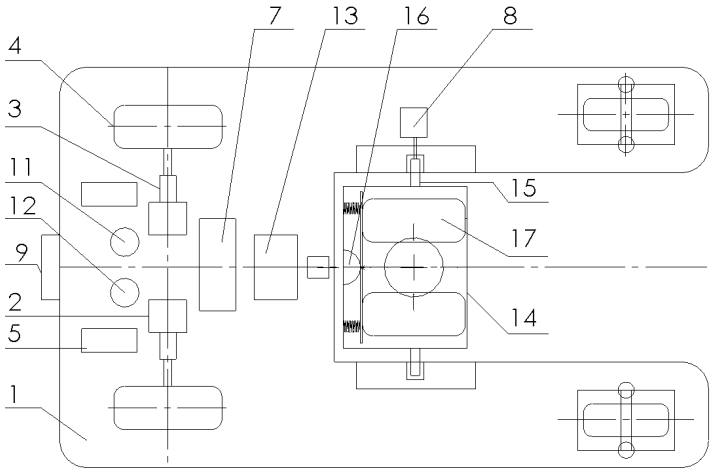


Рис. 1. Малогабаритная роботизированная буксировочная система (вид сверху)

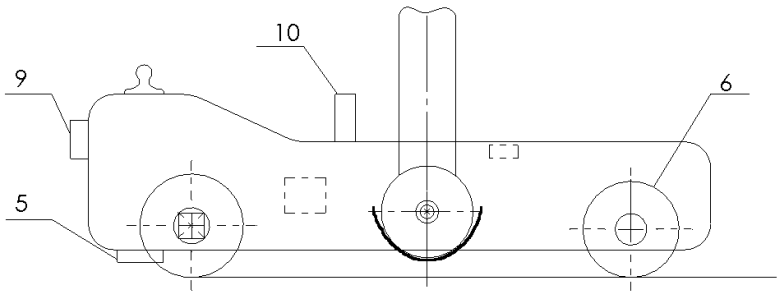


Рис. 2. Малогабаритная роботизированная буксировочная система (вид сбоку)

Представленная на рис. 1, 2 схема устройства МРБС содержит: несущую раму 1, симметрично расположенные относительно продольной оси буксировщика электродвигатели 2, редукторы 3, ведущие колеса 4, датчики приема сигнала от указателя маршрута 5 (например, фоторезисторы), самонаправляющиеся колеса 6, блок управления 7, датчик измерения дистанции до передней стойки самолета при стыковке 10, сервопривод поворота ковша 8, датчик

контроля габаритного пространства в направлении движения 9, датчик приема сигнала с пульта дистанционного управления 11, спутниковый датчик контроля местоположения 12, источник электроэнергии 13, механизм фиксации колес передней стойки самолета 14, поворотную ось 15, датчик определения нахождения колес переднего шасси самолета в механизме подъема и фиксации 16.

Рассматриваемая МРБС защищена патентом РФ [5].

Использование МРБС способствует расширению функциональных возможностей управления устройством путем оборудования его датчиками приема сигнала от указателя маршрута, позволяющими буксировщику самостоятельно двигаться по размеченному на аэродромном покрытии маршруту, с возможностью ручного дистанционного управления на начальном и заключительном этапах буксировки; повышению надежности за счет упрощения конструкции и обеспечению безопасности процесса, поскольку практически исключается участие человека при буксировке, обеспечению необходимой эффективности при малых габаритных размерах устройства и парковочного пространства. Буксировочная система позволяет осуществлять полный визуальный контроль за всеми частями самолета при его транспортировании, поскольку оператор наблюдает за процессом со стороны.

Также исключается возможность столкновения с препятствием за счет установления датчика контроля габаритного пространства в направлении движения перед буксировщиком. Унификация буксировочной системы обеспечивает применение буксировщика для большинства типов самолетов и не требует переналадки тягово-сцепного оборудования, поскольку предложенный механизм подъема и фиксации способен произвести стыковку с передней стойкой воздушных судов, имеющих широкий спектр размеров шин. Повышение маневренности достигается за счет использования системы бортового поворота. МРБС полностью исключает передачу на оператора управления вибрационных нагрузок, а также минимизирует время подстыковки буксировщика к самолету, что достигается путем применения грузовой платформы, спрофилированной в виде ковша.

Применение в малогабаритном буксировщике системы автоматического управления при движении по заданной траектории с использованием расположенной на поверхности аэродрома разметки позволяет осуществить процесс буксировки воздушного судна в автоматическом режиме, что обеспечивает возможность снижения трудозатрат и сокращает количество обслуживающего персонала. Также предложенная система автоматического управления движением буксировщика обладает высокой помехоустойчивостью, что не позволит сбиться буксировщику с заданного маршрута и совершить наезд на препятствие.

Приведенные выше положительные аспекты достигаются за счет оснащения МРБС датчиками приема сигнала от указателя маршрута, электродвигателями с редукторами привода ведущих колес, блоком управления (например микроконтроллером с усилителем сигнала), датчиком определения расстояния до передней стойки самолета при стыковке, датчиком контроля габаритного пространства в направлении движения буксировщика, датчиком определения нахождения колес передних шасси самолета в механизме подъема и фиксации, при этом данный механизм выполнен в форме спрофилированного ковша с возможностью поворота вокруг своей оси посредством сервопривода.

Передние ведущие колеса буксировщика имеют индивидуальный привод от электродвигателей через редуктор с возможностью подачи сигнала датчиками на блок управления, управляющий работой электродвигателей привода колес и сервопривода устройства подъема и фиксации колес переднего шасси самолета. При этом достигается повышение надежности, безопасности и упрощение конструкции.

Управление МРБС может осуществляться при помощи пульта дистанционного управления (рис. 3).

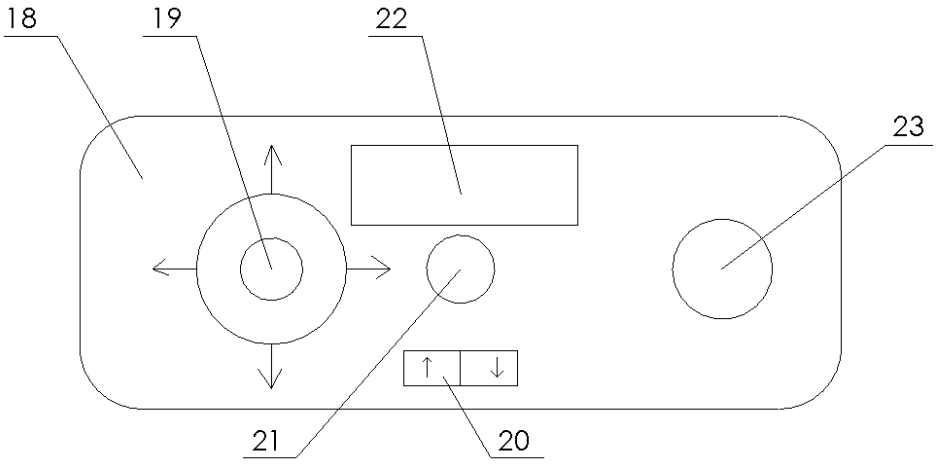


Рис. 3. Пульт дистанционного управления МРБС

Изображенный на рис. 3 пульт дистанционного управления 18 включает следующие позиции: переключатель ускорения и направления движения 19, переключатель опускания и подъема спрофилированного ковша 20, тумблер подачи питания на буксировщик 21, монитор 22, переключатель режимов управления 23.

Устройство маршрутизатора МРБС автоматического движения агрегата тягач-ВС в процессе буксировки изображено в виде блок-схемы (рис. 4).

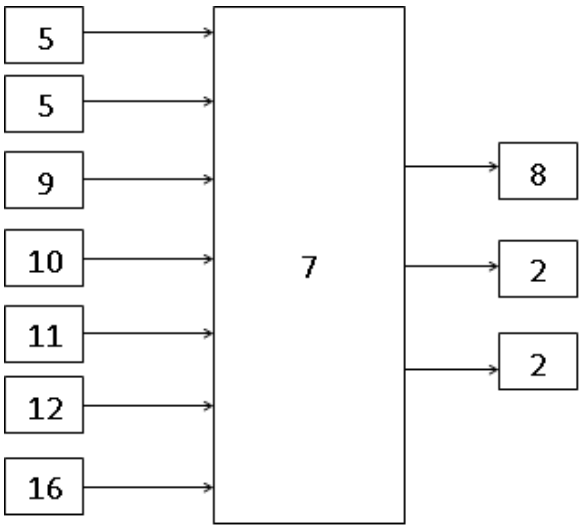


Рис. 4. Блок - схема МРБС

Блок-схема устройства (рис. 4) включает в себя: датчики приема сигнала от указателя маршрута 5, датчик контроля габаритного пространства в направлении движения 9, датчик определения расстояния до переднего шасси самолета при стыковке 10, приемник сигнала дистанционного ручного управления 11, спутниковый датчик слежения 12, датчик контроля нахождения колес переднего шасси самолета в механизме подъема и фиксации 16, блок

управления 7 симметрично расположенными электродвигателями 2, сервопривод поворота ковша 8.

Предложенная МРБС может быть использована также для наземного транспортирования перспективных беспилотных летательных аппаратов самолетного типа.

В настоящее время встают на вооружение новейшие ударно-разведывательные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) самолетной системы посадки (СПП), например, такие как «Орион», «Альтиус», «Форпост-Р» и другие [9, 10].

Особенную актуальность при этом приобретает вопрос буксировки БПЛА ССП по летному полю и требует разработки конструктивно новых малогабаритных буксировщиков с современным оптико-электронным оборудованием, способным автоматизированно функционировать днем и ночью в любых погодных условиях.

В рамках проведенных исследований не рассматривались вопросы метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений роботизированной системы, что не исключает возникновения метрологических рисков негативных ситуаций в процессе ее эксплуатации [11]. Поэтому в дальнейшем – до начала применения в практике авиационной деятельности – следует решить метрологические аспекты информационно-измерительной надстройки МРБС согласно [12–14]. Одновременно встроенное программное обеспечение МРБС должно будет пройти сертификацию, аттестацию или тестирование как программное обеспечение, применяемое при измерениях [15–17].

Работа малогабаритной буксировочной системы

Оператор управления с помощью пульта дистанционного управления 18 включает питание буксировщика с помощью тумблера 21, затем с помощью джойстика 19 выставляет буксировщик таким образом, чтобы механизм фиксации колес переднего шасси самолета 14 и непосредственно колеса передней стойки 17 оказались на одной линии по направлению движения. Убедившись в правильном расположении буксировщика и воздушного судна, оператор включает тумблер 23, который переводит буксировщик с ручного управления на автоматическое, далее, воздействуя на джойстик 19, задает режим движения задним ходом, при этом датчик определения расстояния до переднего шасси самолета при стыковке 10 подает сигнал через блок управления 7 на электродвигатели 2 с целью снижения скорости движения по мере приближения к передней стойке и ее центрирования по отношению к механизму подъема и фиксации.

Подъезд к воздушному судну происходит с заранее опущенным ковшом до того момента, пока датчик контроля нахождения колес переднего шасси самолета в механизме подъема и фиксации 16 не подаст сигнал через блок управления 7 на остановку буксировщика. Далее блок управления 7 подает сигнал на сервопривод поворота ковша 8. После того, как переднее колесо 17 будет зафиксировано в ковше, оператор тумблером 23 переводит буксировщик в ручное управление и выводит на стартовую позицию таким образом, чтобы нанесенная на поверхность аэродромного покрытия линия разметки оказалась между датчиками приема сигнала от указателя маршрута 5. Далее при помощи тумблера 23 и джойстика 19 буксировщик переводится в автоматический режим движения и отправляется по размеченному маршруту к взлетно-посадочной полосе. При этом в процессе движения маршрутная линия разметки должна оставаться между датчиками приема сигнала от указателя маршрута 5.

В случае пересечения одним из датчиков маршрутной линии разметки сигнал с датчика 5 об отклонении от маршрута поступает в блок управления 7, после чего происходит корректировка направления движения, за счет замедления или ускорения вращения одного из ведущих колес. В случае, если на пути движения буксировщика окажется препятствие, датчик контроля габаритного пространства в направлении движения 9 подаст сигнал на блок

управления 7, который остановит движение буксировщика и не позволит совершить наезд на объект, создающий помеху для дальнейшего движения.

Окончанием маршрута может являться нанесенная на аэродромное покрытие поперечная разметка, при пересечении которой одновременно двумя датчиками 5 происходит остановка буксировщика. Информация об остановке будет отображаться на дисплее 22. Далее принимающий оператор переводит буксировщик в ручное управление тумблером 23 и с помощью тумблера 20 опускает ковш и отводит буксировщик от воздушного судна. Движение на стоянку осуществляется аналогичным образом, как и при движении на взлетно-посадочную полосу. Пульт управления 18 позволяет формировать сигналы управления, которые посредством сгенерированных сигналов передаются на приемник 11 МРБС, где происходит дешифрация полученных сигналов и дальнейшая их трансляция на блок управления 7, способный с использованием программного обеспечения обрабатывать полученные команды и производить управление исполнительными элементами 2 и 8, а также с помощью дисплея 22 оператор может контролировать движение буксировщика по маршруту с помощью спутникового датчика слежения 12.

В случае, если движение будет прекращено из-за возникшего на его пути препятствия или по другим причинам, на дисплее оператор может увидеть сложившуюся ситуацию и проследовать к месту остановки буксировщика. После того, как препятствие будет устранено, датчик 9 подаст сигнал через блок управления 7 на электродвигатели 2 на продолжение движения. Также в случае разряда источника питания 13 на дисплее будет отражаться индикатор степени разряда батареи, предупреждающий оператора о том, что вскоре буксировщик прекратит свое движение.

Изготовление малогабаритной роботизированной буксировочной системы для пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов самолетного типа может производиться из комплектующих отечественного производства, выпускаемых промышленностью.

Проведенные экспериментальные исследования МРБС позволили дать оценку ее пригодности для наземного транспортирования как пилотируемых, так и беспилотных воздушных судов (рис. 5).

Рис. 5. Экспериментальные исследования МРБС

Применение МРБС обеспечивает расширение спектра решаемых задач за счет автоматизации процесса буксировки разнотипных летательных аппаратов без переналадки тягового оборудования. Также система отличается высокой эффективностью, несмотря на малые размеры самого устройства и стесненные условия для маневрирования, обеспечивая оператору полный визуальный контроль за процессом со стороны. МРБС оборудована машинным зрением, что исключает возможность ее столкновения с препятствием.

Применение в качестве тягово-сцепного буксировочного устройства спрофилированного ковша унифицирует буксировочную систему, что позволяет использовать ее для широкого спектра летательных аппаратов без изменения тягово-сцепной оснастки. Уменьшение продольного линейного размера агрегата МРБС-самолет способствует улучшению маневренности, в том числе и за счет использования системы бортового поворота. Рассмотренная буксировочная система эргономична, поскольку не требует нахождения оператора управления на борту, что соответственно исключает воздействие на него вибрационных нагрузок.

Выводы

По результатам проведенных аналитических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована необходимость создания малогабаритных роботизированных аэродромных буксировочных систем воздушных судов.

2. Разработана перспективная конструкция малогабаритной роботизированной буксировочной системы с перспективой использования ее для наземного транспортирования пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов аэродромного базирования.

3. Исследованы конструктивные особенности разработанной МРБС, позволившие выявить положительные аспекты в процессе ее эксплуатации.

4. Рассмотренная малогабаритная роботизированная буксировочная система способна эффективно производить наземную буксировку разнотипных летательных аппаратов, имеющих классическую схему шасси, в том числе по аэродромному покрытию с низким коэффициентом сцепления.

5. В рамках проведенных исследований не рассматривались вопросы метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений роботизированной системы, что не исключает возникновения метрологических рисков негативных ситуаций в процессе ее эксплуатации. Поэтому в дальнейшем – до начала применения в практике авиационной деятельности – следует решить метрологические аспекты информационно-измерительной надстройки МРБС согласно [12–14]. Одновременно встроенное программное обеспечение МРБС должно будет пройти сертификацию, аттестацию или тестирование как программное обеспечение, применяемое при измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канарчук Г.Н. Авиационная наземная техника / Г.Н. Канарчук. М.: Транспорт, 1989. 232 с.

2. Патент 2365524 РФ МПК B64 1/22. Малогаборитное устройство для буксировки воздушных судов\ А.В. Великанов, А.С. Германович. - № 2008111597/11; Заяв. 25.03.2008; Опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24. 6 с.:ил.

3. Малогабаритное устройство для буксировки воздушных судов: пат. 2483988 Рос. Федерация, № 2011144986/11МПК B64 1/22./А.В. Великанов, А.С. Германович, Н.А. Великанова, Р.А. Проскурин; заяв. 07.11.2011; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. 5 с.:ил.

4. Страхов Л.Н. Справочное пособие по средствам аэродромно-технического обеспечения полетов. М.: Воениздат, 1980. 318 с.

5. Малогабаритный буксировщик беспилотных летательных аппаратов самолетного типа с автоматическим управлением: пат. 2744085 Рос. Федерация, № 2020114279 МПК B64F 1/22, B60P 3/11. А.В.Великанов, С. В. Артыщенко, Д. Е Дьяков, В. В. Макогонов; заяв. 07.04.2020; опубл. 02.03.2021, Бюл. № 7. 11 с.: ил.

6. Способ буксировки самолетов с использованием малогабаритного буксировщика с дистанционным управлением: пат. 2618611 Рос. Федерация, № 2016111467, МПК B64F 1/22. / Дьяков Д.Е., Лиховидов Д.В., Великанов А.В., Носов Е.В., Плахотин А.А., Германович А.С., Заикин А.В.;

заявитель и патентообладатель ВУНЦ ВВС «ВВА»; заявл. 29.03.2016; опубл. 04.05.2017, Бюл. №.13. 9 с.: ил.

7. Устройство для буксировки самолетов: пат. 2139227 Рос. Федерация, № 98116240/28 МПК B64F 1/22. / А.В. Великанов, В.А. Борисенков, А.А. Терехов; заяв.24.08.98; опубл. 10.10.99 , Бюл. № 28. 3с.: ил.

8. Тягово-сцепное устройство буксировщика: пат. 2160690 Рос. Федерация, № 99114543/28 МПК B64F 1/22. / А.В. Великанов, В.А. Нилов; заяв. 05.07.99; опубл. 20.12.2000, Бюл. № 35. 5с.: ил.

9. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. Робототехнические комплексы на основе БЛА: монография / под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. Кн. 2. М.: Радиотехника, 2016. 824 с.

10. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА: монография / под ред. В. С. Вербы, Б. Г. Татарского. Кн.1. М.: Радиотехника, 2016. 512 с.

11. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности // Мир измерений. 2013. № 10. С. 3–7. DOI 10.35400/1813-8667-2013-10-3-7.

12. Богоявленский А.А., Ермолаева О.Л. Об организации и проведении работ по обеспечению единства измерений на воздушном транспорте // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2012. № 2 (№ 313). С. 24–29.

13. Богоявленский А.А. Методология и практика обеспечения единства измерений при эксплуатации наземных автоматизированных систем контроля бортового оборудования воздушных судов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 37. С. 31–41.

14. Богоявленский А.А., Боков А.Е., Матюхин К.Е. Метрологическое обеспечение эксплуатационных испытаний наземной автоматизированной системы контроля: методология и анализ результатов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 219 (9). С. 137–143.

15. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Аттестация программного обеспечения специальных СИ на воздушном транспорте // Мир измерений. 2012. № 11. С. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2012-11-14-22.

16. Богоявленский А.А. Аттестация испытательного оборудования узлов и агрегатов авиационной техники // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 199 (1). С. 126–133.

17. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Ермолаева О.Л., Матюхин К.Е. О сертификации программного обеспечения средств измерений и информационно-измерительных систем, применяемых в гражданской авиации // Труды ГосНИИ ГА. 2010. Вып. 311. С. 86–90.

REFERENCES

1. Kanarchuk G.N. *Aviatsionnaya nazemnaya tekhnika* [Aviation ground engineering]. G.N. Kanarchuk. Moscow. Transport Publ., 1989, 232 c. (In Russian).

2. Velikanov A.V., Germanovich A.S. *Malogabaritnoe ustrojstvo dlya buksirovki vozdushnykh sudov* [Small-size device for aircraft towing]. Patent RF, no. 2008111597/11, 2009. (In Russian).

3. Velikanov A.V., Germanovich A.S., Velikanova N.A., Proskurin R.A. *Malogabaritnoe ustrojstvo dlya buksirovki vozdushnykh sudov* [Small-size device for aircraft towing]. Patent RF, no. 2011144986/11, 2013. (In Russian).

4. Strakhov L.N. *Spravochnoe posobie po sredstvam aehrodromno-tekhnicheskogo obespecheniya poletov* [Reference manual on the aerodrome technical support of flights]. Moscow. Voenizdat Publ., 1980, 318 p. (In Russian).

5. Velikanov A.V., Artyshchenko S.V., Dyakov D.E., Makogonov V.V. *Malogabaritnyj buksirovshchik bespilotnykh letatel`nykh apparatov samoletnogo tipa s avtomaticheskim upravleniem* [Small-size airplane-type unmanned aerial vehicle towing vehicle with automatic control]. Patent RF, no. 2020114279, 2021. (In Russian).

6. D'yakov D.E., Likhovidov D.V., Velikanov A.V., Nosov E.V., Plakhotin A.A., Germanovich A.S., Zaikin A.V. *Sposob buksirovki samoletov s ispol`zovaniem malogabaritnogo buksirovshchika s distantsionnym*

upravleniem [Method of aircraft towing using small-size remote-controlled towing device]. Patent RF, no. 2016111467, 2017. (In Russian).

7. Velikanov A.V., Borisenkov V.A., Terekhov A.A. *Ustrojstvo dlya buksirovki samoletov* [Device for aircraft towing]. Patent RF, no. 98116240/28, 1999. (In Russian).

8. Velikanov A.V., Nilov V.A. *Tyagovo-stsepnoe ustrojstvo buksirovshchika* [Towing device for the towing vehicle]. Patent RF, no 99114543/28, 2000. (In Russian).

9. *Kompleksy s bespilotnymi letatel`nymi apparatami. Robototekhnicheskie kompleksy na osnove BLA. Monografiya* [Unmanned aircraft complexes. Robotics complexes on the basis of UAVs. Monograph]. Edit. C. Verba, B.G. Tatarsky. Vol. 2. Moscow. Radiotekhnika Publ., 2016, 824 p. (In Russian).

10. *Kompleksy s bespilotnymi letatel`nymi apparatami. Printsipy postroeniya I osobennosti primeneniya kompleksov s BLA. Monografiy*a [Complexes with unmanned aerial vehicles. Principles of Construction and Peculiarities of Application of Complexes with UAVs. Monograph]. Ed. by V. C. Verba, B.G. Tatarsky. Vol. 1. Moscow. Radiotekhnika Publ., 2016, 512 p. (In Russian).

11. Bogoyavlensky A.A., Bokov A.E. Setting the task of developing methods for managing metrological risks of negative situations in aviation activities. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2013, no. 10, pp. 3–7. DOI 10.35400/1813-8667-2013-10-3-7. (In Russian).

12. Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L. On organization and implementation of works to ensurw uniformity of measurements in air transport. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2012, no. 2(313), pp. 24–29. (In Russian).

13. Bogoyavlensky A.A. Methodology and practice of ensuring the uniformity of measurements in the operation of ground-based automated systems of control of on-board equipment of aircraft. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 37, pp. 31–41. (In Russian).

14. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E., Matyukhin K.E. Metrological support of operation testing of ground-based automated control system: the methodology and analysis of results. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Civil Aviation High Technologies*, 2015, no.219, pp.137–143. (In Russian).

15. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E. Certification of software for special MS in air transport. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2012, no. 11, pp. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2012-11-14-22. (In Russian).

16. Bogoyavlenskiy A.A. Certification of test equipment, components and assemblies of aviation technology. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2014, no. 199 (1), pp. 126–133. (In Russian).

17. Bogoyavlensky A.A., Bokov A.E. Ermolaeva O.L., Matyukhin K.E. On software certification of measuring instruments and measuring systems used in civil aviation. *Trudy GosNII GA = Proceedings of GosNII GA*, 2010, no. 311, pp. 86–90. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Великанов Алексей Викторович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения полетов, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), ул. Старых большевиков, 54А, Воронеж, Российская Федерация, 394064; e-mail: Velikanov_Al_V@ mail.ru.

Дьяков Денис Евгеньевич, кандидат технических наук, преподаватель кафедры автомобильной подготовки, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), ул. Старых большевиков, 54А, Воронеж, Российская Федерация, 394064; e-mail: snooker646@rambler.ru.

Великанова Лариса Алексеевна, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра образовательных и информационных технологий, Военный учебно-

научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), ул. Старых большевиков, 54А, Воронеж, Российская Федерация, 394064; e-mail: Velar1966@ mail.ru.

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, фармацевтического факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Университетская площадь, д. 1, Воронеж, Российская Федерация, 394018; e-mail: Ninocka_V89@ mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Velikanov Alexey V., Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Aerodrome and Technical Support of Flights, Military Training and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin" (Voronezh), Starykh Bolshevikov Street, 54A, 394064 Voronezh, Russian Federation; e-mail: Velikanov_Al_V @ mail.ru.

Dyakov Denis E., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of the Department of Automotive Training, Military Training and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin" (Voronezh), Starykh Bolshevikov Street, 54A, 394064 Voronezh, Russian Federation; e-mail: snooker646@rambler.ru.

Velikanova Larisa A., Junior Researcher at Scientific Research Centre for Educational and Information Technologies, Military Training and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin" (Voronezh), Starykh Bolshevikov Street, 54A, 394064 Voronezh, Russian Federation; e-mail: Velar1966@ mail.ru.

Dyakova Nina A., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmacy, Voronezh State University, Universitetskaya sq. 1, 394018 Voronezh, Russian Federation; e-mail: Ninocka_V89@ mail.ru.

УДК 629.73-036.7-419

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. СВИРИДОВ

Центральный аэрогидродинамический институт им. Н. Е. Жуковского, г. Жуковский, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. В современной отечественной промышленности происходит активное применение композиционных материалов в силовых элементах авиационных конструкций. Для прогнозирования прочности такого рода элементов конструкторам необходимо знать широкий перечень механических и усталостных характеристик. Все значения определяются экспериментальным путем, и задача экспериментатора разработать или использовать такие методики, которые для исследуемого типа композиционного материала позволят получать наиболее высокие значения характеристик при минимально возможном рассеянии. Современные отечественные и зарубежные стандарты испытаний композиционных материалов являются общепромышленными и не учитывают особенности материалов и укладок, применяемых для производства авиационной техники. Одними из ключевых особенностей являются толщина и уровень прогнозируемых свойств на растяжение, сжатие и сдвиг. В статье рассмотрены стандартные отечественные и зарубежные методики испытаний элементарных образцов из полимерных композиционных материалов, которые применяются для определения механических свойств. Показан путь развития методов проведения испытаний. Даны рекомендации по выбору стандартов для проведения испытаний на растяжение, сжатие и сдвиг элементарных образцов. Особое внимание уделено специфике применения рассмотренных методик и методов для композиционных материалов, применяемых в авиационной конструкции.

Ключевые слова: авиационная конструкция, композит, расчетные характеристики, методики испытаний, прочность

EVOLUTION OF THE METHODS OF OBTAINING MECHANICAL PROPERTIES OF THE POLYMER COMPOSITE MATERIALS

A.A. SVIRIDOV

The Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukhovskiy, Moscow Region, Russian Federation

Abstract. In modern domestic industry, composite materials are actively used in primary structure elements of aircraft. To predict the strength of such elements, designers need to know a wide range of mechanical and fatigue properties. All values are determined experimentally and the task of the experimenter is to develop or use such test-standard that, for the investigated type of composite material, will allow obtaining the highest values of the properties with the lowest possible scattering. Modern domestic and foreign standards for testing composite materials are general industrial and do not take into account the features of materials and lay-ups used for the production of aviation structures. Some of the key features are thickness and the level of predictable tensile, compressive and shear properties. The article discusses the standard domestic and foreign test methods for elementary specimens of polymer composite materials, which are used to determine the mechanical properties. The way of evolution of the test methods is shown. Recommendations are given on the selection of standards for carrying out tensile, compression and shear tests of elementary specimens. Particular attention is paid to the specifics of the application of the considered standards and methods in respect to composite materials used in aircraft construction.

Keywords: aircraft structure, composite, design value, test method, strength

Введение

Применение композиционных материалов в конструкциях самолетов транспортной категории в мире началось в 70-х годах [1]. Опыт отечественной авиационной промышленности по внедрению полимерных композиционных материалов в силовые элементы авиационной конструкции по сравнению с зарубежными партнерами очень невелик. Первым советским самолетом, в котором применялись такие материалы, был Ан-72. Композиционные материалы преимущественно использовались для обтекателей. На рис. 1 представлено (в %) применение этих материалов в самолетах марки Ан.

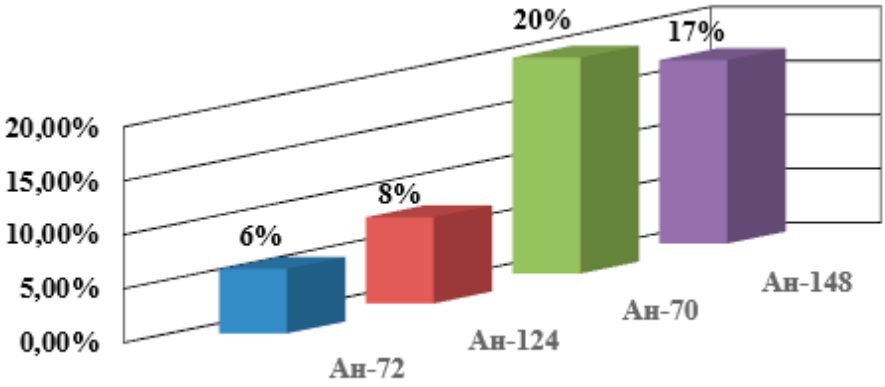


Рис. 1. Процент применения композиционных материалов в самолетах марки Ан

Градация самолетов различных производителей по доле композиционных материалов в конструкции [1] приведена в табл. 1.

Таблица 1

Доля композиционных материалов в различных воздушных судах по годам

Период эксплуатации	Процентное содержание композиционных материалов в конструкции	Тип воздушного судна
1970–1985 гг.	<10	Ан-26, Ан-72, Ан-124, Ил-96, Boeing 747, MD-80, Boeing 767, Boeing 757, Airbus 310, Boeing 737 Classic
1985–2000 гг.	10-25	Ту-204, Ил-114, Ан-70, Ту-334, Ан-148, Airbus 321, Boeing 737 (NG), Boeing 777, Boeing 747-8, SSJ-100
2000–2014 гг.	25-55	Airbus 380, Boeing 787, Airbus A-350XWB

В статье [2] проанализированы типы материалов, применяющихся в современных и отечественных самолетах (табл. 2).

Таблица 2

Процент различных материалов в конструкции современных самолетов

Воздушное судно	Композиционные материалы, %	Титан, %	Алюминий, %	Сталь, %	Другие материалы, %
Boeing 787	50	15	20	10	5
A350	52	14	20	7	7
Ту-204	14	5	69	8	4
Ту-204СМ	29	10	49	5	7

Основываясь на приведенных данных, можно сделать вывод, что в отечественном авиастроении композиционные материалы внедрялись не активно, что существенно отразилось на методах исследования их механических свойств. А так как они применялись преимущественно в ненагруженных зонах конструкции, задача получения их механических свойств не стояла слишком остро.

С началом работ по проекту МС-21 было обнаружено, что существенная часть отечественной и зарубежной нормативной документации по получению механических свойств композиционных материалов не позволяет получать необходимый уровень характеристик, поскольку не подходит для высокопрочных углепластиков и типовых толщин, применяемых для изготовления силовых элементов планера воздушного судна.

Следует обратить внимание, что государственные и отраслевые стандарты, ASTM и EN являются общепромышленными стандартами по испытаниям и требуют определенной адаптации для каждой отрасли отдельно с учетом имеющейся специфики.

Испытания на растяжение

Стандартными методиками для проведения испытаний на растяжение являются соответствующая методика ФГУП «ЦАГИ»[1], ASTM D3039[2] и ГОСТ Р 56785-2015[3], который в свою очередь является адаптацией ASTM D3039. Основными различиями данных методик является геометрия образца (рис. 2, 3).

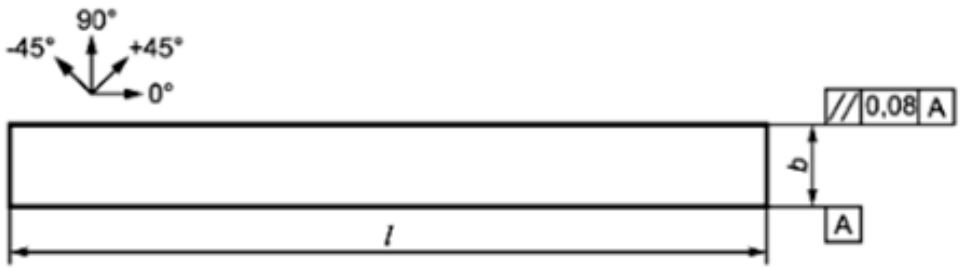


Рис. 2. Эскиз образца на растяжение ASTM D3039/ ГОСТ Р 56785—2015

[1] Метод испытания на растяжение композиционных материалов. СТО ФГУП ЦАГИ. ФГУП «ЦАГИ», 2017. 17 с.
[2] ASTM D3039. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM International, 2010. 26 p.
[3] ГОСТ Р 56785—2015. Композиты полимерные. Метод испытания на растяжение плоских образцов. Стандартинформ, 2016. 20 с.

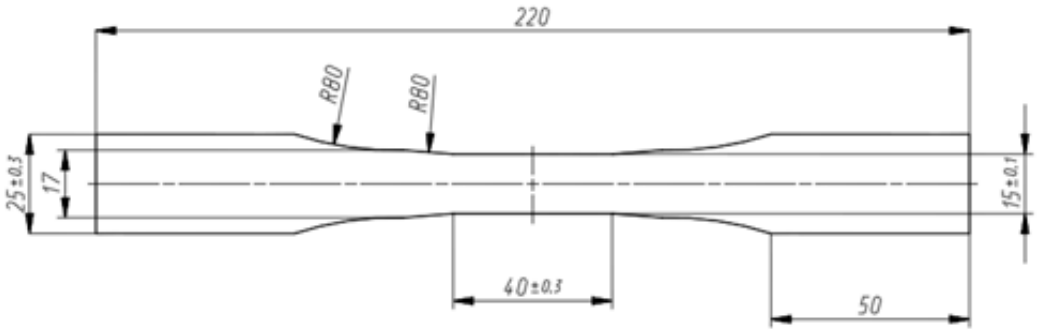


Рис. 3. Эскиз образца на растяжение, методика ФГУП «ЦАГИ»

В рамках работ по специальной квалификации материалов планера современного среднемагистрального самолета автором было проведено сравнение двух методик для материала оперения (углепластик). Результаты, полученные в лаборатории прочности ФГУП «ЦАГИ», сравнивались с паспортными данными материала, полученными по ASTM D3039. Различие было в рамках внутрипартийного рассеяния (3–5 %). Данное сравнение позволилосделать вывод о равнозначности данных методик. Следует лишь заметить, что «образец ЦАГИ» универсальный – подходит для испытаний на растяжение и сжатие.

Испытания на сжатие

Испытания на сжатие являются методически более сложными испытаниями из-за более сложных процессов, приводящих к полному разрушению образца, и необходимости использовать противоизгибные приспособления для устранения общей потери устойчивости.

Для проведения испытаний на сжатие существуют следующие отечественные и зарубежные методики: методика ФГУП «ЦАГИ», ГОСТ 33519—2015[4], ASTM D3410[5], ASTM D695[6], ASTM D6641[7]. Фактически ГОСТ 33519—2015 является адаптацией сразу трех указанных ASTM, в которых применяются различные методы приложения нагрузки к образцу (рис. 4), а также используются различные приспособления для реализации нагружения:

1. ASTM D3410 – нагрузка передается сдвигом;
2. ASTM D695 – нагрузка передается через торец образца;
3. ASTM D6641 – нагрузка передается сдвигом и через нагружение торца образца.

В методике ЦАГИ используется метод передачи нагрузки сдвигом.

Основной сложностью данных методик является специальное приспособление, которое, с одной стороны, позволяет реализовать необходимый способ передачи нагрузки на образец, а, с другой стороны, препятствует общей потере устойчивости образца.

[4] ГОСТ 33519—2015. Композиты полимерные. Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах. Стандартинформ, 2016. 31 с.
[5] ASTM D3410. Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading ASTM International, 2010. 30 p.
[6] ASTM D695. Standard test method for compressive properties of rigid plastics. ASTM International. 2010, 29 p.
[7] ASTM D6641. Standard test method for compressive properties of polymer matrix composite materials using a combined loading compression (CLC) test fixture. ASTM International, 2010. 31 p.

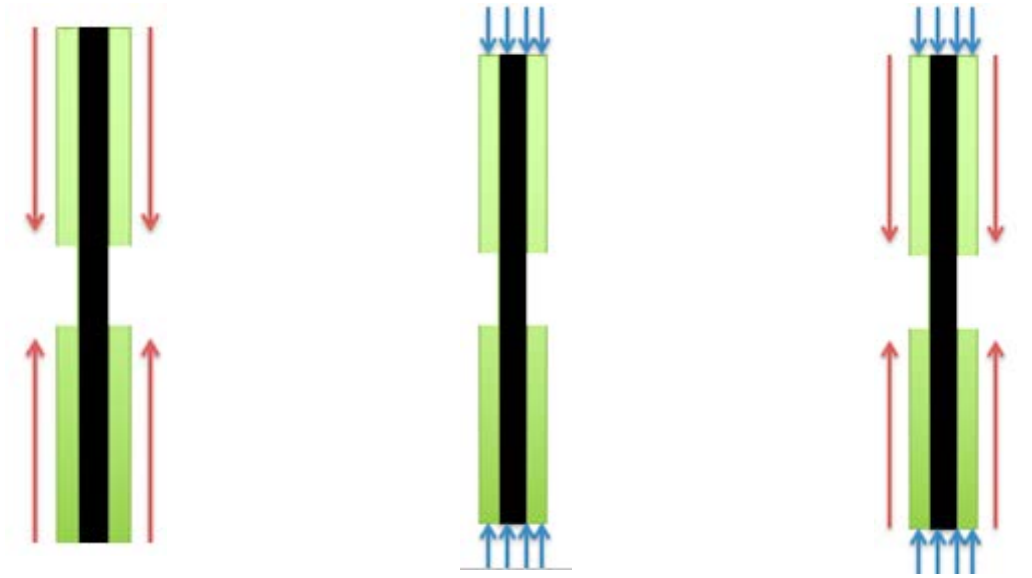


Рис. 4. Способы передачи нагрузки образцу для различных ASTM

Первый стандарт ASTM D3410 появился в 1971 году и был выпущен Celanese Corporation (США) [3]. В данной версии стандарта использовалось приспособление для испытаний, представленное на рис. 5.

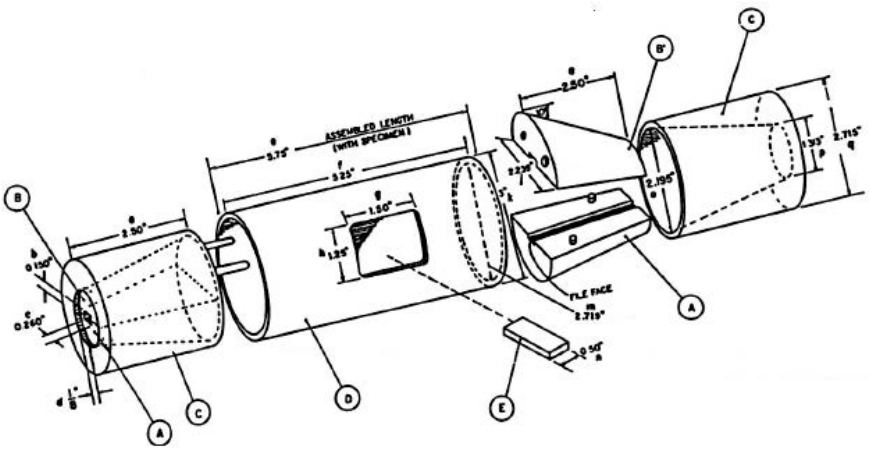


Рис. 5. Приспособление для испытаний ASTM D3410 (1971 год)

В 1977 году специалисты исследовательского института IITRI (США) доработали приспособление [4] и в 1987 году им удалость получить одобрение ASTM для включения своего приспособления в ASTM D3410 как метод Б (рис. 6).

Приспособление IITRI дает хорошие результаты, однако очень массивно (масса около 40 кг), дорогое при производстве (ввиду массивности нижнего и верхнего блоков), а также требует очень высокотехнологичного производства, так как проблематично выдержать угол в 10° для клиновидных захватов и клиновидных вставок [5].

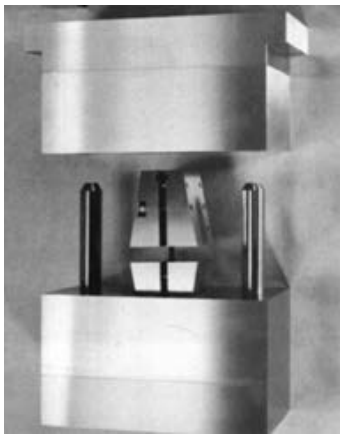


Рис. 6. Приспособление для метода Б ASTM D3410

Дополнительным недостатком является то, что данное приспособление может быть использовано только при комнатной температуре, так как очень много времени потребуется, чтобы образец и приспособление пришли в температурное равновесие.

Альтернативный метод испытаний на сжатие был предложен в ASTM D695 [6, 7], где предлагается нагружать образец через торец. Данный метод имеет свое приспособление (рис. 7).

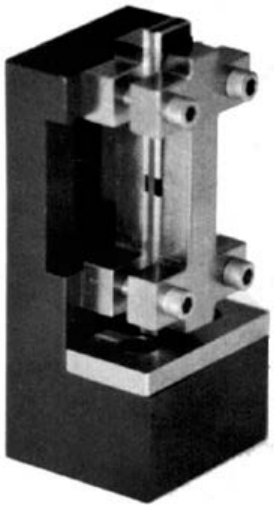


Рис. 7. Приспособление для испытаний ASTM D 695

Основными недостатками данного метода являются: необходимость двух изолированных образцов для определения предела прочности при сжатии и модуля упругости и возможность передачи части нагрузки на приспособление за счет трения. Соответственно данный метод в принципе не желателен для применения [8–10].

Самым последним методом проведения испытаний на сжатие был принят ASTM 6641 [11, 12]. Метод заключается в нагружении образца сдвигом и через торец. Для данного типа испытаний было спроектировано новое противоизгибное приспособление. Проект ASTM D6641 был разработан в университете Вайоминга (University of Wyoming). В данном стандарте авторы постарались учесть весь предыдущий опыт испытаний по имеющимся на тот момент стандартам. На рис. 8 представлено приспособление для испытаний ASTM D6641.

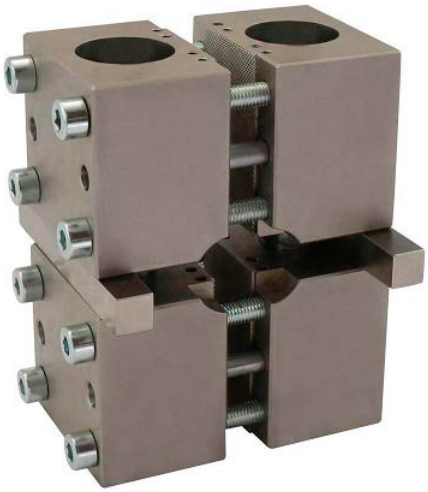


Рис. 8. Приспособление для испытаний ASTM D 6641

Для испытаний на сжатие методика «ЦАГИ» предлагает отличное от представленных в ASTM приспособление (рис. 9). Образец идентичен по геометрии образцу на растяжение.

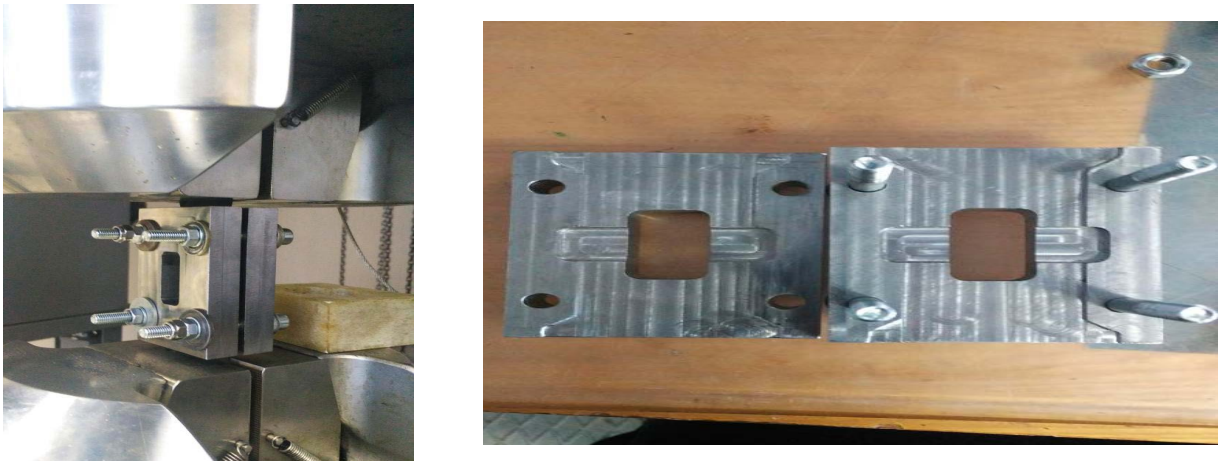


Рис. 9. Приспособление в соответствии с методикой ФГУП «ЦАГИ»

Исходя из опыта применения указанных стандартов автором, наиболее простыми в части проведения испытаний являются ASTM D 6641 и методика ФГУП «ЦАГИ». С точки зрения получаемых результатов, различия в средних значениях получаемых характеристик по этим методикам для одного и того же углепластика являются несущественными (2–3 %).

Испытания на сдвиг

При проведении испытаний по специальной квалификации необходимо определять предел прочности на сдвиг (τ) в плоскости листа. В отечественной нормативной базе для данного вида испытаний был предусмотрен ГОСТ 24778—83[8]. На рис. 10 представлен эскиз

[8] ГОСТ 24778—81. Пластмассы. Метод определения прочности при сдвиге в плоскости листа. Издательство стандартов, 1981. 15 с.

рекомендуемого образца, а также незачетное разрушение, полученное автором при проведении испытаний образцов из типового авиационного композиционного материала. Особенность данной ситуации в том, что образец был разработан преимущественно для материалов с низким пределом прочности на сдвиг (менее 30 кгс/мм^2), когда композиты не использовались в силовой части конструкции воздушного судна.

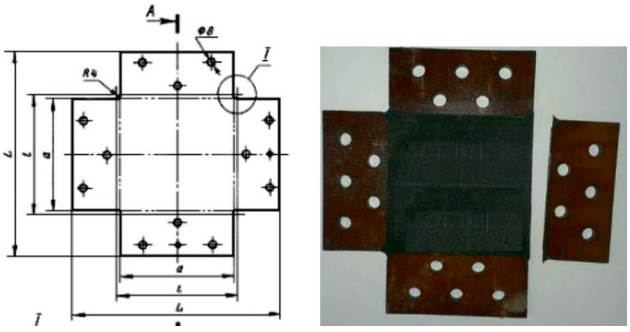


Рис. 10. Рекомендуемый образец по ГОСТ 24778—83 и типовое незачетное разрушение

Получение такого рода разрушения обусловлено высокими значениями сдвига в плоскости слоев на уровне 30–50 кгс/мм^2. Из-за низкой сдвиговой прочности предыдущего поколения углепластиков, концентраторы в углах «рамки» не являлись определяющими.

Поскольку имеющийся отечественный стандарт не позволял получить необходимую моду разрушения, было принято решение рассмотреть зарубежные стандарты. Были рассмотрены ASTM D5379[9], 7078[10], 4255[11]. На рис. 11 представлены изображения приспособлений для испытаний, на основании которых можно сделать вывод о применяемом методе испытаний для каждого стандарта.

ASTM D 5379 ASTM D 7078 ASTM D 4255

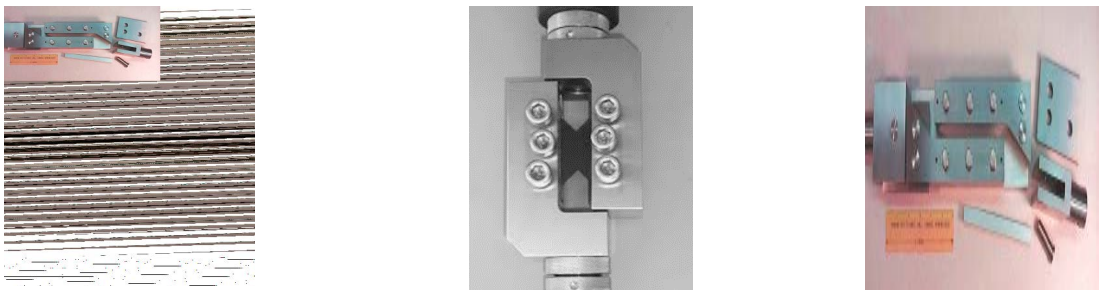


Рис. 11. Приспособления для испытаний согласно ASTM D 5379, 7078, 4255

ASTM D5379 предполагает нагружение через торцы образца, ASTM D7078 – сдвигом, ASTM D4255 – через крепеж.

Фактически получается, что ASTM D7078 является комбинацией двух других методов испытаний, с устранением слабой стороны каждого из них. Слабыми сторонами ASTM D5379 являются: малая площадь зоны, где реализуется равномерный сдвиг; нагружение через торец образца, что может привести к смятию материала в торце. Для ASTM D4255 слабым звеном

[9] ASTM D5379 . Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method… ASTM International, 2010. 28 p.
[10] ASTM D7078. Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Rail Shear Method… ASTM International, 2010. 35 p.
[11] ASTM D4255. Standard Test Method for In-Plane Shear Properties of Polymer Matrix Composite Materials by the Rail Shear Method.ASTM International, 2010. 32 p.

является захватная часть образца, поскольку образец закрепляется болтами, а это создает дополнительную концентрацию напряжений.

В табл. 3 приведены сравнительные испытания по трем зарубежным стандартам [13].

Таблица 3

Сравнительные испытания по ASTM D7078, 5379, 4255

Укладка	Стандарт испытаний	Среднее напряжение сдвига, *МПа*	Среднеквадратичное отклонение, *МПа*	Коэффициент вариации, %
$[0/90]_{4S}$	ASTM D7078	136	0,7	0,5
	ASTM D4255	Испытания не проводились		
	ASTM D5379	148	3,4	2,3
$[0/90/\pm45]_{2S}$	**ASTM D7078**	**418**	32,8	7,8
	ASTM D4255	158	6,7	4,2
	ASTM D5379	195	13,9	7,1
$[\pm45]_{4S}$	**ASTM D7078**	**530**	26,2	4,9
	ASTM D4255	167	4,2	2,5
	ASTM D5379	164	9,9	6,0

Представленные результаты испытаний в табл. 3 показывают, что с помощью ASTM D7078 получается реализовать максимальные значения для материалов и типовых укладок с большой сдвиговой прочностью. Повышенное рассеяние для данного стандарта обусловлено способом фиксации образца. При недостаточном моменте затяжки болтов образец будет выскальзывать, а при чрезмерном – разрушаться за рамками зачетной зоны образца, в силу повышенной концентрации напряжений на границе фиксирующего приспособления.

Рекомендованный стандартом момент затяжки болтов 55 Н·м, однако, в работе [13] получен график зависимости получаемого предельного напряжения сдвига от момента (рис. 12).

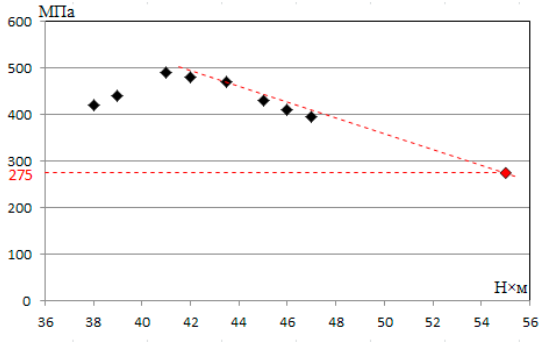


Рис. 12. Зависимость предельного сдвигового напряжения от момента затяжки болтов

Согласно представленной зависимости (рис. 12) оптимальным с точки зрения максимального значения сдвига является момент 42 Н·м. С точки зрения опыта автора, данный момент следует подбирать для каждого исследуемого материала отдельно.

При проведении испытаний в соответствии с ASTM D7078 следует помнить, что стандарт ограничивает предельную рекомендованную толщину образца – 4 мм. Для испытания типовых укладок силовых элементов крыла, данное ограничение выдержать невозможно, так как используемые укладки в конструкции современных среднемагистральных самолетов находятся примерно в диапазоне от 2 до 20 мм.

При испытании образцов из углепластика с номинальной толщиной 6,28 мм, с моментом затяжки болтов 80–90 Н·м (момент выбирался из условия надежной фиксации образца в приспособлении) автором статьи было получено разрушение фиксирующего болта (рис. 13).

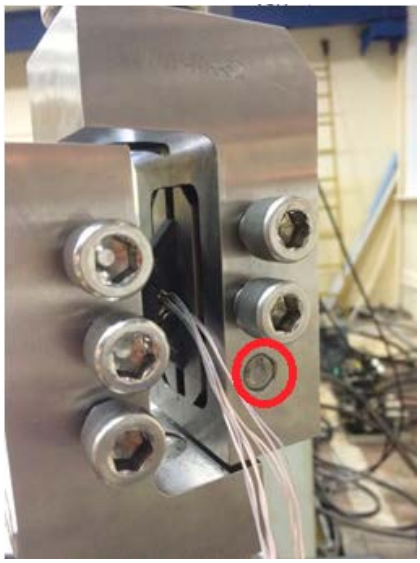


Рис. 13. Разрушение фиксирующего болта

В качестве рекомендации для исключения подобного разрушения было предложено, при испытании образцов с толщиной больше рекомендованной стандартом, периодически производить замену болтов, а также изготавливать их из более прочного материала.

Выводы

В результате проведенного обзора современных методик получения механических свойств композиционных материалов и обобщения имеющегося опыта проведения испытаний, были рекомендованы следующие стандарты для испытаний:

– на растяжение – методика ЦАГИ и ASTM D3039;

– на сжатие – методика ЦАГИ и ASTM D6641;

– на сдвиг в плоскости – ASTM D7078.

Даны рекомендации по применению указанных стандартов, а также показано, что для испытания типовых укладок, используемых в конструкции самолета, каждый общепромышленный стандарт должен быть переосмыслен и при необходимости доработан, с целью получения максимально возможных значений экспериментальных данных при минимальном рассеянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фейгенбаум Ю.М., Бутушин С.В. Композиционные материалы и история их внедрения в авиационные конструкции // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015. № 7. С. 24–36.

2. Носкова А.Р., Постников В.П. Исследование внедрения композиционных материалов на рынке авиационного двигателестроения // Master`s journal. 2018. № 1. С. 153–159.

3. Park I.K., Tensile and Compressive Test Methods for High Modulus Graphite-Fibre Reinforced Composites, Proceedings of the International Conference on Carbon Fibers, Their Composites and Applications». The Plastics Institute. London. Paper No. 23. 1971.

4. Hofer J.R., Rao P.N. A New Static Compression Fixture for Advanced Composite Materials, Journal of Testing and Evaluation. 1977. Vol. 5. №. 4, Pp. 278–283.

5. Chaterjee S., Adams D.F., Oplinger D.W. Test Methods for Composites. A Status Report. Volume II: Compression Test Methods, Report No. DOT/FAA/CT-93/17-II, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Atlantic City, NJ. 1993. 196 p.

6. Adams D.F., Lewis, E.Q., Influence of Specimen Gage Length and Loading Method on the Axial Compressive Strength of a Unidirectional Composite Material. Experimental Mechanics. 1991. Vol. 31. №. 1. Pp. 14–20.

7. Boeing. Advanced Composite Compression Tests. Boeing Specification Support Standard BSS 7260. The Boeing Company. Seattle. WA. 1988. 25 p.

8. Welsh J.S., Adams, D.F. Unidirectional Composite Compression Strengths Obtained by Testing Mini-Sandwich, Angle- and Cross-Ply Laminates. Report No. UW-CMRG-R-95-106. Composite Materials Research Group. University of Wyoming. Laramie. WY. 1995. 261 p.

9. Xie M., Adams D.F. A Study of Various Compression and Shear Test Methods for Composite Materials Using an Elastic-Plastic Finite Element Analysis. Report No. UW-CMRG-R-93-103. Composite Materials Research Group. University of Wyoming. Laramie. WY. 1993, 105 p.

10. Westberg R.W., Abdallah M.G. An Experimental and Analytical Evaluation of Three Compressive Test Methods for Unidirectional Graphite/Epoxy Composites. Report No. MISC-E524-10, Hercules Inc., Magna, UT, 1987. 157 p.

11. Adams D.F., Welsh J.S. Recommended Procedure for Generating Axial Compressive Strength Design Data for Composite Materials presented at the MIL-HDBK-17 Polymer Matrix Composites Coordination Group Meeting, Clearwater, FL, 1995. 35 p.

12. . Adams D.F. and Welsh J.S. The Wyoming Combined Loading Compression (CLC) Test Method. Journal of Composites Technology and Research. JCTRER. 1997. Vol. 19. No. 3. Pp. 123–133.

13. Adams D.O., Moriarty J.M., Gallegos A.M. & Adams D.F. Development and Evaluation of the V-Notched Rail Shear Test for Composite Laminates. 2003. Washington: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Aviation, 103 p.

REFERENCES

1. Feygenbaum Yu.M., Butushin S.V. Composite materials and history their introduction in aircraft structures, *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2015, no. 7, pp. 24–36. (In Russian).

2. Noskova A.R., Postnikov V.P., Study of the introduction of composite materials in the aircraft engine market. Master`s journal. 2018, no. 1, pp. 153–159.

3. Park I.K., Tensile and Compressive Test Methods for High Modulus Graphite-Fibre Reinforced Composites, Proceedings of the «International Conference on Carbon Fibers, Their Composites and Applications». The Plastics Institute. London. Paper No. 23, 1971.

4. Hofer J.R., Rao P.N. A New Static Compression Fixture for Advanced Composite Materials. Journal of Testing and Evaluation, 1977, vol. 5, no. 4, pp. 278–283.

5. Chaterjee S., Adams D.F., Oplinger D.W. Test Methods for Composites. A Status Report. Volume II: Compression Test Methods, Report No. DOT/FAA/CT-93/17-II», U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Atlantic City, NJ, 1993, 196 p.

6. Adams D.F., Lewis E.Q. Influence of Specimen Gage Length and Loading Method on the Axial Compressive Strength of a Unidirectional Composite Material. Experimental Mechanics. 1991, vol. 31, no. 1, pp. 14–20.

7. Boeing. Advanced Composite Compression Tests. Boeing Specification Support Standard BSS 7260. The Boeing Company. Seattle. WA. 1988, p. 25.

8. Welsh J.S., Adams D.F. Unidirectional Composite Compression Strengths Obtained by Testing Mini-Sandwich, Angle- and Cross-Ply Laminates. Report No. UW-CMRG-R-95-106. Composite Materials Research Group. University of Wyoming. Laramie. WY. 1995, 261 p.

9. Xie M., Adams D.F. A Study of Various Compression and Shear Test Methods for Composite Materials Using an Elastic-Plastic Finite Element Analysis. Report No. UW-CMRG-R-93-103. Composite Materials Research Group. University of Wyoming. Laramie. WY, 1993, 105 p.

10. Westberg R.W., Abdallah M.G. An Experimental and Analytical Evaluation of Three Compressive Test Methods for Unidirectional Graphite/Epoxy Composites. Report No. MISC-E524-10, Hercules Inc., Magna, UT, 1987, 15 p.

11. Adams D.F., Welsh J.S. Recommended Procedure for Generating Axial Compressive Strength Design Data for Composite Materials presented at the MIL-HDBK-17 Polymer Matrix Composites Coordination Group Meeting, Clearwater, FL, 1995, 35 p.

12. Adams D.F. and Welsh J.S. The Wyoming Combined Loading Compression (CLC) Test Method». Journal of Composites Technology and Research, JCTRER, 1997, vol. 19, no. 3, pp. 123–133.

13. Adams D.O., Moriarty J.M., Gallegos A.M. & Adams D.F. Development and Evaluation of the V-Notched Rail Shear Test for Composite Laminates. Washington. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Aviation, 2003, 103 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Свиридов Андрей Александрович, научный сотрудник, ФГУП Центральный аэрогидродинамический институт им. Н. Е. Жуковского, ул. Жуковского д. 1, г. Жуковский, Московская обл., Российская Федерация, 140180; e-mail: nio18@tsagi.ru.

ABOUT THE AUTHOR

Sviridov Andrei A., Scientist, The Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovskogo 1, 140180 Zhukhovskiy, Moskovskiy region, Russian Federation; e-mail: nio18@tsagi.ru.

УДК 629.7.083:621.858.238.6

РЕКУПЕРАЦИЯ ПРИ БУКСИРОВКЕ САМОЛЕТОВ

А.В. ВЕЛИКАНОВ[1], Д.Е. ДЬЯКОВ[1], Л.А. ВЕЛИКАНОВА[1], Н.А. ДЬЯКОВА[2]

[1]Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация
[2]Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. Проведен анализ работ, связанных с рекуперацией энергии торможения на транспортных средствах различного назначения. Определены основные достоинства и недостатки существующих рекуперационных систем, используемых на транспорте. Проведен анализ средств буксировки воздушных судов. Проведенный анализ подтвердил необходимость проведения работ по созданию рекуперационных систем для их использования в процессе технического обслуживания воздушных судов, в частности, средств наземной буксировки. Предложен способ транспортирования воздушных судов с использованием рекуперационной системы авиационного комплекса, совмещенной с тягово-сцепным устройством и трансмиссией буксировщика. Предложена конструкция буксировщика, оборудованного пневмогидравлической рекуперационной системой, аккумулирующей энергию при разгоне и торможении. Рекуперационная система позволяет увеличить крутящий момент, передаваемый трансмиссией к ведущим колесам тягача, и улучшает показатели плавности хода агрегата тягач-воздушное судно. Наличие догружающего устройства позволяет производить буксировку ВС с частично поврежденной передней стойкой, путем вывешивания ее в процессе буксировки, и отказаться от балластирования тягача, тем самым сократить эксплуатационные затраты, связанные с перевозкой дополнительного груза. Достигнутые параметры силы тяги как по сцеплению с опорной поверхностью, так и по величине крутящего момента, подводимого к ведущим колесам тягача, позволяют производить буксировку ВС по аэродромному покрытию с низким значением коэффициента сцепления, в том числе по заснеженному. Рассмотренная буксировочная система для ее изготовления не требует значительных материальных затрат, а экономический эффект от ее использования может достигать до 30 % по расходу топлива.

Ключевые слова: буксировщик, самолет, рекуперационная буксировочная система, унификация, сцепной вес, крутящий момент, трансмиссия, плавность хода, воздушное судно, средства буксировки

RECUPERATION WHEN TOWING AIRCRAFT

A.V. VELIKANOV[1], D.E. DYAKOV[1], L.A. VELIKANOVA[1], N.A. DYAKOVA[2]

[1]Military Research and Training Centre of Air Force «Military Air Academy named after prof. N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin», Voronezh, Russian Federation
[2]Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

Abstract. An analysis of works related to the recuperation of braking energy on vehicles for various purposes has been carried out. The main advantages and disadvantages of the existing regeneration systems used in transport are determined. The analysis of means for aircraft towing has been made. The conducted analysis confirms the necessity of recuperation systems creation for their use in the process of aircraft maintenance, in particular for the ground towing facilities. A method of aircraft transportation using recuperation system of aircraft complex combined with the coupling device and the transmission of the towing vehicle is proposed. The construction of a towing vehicle equipped with pneumohydraulic recuperation system which accumulates energy during acceleration and braking

is proposed. The recuperation system makes it possible to increase torque transmitted by transmission to driving wheels of the tractor and improves smoothness of the tractor-aircraft unit. The availability of additional loading device allows to tow aircraft with partially damaged front strut by unloading it in the process of towing and to refuse from ballasting of tractor, thereby reducing the operating costs associated with the transportation of additional cargo. Achieved parameters of tractive force both in terms of traction with the bearing surface and in terms of torque value supplied to the driving wheels of the tractor allow towing aircraft on the airfield surface with a low value of coefficient of traction, including snowy surface. The considered towing system for its manufacture does not require significant material costs, and the economic effect from its use can reach up to 30 % in terms of fuel consumption.

Keywords: tow vehicle, aircraft, recovery towing system, unification, hitch weight, torque, transmission, smooth running, aircraft, towing means

Введение

Рекуперацию можно рассматривать как возврат или компенсацию затраченной энергии. В то же время рекуперативная система транспортного средства способна возвращать для дальнейшего использования часть затраченной энергии не только на торможение, но и на гашение колебаний, особенно при работе такой системы с прицепным оборудованием. В автомобильной промышленности в основном используется система рекуперации энергии с электрическим торможением. Однако эта система отличается сложностью конструкции и высокой себестоимостью.

На начальном этапе развития рассматривалась система рекуперации с накоплением энергии в маховике, вращающемся в вакууме на газовых подшипниках для снижения потерь на трение. Но и эта система не получила должного развития из-за высокой цены устройства по сравнению с ценой топлива, используемого для двигателей транспортных средств и сравнительно коротким сроком сохранения накопленной энергии. Также эта система обладает большим гироскопическим эффектом, что негативно сказывается на управляемости транспортного средства.

Другое дело – пневмогидравлическая рекуперативная система, которая при высокой эффективности, надежности и мощности обладает низкой себестоимостью. В США машины с такой системой надежно эксплуатируются более десяти лет и способны сохранять накопленную энергию длительный промежуток времени, снижая при этом расход топлива на 30 % и более, в зависимости от цикла выполняемых работ (фронтальные погрузчики, землеройно-транспортные машины и т.д.).

В нашей стране использование систем рекуперации энергии на автомобильном транспорте не нашло широкого применения, хотя разработки по данному направлению ведутся [1–6].

Систему пневмогидравлической рекуперации энергии наиболее эффективно использовать на автомобилях, работающих в тяговом режиме, к которым можно отнести аэродромные колесные тягачи. В то же время при качественном использовании средств буксировки на аэродромах существенно экономится моторесурс самолетных двигателей и горючее, а также снижается шум и уменьшается загрязнение атмосферы. Такие показатели достигаются потому, что аэродромный буксировщик затрачивает на цикл буксировки в 100 раз меньше топлива, чем самолет при заруливании при помощи собственных двигателей.

Для буксировки самолетов на российских аэродромах широко используется способ буксировки с использованием унифицированного водила, что позволяет для этой цели применять серийно выпускаемые тягачи.

Однако использование унифицированного водила имеет ряд недостатков, таких как низкая скорость транспортирования, что увеличивает расход топлива, а также большой продольный габарит.

Большинство аэродромных буксировщиков не оборудованы какими-либо устройствами для рекуперации энергии торможения, что снижает их эффективность при эксплуатации, а именно при транспортировании воздушных судов, имеющих большой взлетный вес.

Одним из методов повышения эффективности буксировки воздушных судов (ВС), не требующих значительных материальных затрат, является применение догружающих тягово-сцепных устройств с возможностью рекуперации энергии торможения, которые позволяют осуществлять догрузку буксировщиков весом ВС, а также аккумулировать энергию торможения и колебаний системы в процессе работы с последующим ее использованием для увеличения крутящего момента, подводимого к ведущим колесам. Таким образом, пропорционально увеличению сцепного веса может быть увеличен и крутящий момент на колесах тягача-буксировщика.

Создаваемые в настоящее время специализированные буксировщики для транспортирования тяжелых самолетов способны решать поставленные перед ними задачи за счет увеличения мощности двигателя и сцепного веса, что ведет к непроизводительному расходу топлива, особенно при движении без тяговой нагрузки.

Таким образом, разработка рекуперационных буксировочных систем (РБС) для тягачей с изменяемым сцепным весом является актуальной задачей.

Методика исследования

В нашей стране разработан ряд специализированных буксировщиков и буксировщиков с изменяемым сцепным весом [7–9].

На основании проведенных исследований можно сформулировать ряд требований к конструкции рекуперационной системы буксировщика:

1. Устройство должно быть унифицированным и закрепляться быстросъемными соединениями к передней стойке самолета, а также проводить рекуперацию энергии торможения.

2. Усилие догрузки на тягач должно передаваться по возможности ближе к опорному периметру или даже внутри его.

3. Чтобы улучшить маневренность при движении агрегата тягач-воздушное судно задним ходом тягово-сцепное устройство должно иметь не более одного вертикального шарнира.

Схема тягача, оборудованного РБС, представлена на рис.1. Буксировщик имеет возможность изменять сцепной вес и аккумулировать энергию силы инерции с дальнейшей ее трансформацией в крутящий момент, подводимый при необходимости к колесам в автоматическом режиме. Также наличие догружающего устройства позволяет производить буксировку ВС с частично поврежденной передней стойкой, путем вывешивания ее в процессе буксировки, и отказаться от балластирования тягача, тем самым сократив эксплуатационные затраты, связанные с перевозкой дополнительного груза. Достигнутые параметры силы тяги как по сцеплению с опорной поверхностью, так и по величине крутящего момента, подводимого к ведущим колесам тягача, позволяют производить буксировку ВС по аэродромному покрытию с низким значением коэффициента сцепления, в том числе по заснеженному.

Схема устройства РБС (рис.1) содержит: специализированный буксировщик 1, гидроцилиндр-амортизатор, выполняющий функцию водила 2, унифицированный вилкообразный захват 3, переднюю стойку самолета 4, силовой цилиндр 5, гидравлическую систему тягача, позволяющую производить регулируемую догрузку ведущих колес и увеличение крутящего момента, подводимого через элементы трансмиссии к ведущим колесам.

Рассматриваемая РБС защищена патентом Российской Федерации. [10].

Особенность предложенной РБС заключается в использовании новой конструкции водила, представляющего собой силовой гидроцилиндр-амортизатор, который взаимосвязан гидравлической системой буксировщика с гидродвигателем и гидроаккумулятором. В начальный период буксировки самолета силы тяги, создаваемой тягачом, может оказаться недостаточно, чтобы начать движение. В этом случае при максимальном нажатии оператора тягача на педаль управления работой двигателя электромагнитный клапан 7 сработает (рис. 2) и подключит гидродвигатель 8 к трансмиссии с целью подвода дополнительного крутящего момента, сформированного ЭБС к ведущим колесам тягача, таким образом увеличит его тяговые качества.

Использование РБС способствует увеличению окружного усилия на ведущих колесах буксировщика, что способствует буксировке самолетов с большим взлетным весом экономичными маломощными тягачами с улучшенными показателями плавности хода, особенно в начальный период движения и при торможении. Силовой гидроцилиндр-амортизатор способствует аккумулированию энергии тяговых колебаний для дальнейшего трансформирования ее в крутящий момент, подводимый к колесам.

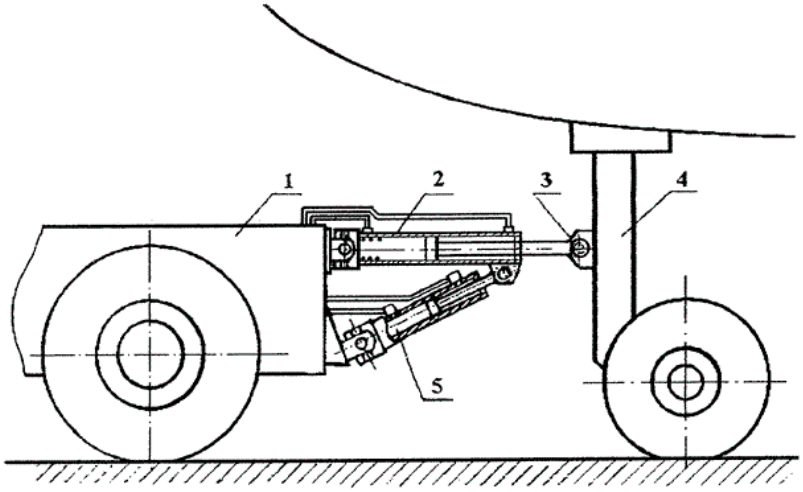


Рис. 1. Рекуперационная буксировочная система (вид сбоку)

Гидравлическая схема предложенной РБС показана на рис. 2. Она содержит: бак для гидравлической жидкости 11; силовые гидроцилиндры 5, 2; фильтры 6; электромагнитный клапан 7; гидравлический двигатель 8; электромагнитный клапан 10; манометры 9, 17; гидравлический насос 12; перепускной клапан 13; золотниковое устройство 14; обратные клапаны 15; гидравлический аккумулятор 16; электромагнитный датчик догрузки тягача 18.

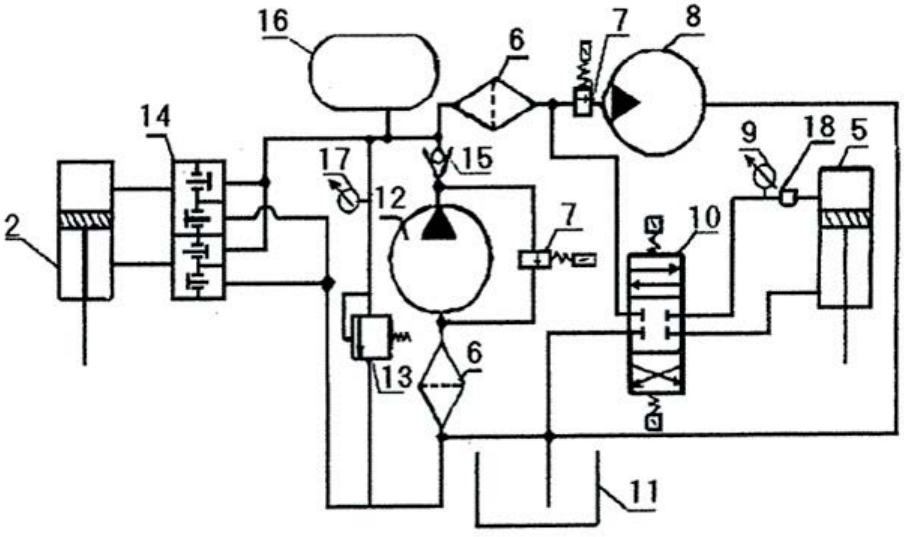


Рис. 2. Гидравлическая схема РБС

Взаимосвязь элементов гидравлической системы и размещение их на тягаче можно рассмотреть следующим образом. Между упором на буксировщике и гидроцилиндром-амортизатором, выполняющим функцию водила, установлен силовой цилиндр 5, имеющий привод от гидроаккумулятора, который в свою очередь соединен с баком 11 через фильтры 6, осуществляющие очистку гидравлической жидкости от механических примесей. Зарядка гидроаккумулятора 16 осуществляется от гидроцилиндра 2 и гидронасоса 12. Необходимо отметить, что управление цилиндром 5 при осуществлении догрузки тягача осуществляется автоматически из кабины водителя, при этом гидравлическая жидкость проходит через клапаны 15 к трехпозиционному электромагнитному клапану 10. В момент начала движения и при торможении, а также при колебаниях возникающее усилие воздействует на гидроцилиндр – амортизатор 2, который нагнетает жидкость в гидроаккумулятор 16. Водитель контролирует процесс догрузки тягача по манометру 9, подключенному к одной магистрали с электромагнитным датчиком автоматической догрузки ведущих колес 18.

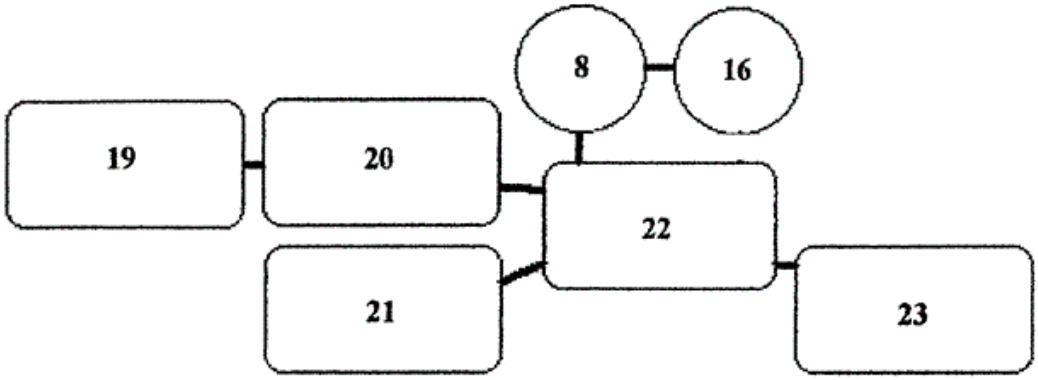


Рис. 3. Блок-схема силовой установки

Блок-схема силовой установки (рис. 3) содержит следующие элементы: гидравлический двигатель 8, гидравлический аккумулятор 16, силовой агрегат 19, коробку передач 20, передний и задний мосты тягача соответственно 21 и 23, раздаточную коробку 22.

Рассмотренная в статье РБС функционирует следующим образом. В начале цикла буксировки тягач задним ходом перемещается к передней стойке самолета и при помощи быстросъемного захвата 3 производит подстыковку водила к передней стойке шасси воздушного судна 4. Затем производится подача давления в гидроцилиндр 5. За счет чего производится догрузка тягача и, соответственно, увеличение его сцепного веса, что положительно сказывается на сцеплении колес с опорной поверхностью, увеличивает силу тяги по сцеплению и уменьшает пробуксовку колес, тем самым обеспечивается возможность производить буксировку по аэродромному покрытию с низким коэффициентом сцепления.

Затем буксировщик начинает движение, и при полном нажатии на педаль управления подачей топлива в двигатель электромагнитный клапан 7 срабатывает и подает сигнал на включение гидравлического двигателя, передающего дополнительный крутящий момент на раздаточную коробку, увеличивая таким образом крутящий момент, подводимый к ведущим колесам тягача.

Регулировка величины догрузки тягача производится автоматически или при помощи манометра 9. В процессе буксировки под воздействием силы сопротивления движению воздушного судна гидроцилиндр 2 нагнетает жидкость в гидравлический аккумулятор. При торможении буксировщика к трансмиссии подключается гидронасос, также накачивающий гидравлическую жидкость в гидравлический аккумулятор, рекуперируя энергию торможения.

Таким образом, применение перспективных технологий при наземном обслуживании летательных аппаратов позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты и повысить качество обеспечения полетов авиации.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Разработанная конструкция пневмогидравлической рекуперационной буксировочной системы воздушных судов позволяет увеличить крутящий момент, передаваемый трансмиссией к ведущим колесам тягача, и улучшает показатели плавности хода агрегата тягач-воздушное судно.

2. Наличие догружающего устройства позволяет производить буксировку ВС с частично поврежденной передней стойкой путем вывешивания ее в процессе буксировки, и отказаться от балластирования тягача, тем самым сократить эксплуатационные затраты, связанные с перевозкой дополнительного груза.

3. Достигнутые параметры силы тяги как по сцеплению с опорной поверхностью, так и по величине крутящего момента, подводимого к ведущим колесам тягача, позволяют производить буксировку ВС по аэродромному покрытию с низким значением коэффициента сцепления, в том числе по заснеженному.

4. Поскольку рассмотренная буксировочная система для ее изготовления не требует значительных материальных затрат, а экономия топлива от ее использования может достигать 30 % и более, рекомендуется ее применение на аэродромных колесных тягачах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черемисин В.Т., Никифоров М.М. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава // Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы науч.-практ.конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. С. 9–15.

2. Никифоров М.М., Каштанов А.Л., Кандаев В.А. Методика оценки потенциала энергоэффективности применения рекуперативного торможения // Известия Транссиба. 2012. № 1. С. 72–78.

3. Черемисин В.Т., Никифоров М.М., Вильгельм А.С. Основные положения методики оценки эффективности использования энергии рекуперации // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2017. № 1. С. 114–120.

4. Черемисин В.Т., Никифоров М.М., Каштанов А.Л., Вильгельм А.С. Повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения на полигоне постоянного тока: Монография. Омск: ОмГУПС, 2016. 176 с.

5. Никифоров М.М., Вильгельм А.С., Гутников В.И. Влияние параметров и режимов работы системы тягового электроснабжения на эффективность использования энергии рекуперации // Известия Транссиба. 2017. № 1. С. 74–90.

6. Никифоров М.М., Вильгельм А.С. Влияние энергии рекуперации на уровень потерь в системе тягового электроснабжения // Транспорт Урала. 2017. № 2. С. 55–60.

7. Канарчук Г.Н. Авиационная наземная техника / Г.Н. Канарчук. М.: Транспорт, 1989. 232 с.

8. Устройство для буксировки самолетов: пат. 2139227 Рос. Федерация. № 98116240/28; МПК B64 1/22. / А.В. Великанов, В.А. Борисенков, А.А. Терехов; заяв.24.08.98; опубл. 10.10.99 , Бюл. № 28. 3 с.

9. Тягово-сцепное устройство буксировщика: пат. 2160690 Рос. Федерация. № 99114543/28; МПК B64 1/22. / А.В. Великанов, В.А. Нилов; заяв. 05.07.99; опубл. 20.12.2000, Бюл. № 35. 5с.

10. Энергосберегающее устройство буксировщика: пат. 2289532 Рос. Федерация. № 2005110705/11; МПК B64 1/22. / А.В.Великанов, В.А.Нилов, С.Е Пожидаев, А.В.Великанов, заяв. 12.04.2005; опубл. 20.12.2006, Бюл. № 35. 6 с.

REFERENCES

1. Cheremisin V.T., Nikiforov M.M. Increasing energy efficiency of traction power supply system and electrical rolling stock. *Innovatsionnye proekty I novye tekhnologii v obrazovanii, promyshlennosti I na transporte. Materialy nauchno-prakticheskoj konferentsii* [Innovative projects and new technologies in education, industry and transport. Materials of scientific-practical conference]. Omsk, Omsk State Transport University, 2012, pp. 9–15. (In Russian).

2. Nikiforov M.M., Kashtanov A.L., Kandaev V.A. Methodology of energy efficiency potential assessment of regenerative braking application. *Izvestiya Transsiba = News of the Trans-Siberian Railway,* 2012, no. 1, pp. 72–78. (In Russian).

3. Cheremisin V.T., Nikiforov M.M., Wilhelm A.S. Main provisions of the methodology for assessing the efficiency of regenerative energy use. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya = Bulletin of Rostov State University of Railway Transport*, 2017, no. 1, pp. 114–120. (In Russian).

4. Cheremisin V.T., Nikiforov M.M., Kashtanov A.L., Wilhelm A.S. *Povyshenie ehnergeticheskoj ehffektivnosti rekuperativnogo tormozheniya na poligone postoyannogo toka. Monografiya* [Increasing energy efficiency of regenerative braking on the direct current polygon: Monograph], Omsk, OmGUPS Publ., 2016, 176 p. (In Russian).

5. Nikiforov M.M., Wilhelm A.S., Gutnikov V.I. Influence of parameters and modes of traction power supply system on efficiency of regenerative energy use. *Izvestiya Transsiba = News of the Trans-Siberian Railway,* 2017, no. 1, pp. 74–90. (In Russian).

6. Nikiforov M.M., Wilhelm A.S. Influence of energy recovery on the level of losses in the traction power supply system. *Transport Urala = Transport of the Urals*, 2017, no. 2, pp. 55–60. (In Russian).

7. Kanarchuk G.N. *Aviatsionnaya nazemnaya tekhnika* [Aviation ground engineering]. G.N. Kanarchuk. Moscow. Transport Publ., 1989, 232 p. (In Russian).

8. Velikanov A.V., Borisenkov V.A., Terekhov A.A. *Ustrojstvo dlya buksirovki samoletov* [Device for aircraft towing]. Patent RF, no. 98116240/28, 1999. (In Russian).

9. Velikanov A.V., Nilov V.A. T*yagovo-stsepnoe ustrojstvo buksirovshchika* [Towing device for the towing vehicle]. Patent RF, no 99114543/28, 2000. (In Russian).

10. Velikanov A.V., Nilov V.A., Pozhidaev S.E., Velikanov A.V. *Ehergosberegayushchee ustrojstvo buksirovshchika* [Energy-saving device for a towing vehicle]. Patent RF, no 2005110705/11, 2006. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Великанов Алексей Викторович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения полетов, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых большевиков, 54А, Воронеж, Российская Федерация, 394064; e-mail: Velikanov_Al_V @ mail.ru.

Дьяков Денис Евгеньевич, кандидат технических наук, преподаватель кафедры автомобильной подготовки, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых большевиков, 54А, Воронеж, Российская Федерация, 394064; e-mail: snooker646@rambler.ru.

Великанова Лариса Алексеевна, младший научный сотрудник научно- исследовательского центра образовательных и информационных технологий, Военный учебно-научный центр Военно-

воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых большевиков, 54А, Воронеж, Российская Федерация, 394064; e-mail: Velar1966@ mail.ru.

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, фармацевтического факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Университетская площадь, д. 1, Воронеж, Российская Федерация, 394018; e-mail: Ninocka_V89@ mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Velikanov Alexey V., Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Repair of Aerodrome and Technical Support of Flights, Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Starykh Bolshevikov Street, 54A, 394064 Voronezh, Russian Federation; e-mail: Velikanov_Al_V @ mail.ru.

Dyakov Denis E., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of the Department of Automotive Training, Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Starykh Bolshevikov Street, 54A, 394064 Voronezh, Russian Federation; e-mail: snooker646@rambler.ru.

Velikanova Larisa A., Junior Researcher at Scientific-Research Centre for Educational and Information Technologies, Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Starykh Bolshevikov Street, 54A, 394064 Voronezh, Russian Federation; e-mail: Velar1966@ mail.ru.

Dyakova Nina A., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmacy, Voronezh State University, Universitetskaya sq. 1, 394018 Voronezh, Russian Federation; e-mail: Ninocka_V89@ mail.ru.

УДК 629.7.054.07: 629.7.018.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ДАВЛЕНИЙ САМОЛЕТОВ

В.А. МХИТАРЯН[1], Д.Е. ЛЕВЕ[1], В.В. ВОЛКОВ[2]

[1]Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации
г. Москва, Российская Федерация
[2]Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета
г. Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. В статье изложены основные положения нового подхода к определению аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений самолетов с применением точных методов зондирования параметров атмосферы. Проведен краткий анализ методов определения поправок как существовавших и применяемых на практике ранее, так и широко используемых на сегодняшний день. Рассмотрены иные существующие возможности по реализации методов определения аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений самолетов. Представленный в работе метод позволяет получить эталонные значения параметров атмосферы в интересующей точке пространства с точностью выше, чем в существующих и описанных в анализе методах. Также выданы рекомендации по составлению режимов полетов при проведении летных испытаний, определено место возможных полетов, проанализированы реальные условия полетов, а также возможные погрешности зондирования параметров атмосферы и преимущества данного метода по сравнению с существующими. Выделены следующие основные преимущества методики, а именно сокращение времени проведения испытаний и материальных затрат на их проведение. Приведены примеры и варианты обработки материалов испытаний. Сделаны выводы и дано обоснование нового метода определения аэродинамических погрешностей приемников статического давления воздушных судов.

Ключевые слова: метод определения аэродинамических погрешностей, самолет-лаборатория, параметры атмосферы, исследования атмосферных процессов, бортовые приемники давлений, статическое давление, реанализ, заторможенный поток

IMPROVEMENT OF METHODS FOR DETERMINING AERODYNAMIC ERRORS IN AIRCRAFT AIR PRESSURE RECEIVERS

V.A. MKHITARYAN[1], D.E. LEVE[1], V.V. VOLKOV[2]

[1]The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation
[2]The Central Aerological Observatory, Dolgoprudny, Moscow region, Russian Federation

Abstract. The article presents the main provisions of a new approach to determining the aerodynamic errors of aircraft air pressure receivers using precise methods of sounding atmospheric parameters. A brief analysis of the methods for determining amendments, both existing and used in practice earlier, and widely used today, is carried out. Other existing possibilities for the implementation of methods for determining the aerodynamic errors of aircraft air pressure receivers are considered. The method presented in the work allows one to obtain the reference values of the atmospheric parameters at the point of interest in space with an accuracy higher than in the existing methods described in the analysis. Also, recommendations were given on the compilation of flight modes

during flight tests, the location of possible flights, real flight conditions were analyzed, as well as possible errors in sensing atmospheric parameters and the advantages of this method compared to existing ones. The following main advantages of the technique are highlighted, namely, the reduction in the time of testing and the material costs for their implementation. Examples and options for processing test materials are given. Conclusions are made and a substantiation of a new method for determining the aerodynamic errors of static pressure receivers of aircraft is given.

Keywords: method for determining aerodynamic errors, aircraft laboratory, atmospheric parameters, studies of atmospheric processes, onboard pressure receivers, static pressure, reanalysis, stagnant flow

Введение

Первоисточником для измерения аэрометрических параметров движения воздушных судов (ВС), таких как барометрическое давление (p_H), скорость, число Маха (М) полета, температура заторможенного потока воздуха, служат приемники (датчики) статического и полного давления воздуха, обтекающего ВС. При этом необходимо учитывать искажения в обтекании приемников потоком воздуха в местах их расположения, возникающие в зависимости от скоростных параметров полета, углов атаки ВС, положениях механизации крыла или иных источников изменения ламинарного потока воздуха, обтекающего приемник.

Основным источником таких искажений являются аэродинамические погрешности приемников статического давления (АППСД), характерные для типовых конструкций ВС. Знание их величин необходимо для каждого типа ВС, так как в случаях превышения нормативных требований их значения должны быть учтены в вычислителях систем воздушных сигналов и/или при помощи бортовых таблиц к показаниям приборов.

Применяемые методы определения АППСД

Ранее, в 1960–2000 гг., основными методами для определения АППСД были:

1. Полеты в паре с самолетом эталоном.
2. Применение наземных средств таких как:

а) кинотеодолитная станция (КТС);

б) мерная база (скоростной метод);

в) аэрофотоаппарат, установленный сбоку от ВПП или ближнего привода для фотографирования ВС, пролетающего над ВПП.

По разным причинам в настоящее время указанные методы в практике не используются. Самолетные эталоны, используемые ранее (Ил-18, Ту-124, Ту-134), отработали свой ресурс. КТС не существует, методика использования АФА (применялась долгое время в а/п Шереметьево) сейчас не используется. Полеты на мерной базе ограничены по диапазону скоростей.

Основными методами, используемыми в настоящее время, являются: метод мерной базы (с использованием спутниковой навигационной системы (СНС)) и КБТИ – комплекс бортовых траекторных измерений.

Оба метода имеют следующие недостатки:

1. Необходимость выполнять горизонтальные режимы полета на малой высоте (200 метров).
2. Необходимость выполнять горизонтальные площадки:

– на разных фиксированных приборных скоростях ($V_{\text{пр}}$) с дискретностью измерений в 50 км/ч;

– дважды: в прямом и противоположном направлении для исключения влияния ветра.

3. Необходимо выполнять зондирующие режимы на исследуемом воздушном судне (ИВС).

Метод КБТИ предназначен для более сложных траекторных измерений полета ВС, а для определения АППСД этот метод приводит к излишним экономическим затратам, связанным с

необходимостью значительного времени летного эксперимента (до 8 полетов) и обработки результатов летных испытаний.

В настоящее время появление более точных методов определения метеоинформации позволяет упростить методы проведения летных испытаний.

Определение параметров атмосферы

В последнее время используются более точные методы определения таких параметров атмосферы как барометрическое давление (p_H) и температура наружнего воздуха ($t_{нв}$), скорость ветра и его направление ($V_{ветра}$ и $\Psi_{ветра}$) в точках воздушного пространства через непосредственное зондирование атмосферы, а также методы нахождения данных в промежуточных точках пространства, с применением современных методов реанализа [4].

Метеорологический реанализ – это перерасчет или перевычисление данных атмосферных параметров по исходным данным зондирования атмосферы и прогноза (многопараметрическая аппроксимация или применение модели изменения параметров атмосферы) на весь интересуемый временной период и территорию. Подобный подход позволяет при необходимости вычислить значения воздушных параметров в конкретных точках в пространстве (широта (φ), долгота (λ), высота (H), определенных в момент времени (τ)), опираясь на измерительные средства и модели изменения атмосферы.

На территории РФ существуют следующие основные измерительные средства:

– климатические аэрозонды, в том числе с датчиками, работающими по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);

– наземные лазерные локаторы;

– зондирующие полеты на самолете-метеолаборатории (СМЛ);

– данные дистанционного зондирования Земли с метеорологических спутников.

Наиболее точно параметры атмосферы можно измерять, используя СМЛ. Подобный СМЛ имеется в НИИ «Росгидромет». Это самолет Як-42Д [2, 3] № 42440, который не реже одного раза в месяц поднимается в воздух для выполнения научно-исследовательских задач [4, 5].

На СМЛ установлен авиационный пилотажный комплекс (АПК), в котором датчики и системы измерений объединены с помощью сетевого и компьютерного оборудования. С помощью АПК измеряются параметры, характеризующие состояние атмосферы, в том числе статического и полного давлений, температуры воздуха, скорости и направления ветра, компонент путевой скорости. Жесткость крыла СМЛ Як-42Д позволила применить это свойство для размещения на нем датчиков давления (полусферические приемники типа Rosenmount 858 с подключенным к ним интерфейсом датчика БИД-1, включающего малогабаритные датчики дифференциального и статического давления и скоростного напора, преобразователь типа MADT) и температуры (типа Rosenmout 102 и высочастотный датчик температуры BDT). Применяемая подкрыльная штанга имеет преимущество по сравнению с носовой, так как значительно меньше по размеру, что «…позволяет снизить амплитуду ее собственных колебаний, а датчики могут быть расположены в непосредственной близости приемников» [4].

В носовой части самолета расположены датчики, дублирующие работу систем подкрыльной штанги:

– два полусферических приемника давления типа Rosemount;

– приемник воздушных давлений ПВД-30 с преобразователем типа MADT;

– стойка датчиков температуры с датчиками температуры типа Rosenmount и высокочастотный датчик BDT.

Преобразователь MADT, датчик давления типа Rosemount и блок интерфейсов датчиков БИД-2 размещены внутри фюзеляжа, длина подводящих магистралей не превышает 0,3 м [4]. По результатам летных испытаний определены и учтены величины поправки к показаниям датчиков давления и температуры. При сравнении данных по параметрам атмосферы, полученных при

полетах СМЛ и результатов синхронного радиоизондирования, установлена высокая точность их соответствия.

В последние годы за рубежом была создана СМЛ нового поколения HIAPER NOAA на базе самолета бизнес класса Gulfstream V. СМЛ Як-42Д «Росгидромет» не уступает по точности измерения параметров атмосферы HIAPER, а по точности определения компонентов путевой скорости превосходит ее, поскольку имеет на борту систему Laseref V1. В таблице 1 приведены диапазоны измерения и точностные характеристики измерителей и датчиков [4].

Таблица 1

Характеристики некоторых параметров, измеряемых АПК СМЛ

Измеряемый параметр	Диапазон определения значений	Точность определяемых значений (стандартное отклонение)
Широта (градусы)	от 80 с.ш. до 80 ю.ш.	±0,0003
Долгота (градусы)	от 180 з.д. до 180 в.д.	±0,0003
Геометрическая высота полета (км)	от 0 до 10	±0,01
Курс (градусы)	от 0 до 360	±0,5
Горизонтальный компонент путевой скорости (широтные)	от -180 до 180	±0,13 м/с
Горизонтальный компонент путевой скорости (меридиальные)	от -180 до 180	±0,13 м/с
Статическое давление	от 250 до 1050 гПа	±0,4 гПа
Динамическое давление	0-100 гПа	±0,2 гПа
Температура воздуха (°С)	от -70 до +50	±0,3
Барометрическая высота	от -350 до 10000	±4 м
Число Маха	от 0,1 до 0,8	±0,0025
Скорость ветра	от 0 до 50 м/с	±0,6 м/с
Угол ветра	от 0 до 360°	±0,4°

Используя точные характеристики параметров атмосферы и выполнив необходимые расчеты можно определить для интересуемой точки пространства в заданное время эталонные значения (p_H, $t_{н}$,), числа М барометрической высоты ($H_{бар}$), ($W_{пут}$), ($V_{пут}$), угла и скорости ветра ($\Psi_{ветра}$ и $V_{ветра}$).

Для определения АППСД, главным параметром, который требуется для знания эталонной высоты полета и определения отличия состояния атмосферы в данной точке (φ (λ, H) в данное время (τ) от стандартного, является атмосферное давление, второстепенным – температура наружного воздуха. Знание величины барометрического давления (высоты полета) освобождает исследователей АППСД от зондирующих полетов, что существенно сокращает время испытаний.

Проведенный анализ возможностей использования СМЛ НИИ «Росгидромет» показал, что целесообразно совмещение его полета и ИВС во времени и пространстве для определения АППСД. При этом, каждое ВС успешно выполняет свое полетное задание.

Местом их совместных полетов может быть зона испытательных полетов ЗИП-2 (г. Жуковский – трасса Зарайск-Саранск) с прямолинейным участком полета более 450 км.

Основные режимы испытаний и методы оценок

Основные режимы, используемые для получения результатов испытаний, следующие:

1. Последовательный полет один за другим СМЛ и ИВС на одной высоте и на одинаковых скоростных режимах с прохождением одних и тех же точек маршрута с промежутком по времени 5–7 минут, чтобы параметры атмосферы практически не менялись. Выполнение:

а) горизонтальных площадок на высоте 2 км на скоростях $V_{пр}$ соответствующих взлетной и посадочной конфигурациям ИВС с различными вариациями выпущенной механизации (шасси, закрылки);

б) горизонтальных площадок с разгонами и торможениями на высотах от 7 до 9 км, начиная от минимальных значений приборных эксплуатационных скоростей полета с «гладким» крылом, до максимально допустимого для СМЛ числа М − 0,75.

2. Обгоны самолета лаборатории, выполняющего горизонтальный полет на $H = 9$ км и на числе М − 0,75 , испытуемым самолетом. ИВС выполняет обгоны СМЛ на числах М больших 0,75. Например, ИВС отстает от СМЛ, затем разгоняется от значений числа М полета в пределах 0,76–0,78 и проходит рядом справа от СМЛ (высота ± 3 метра, расстояние ≤ 100 метров) на М − 0,77 , затем торможение и так далее.

При полетах на высоте H − 9 км и ограничениях по максимальной $V_{пут}$ − 600 км/ч ИВС может достигать числа М − 0,84 (если позволяет ограничение по РЛЭ).

Полеты выполняются во всем эксплуатационном диапазоне скоростных параметров и углов атаки самолета. Это достигается выполнением режимов с разными полетными весами ИВС в диапазоне эксплуатационных углов атаки самолета.

Для получения дополнительных данных на больших числах М и на малых углах атаки ИВС при необходимости можно выполнить несколько горизонтальных площадок на H − 12 км на больших числах М с предварительным зондированием атмосферы на той же высоте на малых скоростях.

3. Выполнение стандартных заходов на посадку и взлеты с ВПП.

Более подробно режимы полета следует определять в полетном задании в зависимости от типа ИВС и рекомендаций РЛЭ.

Для обработки материалов испытаний (режимы 1а, 1б, 2) используется барометрический метод. АППСД определяется просто: эталонная барометрическая высота в данной точке ($H^{эт}_{бар}$, которая берется по данным СМЛ $H^{эт}_{бар} = H^{СМЛ}_{бар}$, сравнивается с показаниями оттарированных в лаборатории ($\Delta H_{инст} = 0$) прецизионных измерителей барометрической высоты $H^{ИВС}_{бар}$, подключенных к серийным приемникам статического давления ИВС, а значит их показания искажены на АППСД ($\Delta H^{погр}_{аэр}$):

$$\Delta H^{погр}_{аэр} = H^{ИВС}_{бар} - H^{СМЛ}_{бар} \ . \qquad (1)$$

Проверка правильности определения АППСД по предлагаемой методике, а также при проведении испытаний ИВС может быть выполнена при сопоставлении результатов испытаний, полученных с использованием вышеуказанного (барометрического) метода со скоростным (данные того же полета). Расчет данных по скоростному методу приведен в следующем алгоритме:

$$W_{пут} \rightarrow V_{ист} \rightarrow \text{число М} \rightarrow V^{эт}_{пр} \rightarrow \left[\!\left[\Delta V^{погр}_{аэр} = V^{ИВС}_{пр} - V^{эт}_{пр}\right]\!\right] \leftarrow (V_{пр} - \Delta V_{аэр}) \, . \qquad (2)$$

$W_{пут}$ определяется как при использовании СНС в дифференциальном режиме, так и по данным СМЛ.

$V_{ист}$ определяется при использовании $\Psi_{ветра}$ и $V_{ветра}$ по данным СМЛ и решение параметров навигационного треугольника скоростей из соотношений (скорости определяются в узлах):

$$\frac{\sin УС}{V_{ветра}} = \frac{\sin \psi_{ветра}}{V_{ист}} = \frac{\sin(\psi_{ветра} + УС)}{W_{пут}}; \qquad (3)$$

где УС – угол сноса.

Число Маха определяется из отношения $M = \frac{V_{ист}}{a}$, где а – скорость звука по таблице стандартной атмосферы (ТСА) $f(H, t_{нв})$.

$$\mathrm{V_{ист}} = \frac{V_{инд}}{\sqrt{\frac{\rho_H}{\rho_0}}} = 38{,}97\, M\sqrt{T}\ ; \tag{4}$$

$$\mathrm{V_{инд}} = \mathrm{V_{пр}^{эт}} + \Delta\mathrm{V_{сж}}\ ; \tag{5}$$

где в данном случае $\Delta\mathrm{V_{аэр}} = \Delta\mathrm{V_{инст}} = 0$, а $\mathrm{V_{пр}^{эт}} = \Delta\mathrm{V_{инд\,зем}}$.

Тогда $\mathrm{V_{пр}^{эт}}$ определяется как:

$$\mathrm{V_{пр}^{эт}} = 38{,}97\, M\sqrt{T\Delta} - \Delta\mathrm{V_{сж}}\ ; \tag{6}$$

где Т – температура наружнего воздуха в градусах Кельвина (из ТСА) $f(H)$;

ρ_H, ρ_0 – плотность воздуха на высоте полета и у поверхности земли, соответственно (из ТСА) $\Delta = \frac{\rho_H}{\rho_0}$;;

$\mathrm{V_{инд}}, \mathrm{V_{пр}}, \mathrm{V_{инд\,зем}}$ – индикаторная, приборная и индикаторная земная скорости полета;

$V_{ист}$ – истинная скорость полета в узлах;

$\Delta V_{аэр}$, $\Delta V_{инст}$ – аэродинамическая и инструментальная погрешность, соответственно;

$\Delta\mathrm{V_{сж}}$ – поправка на сжимаемость (из ТСА) $f(V_{пр}, H)$.

Для определения АППСД приборная скорость $V_{пр}^{эт}$, взятая за эталон (ЯК-42), сравнивается с показаниями точных измерителей приборной скорости, оттарированных в лаборатории (инструментальная погрешность учтена) и подсоединенных к серийным приемникам давлений ИВС ($V_{пр}^{ИВС}$), а значит их показания искажены на величину АППСД – $\Delta V_{аэр}^{погр}$

$$\Delta V_{аэр}^{погр} = V_{пр}^{ИВС} - V_{пр}^{эт}\ ; \tag{7}$$

В случае выполнения ИВС нескольких горизонтальных площадок на больших числах М на высоте 12 км, АППСД определяется обычным скоростным методом [1] с парными проходами в прямом и обратном направлениях. Тогда $W_{пут} - V_{ист}$ (осредненная), которая пересчитывается в число М, а затем стандартно по скоростному методу.

При выполнении стандартных заходов на посадку и взлетов с ВПП АППСД определяются сопоставлением геометрической высоты, определенной с помощью СНС в дифференциальном режиме $H_{геом}^{СНС}$, с показанием точных высотомеров (измерителей давления), подключенных к серийным приемникам статического давления ИВС ($H_{бар}^{ИВС}$).

$$\Delta H_{аэр}^{погр} = H_{бар}^{ИВС} - H_{геом}^{СНС}\ ; \tag{8}$$

Дифференциальный режим СНС можно реализовать с помощью контрольного навигационного спутникового приемника или так называемой базовой станции с известными координатами в некоторой системе отсчета. Сравнивая известные координаты, полученные в результате геодезических измерений, с измеренными координатами, формируются поправки, которые передаются потребителям по каналам связи [6].

Для решения поставленной задачи существует возможность применения данных с сетей дифференциальных геодезических станций (СДГС) или как указано в государственном стандарте, сети, соответствующие требованиям к спутниковым геодезическим сетям 1-го класса (СГС-1) [7]. Возможная дальность применения указанных станций в необходимом режиме ≤ 50 км и позволяет обеспечить определение позиционирования ВС с сантиметрово-дециметровым порядком точности [8]. Расположение опорных базовых спутниковых геодезических станций на маршруте ЗИП-2

показал достаточность их количества для перекрытия всего района работ и обеспечения работ в дифференциальном режиме.

Каждая базовая станция является носителем геодезических (общеземных WGS-84, ПЗ-90.11 и т. д.) и географических координат. Кроме того, достоверно известны параметры перехода в местные плановые и высотные системы координат. Система точного позиционирования может использоваться как в режиме кинематика в реальном времени, так и в режиме кинематика в постобработке [9].

Для методики предлагается применять режим постобработки как в дифференциальном, так и в кинематическом режимах. Для определения координат в режиме постобработки необходимо иметь данные не менее, чем четырех базовых станций. При этом может быть достигнута досантиметровая точность результатов в прямоугольной системе координат. Данные о дифференциальных ГНСС-наблюдениях, полученные после обработки сигналов всех станций, доступны пользователям спустя 4 часа после окончания измерений. Информация может быть передана с центра управления через сеть Internet или по иным каналам связи.

Представление результатов испытаний

Материалы испытаний должны быть представлены в виде графиков $\frac{\Delta p}{P_H} = f(M, \alpha)$, где Δp – АППСД в гПа; H_p – атмосферное давление на высоте полета в гПа; α – истинный угол атаки самолета в градусах.

Группировка данных по значению угла атаки самолета (α) может быть выполнена дискретно в соответствии с результатами испытаний ($\alpha_1 - \alpha_2$, $\alpha_2 - \alpha_3$, ... *и т.д.*) как показано на рис. 1.

Указанная форма предоставления результатов измерений и итогов испытаний является наглядной, а также, является распространённой и удобной формой для интерпретации данных, которая подтвердила за прошедшие многие десятки лет применения свои положительные стороны [1].

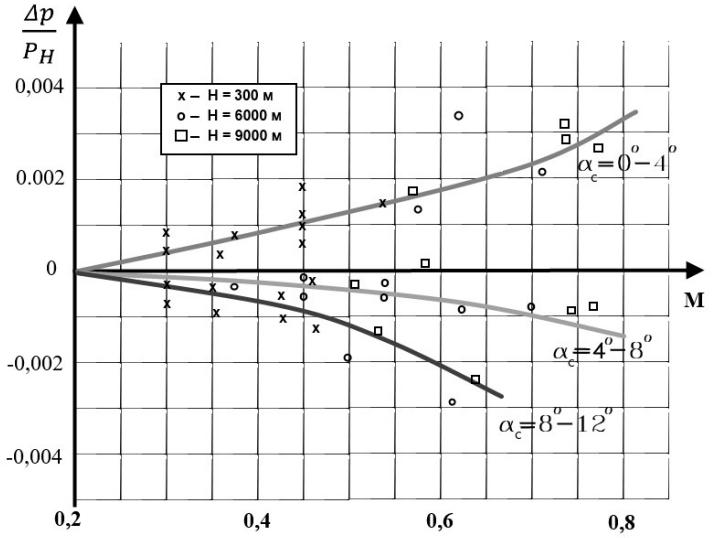


Рис. 1. График зависимостей $\frac{\Delta \rho}{\rho_H} = f(M, \alpha)$

Для оценки соответствия нормативным документам также должно быть предусмотрено построение зависимостей $\Delta H_{аэр}^{погр} = f(V_{пр}, H)$ и $\Delta V_{аэр}^{погр} = f(V_{пр}, H)$ как показано на рис. 2 и рис. 3, а также погрешности измерения высот при заходах на посадку и взлетах ИВС.

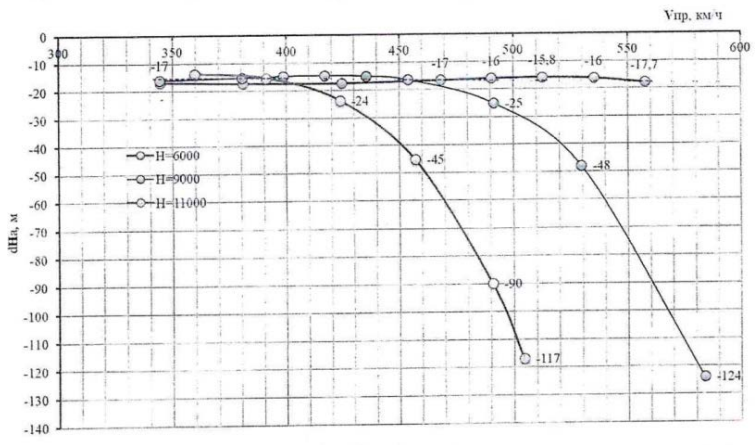


Рис. 2. График зависимостей $\Delta H_{\text{аэр}}^{\text{погр}} = f(V_{\text{пр}}, H)$

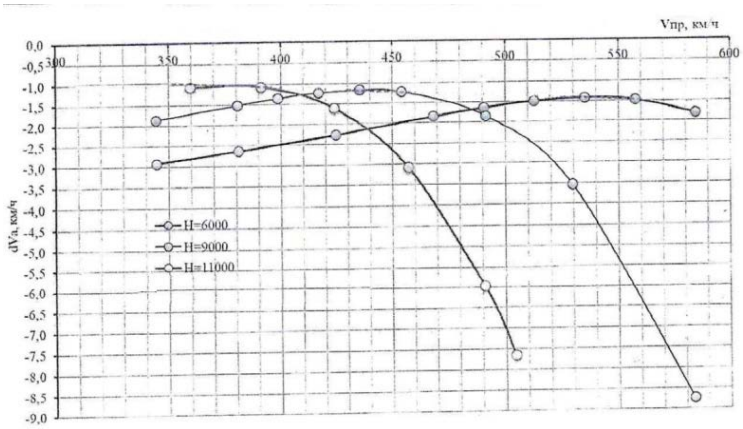


Рис. 3. График зависимостей $\Delta V_{\text{аэр}}^{\text{погр}} = f(V_{\text{пр}}, H)$

Преимущества АППСД с использованием СМЛ

В существующих методиках определения АППСД горизонтальные площадки выполняются ИВС на фиксированных Vпр (через 50 км/ч) с парными проходами в прямом и обратном направлениях для исключения в расчетах неизвестной путевой составляющей скорости ветра. При использовании данных СМЛ горизонтальные площадки ИВС выполняются в одном направлении при разгонах и торможениях.

Наличие информации о параметрах атмосферы по данным СМЛ освобождает от необходимости выполнять на ИВС зондирующие режимы полета.

Все это способствует сокращению времени проведения испытаний ИВС и материальных затрат на их проведение, а обработка материалов испытаний выполняется значительно проще.

Информация о исследуемых характеристиках при разгоне и торможениях поступает непрерывно, (а не дискретно на фиксируемых скоростях), что существенно увеличивает количество получаемых материалов исследований, а, следовательно, и достоверность результатов.

Точность определения эталонных значений параметров атмосферы в данной точке, указанная в технических характеристиках самолета-лаборатории [2, 3] и указанных в таблице 1,

с использованием данных СМЛ выше, чем в существующих методах. В существующих методах, присутствуют погрешности перевода $\Delta H_{\text{аэр}}^{\text{погр}}$ с Н = 200 м на большие высоты (изменение обтекания потоком воздуха приемников при других углах атаки и числах М ВС)

Выводы

В статье даны обоснования нового метода определения аэродинамических погрешностей приемников статического давления (АППСД) воздушных судов с использованием самолета-метеолаборатории (СМЛ).

Определение АППСД с использованием СМЛ имеет перед существующими методами следующие преимущества:

– сокращение материальных затрат и уменьшения времени проведения летных испытаний;

– повышение точности определения эталонных значений параметров атмосферы;

– упрощение в обработке материалов испытаний.

Аттестация измерительных средств была произведена на самолете Як-42Д [2, 3] № 42440 организацией НИИ «Росгидромет», и получены оттарированные по точности величины, представленные в таблице 1 и в статьях, описывающих комплекс [4, 5].

На основе представленных обоснований новых подходов целесообразно разработать «Методику определения АППСД ВС с использованием СМЛ», провести экспериментальные исследования по внедрению ее в эксплуатацию и утвердить для проведения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харин Е.Г., Бельфор Г.Е., Лебедев Б.В., Цветков П.М. и др. Летные испытания систем пилотажно-навигационного оборудования. М.: Машиностроение, 1986. 136 с., ил.

2. Самолет Як-42Д. Руководство по летной эксплуатации. Часть I. Изд. No 44912/4, 1990. 843 с., ил.

3. Самолет Як-42Д. Руководство по летной эксплуатации. Часть II. Изд. No 44912/4, 1990. 988 с., ил.

4. Базанин Н.В., Борисов Ю.А., Волков В.В., Дмитриев В.К., Живоглотов Д.Н. и др. Бортовые комплексы самолета-лаборатории нового поколения Як-42Д «Росгидромет» для измерения и регистрации навигационных параметров полета и термодинамических параметров атмосферы. // М.: Метеорология и гидрология, 2014. №11. С. 83–102 .

5. Волков В.В., Колокутин Г.Э., Струнин М.А., Базанин Н.В. Бортовая система сбора данных самолета-лаборатории для исследования атмосферных процессов. // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 3. С. 104–110. DOI: 10.1134/S0032816219020332.

6. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). GNSS – Global Navigation Satellite Systems. GPS, Glonass, Galileo and more. Wien: Springer-Verlag press. https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1.

7. ГОСТ Р 56408—2015 Глобальная навигационная спутниковая система. Сети геодезические спутниковые. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

8. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп.. М.: Радиотехника, 2010. 800 с., ил.

9. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]. В 2 т. Т. 2. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. 360 с.: ил.

10. ICAO DOC 9574. Руководство по применению минимума вертикального эшелонирования 300 м (1000 фут) между ЭП 290 и ЭП 410 включительно. ИКАО, 2002. 58 с.

REFERENCES

1. Kharin E.G., Belfor G.E., Lebedev B.V., Tsvetkov P.M. and other. *Letnye ispytaniya system pilotazhno-navigatsionnogo oborudovaniy*a [Flight tests of systems of flight and navigation equipment], Moscow. Mashinostroenie Publ., 1986, 136 p. (In Russian).

2. Aircraft Yak-42D. Flight manual. Part I. (In Russian).

3. Aircraft Yak-42D. Flight manual. Part II. (In Russian).

4. Bazanin N.V., Borisov Yu.A., Volkov V.V., Dmitriev V.K., Zhivoglotov D.N. and others. Onboard complexes of the new generation Yak-42D «Roshydromet» aircraft laboratory for measuring and registration of navigation parameters of flight and thermodynamic parameters of the atmosphere. *Meteorologiya i gidrologiya* = Meteorology and Hydrology, 2014, no. 11., pp. 83–102. (In Russian).

5. Volkov V.V., Kolokutin G.E., Strunin M.A., Bazanin N.V. On-board data collection system of an aircraft laboratory for the study of atmospheric processes. *Pribory i tekhnika ehksperimenta* = Instruments and experimental techniques, 2019, no. 3, pp. 104–110. DOI: 10.1134 / S0032816219020332. (In Russian).

6. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. GNSS - Global Navigation Satellite Systems. GPS, Glonass, Galileo and more. Wien: Springer-Verlag press. 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1.

7. GOST R 56408—2015. Global navigation satellite system. Geodetic satellite networks. General requirements. (In Russian).

8. Perov A.I., Kharisov V.N. *GLONASS. Printsipy postroeniya i funktsionirovanniya* [GLONASS. Principles of construction and functioning]. 4th ed., rev. and additional . Moscow, Radiotekhnika Publ., 2010, 800 p. (In Russian).

9. Antonovich K.M. *Ispol`zovanie sputnikovykh radionavigatsionnykh system v geodezii* [The use of satellite radio navigation systems in geodesy]. In 2 volumes. V. 2. Monograph. Moscow, Kartgeotsentr Publ., 2006, 360 p. (In Russian).

10. ICAO DOC 9574. Guidelines for the Application of a 300 m (1000 ft) vertical separation minimum between FL 290 and FL 410 inclusive. ICAO, 2002, 58 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мхитарян Валерий Абрамович, начальник сектора 313 отдела, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Научный центр бортового оборудования, Волоколамское шоссе, 26, Москва, Российская Федерация, 123182; e-mail: val.mkhit7@yandex.ru.

Леве Дмитрий Евгеньевич, ведущий инженер по летным испытаниям воздушных судов 313 отдела, Научный центр бортового оборудования, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Волоколамское шоссе, 26, Москва, Российская Федерация, 123182; e-mail: dmleve@yandex.ru.

Волков Василий Витальевич, руководитель группы, Федеральное государственное бюджетное учреждение Центральная аэрологическая обсерватория, ул. Первомайская, д. 3, г. Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация, 141700; e-mail: volkov-vv@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Mkhitaryan Valery A., Head of Sector 313 of Division, Scientific Center of Onboard Equipment, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Volokolamskoe highway, 26, Moscow, Russian Federation, 123182; e-mail: val.mkhit7@yandex.ru.

Leve Dmitry E., Leading Engineer for Flight Testing of Aircraft of the 313th Department, Scientific Center of Onboard Equipment, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Volokolamskoe highway, 26, Moscow, Russian Federation, 123182; e-mail: dmleve@yandex.ru.

Volkov Vasily V., Group Leader, Central Aerological Observatory, Federal State Budgetary Institution Central Aerological Observatory, Pervomaiskaya Street, 3, Dolgoprudny, Moscow region, Russian Federation, 141700; e-mail: volkov-vv@mail.ru.

УДК 65.011.56: 656.71(470+571)

АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТОВ И ТЕНДЕНЦИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ РОССИЙСКИХ АЭРОПОРТОВ

Г.В. ГОЛОВЧЕНКО[1], Ю.М. ЧИНЮЧИН[2], С.В. ДАЛЕЦКИЙ[3]

[1]Региональный информационно-вычислительный центр «Пулково», Санкт-Петербург, Российская Федерация
[2]Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация
[3]Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены результаты изучения, обобщения и анализа материалов анкетного опроса руководителей IT-подразделений российских аэропортов, проведеннного в период 2016-2019 гг. по оценке уровня автоматизации процессов управления и производства аэропортовых услуг, с целью выявления тенденций развития по основным направлениям деятельности. Результаты анализа базируются на анкетном опросе, произведенном в 60 аэропортах Российской Федерации и стран СНГ. По результатам опроса определены приоритеты бюджетирования, направлений и задач автоматизации аэропортовой деятеятельности, установлены тенденции обслуживания пассажиров в аэропортах, оценена мобильность автоматизированных рабочих мест, описаны методы получения отчетности руководителями и представлена цифровая трансформация аэропортов. Показано, что типовые проектные решения по перечисленным приоритетам и задачам являются многофункциональными, комплексными, импортозамещающими, интегрируемыми с внешними системами, базирующимися на облачных ресурсах, соответствующими требованиям цифровой трансформации «Аэропорт 3» и содержащими отдельные элементы автоматизации уровня «Аэропорт 4». Реализуется дальнейшее развитие системы по направлениям внедрения технологий «Интернет вещей», биометрии и искусственного интеллекта с целью повышения уровня автоматизированного взаимодействия участников процессов обслуживания клиентуры аэропорта и выполнения требований, накладываемых пандемией Covid-19.

Ключевые слова: аэропорт, методология исследования, приоритеты бюджетирования, тренды, мобильность автоматизированных рабочих мест, автоматизация «КОБРА», анкетный опрос, цифровая трансформация

ANALYSIS OF PRIORITIES AND TRENDS IN AUTOMATION OF RUSSIAN AIRPORT

G.V. GOLOVCHENKO[1], YU.M. CHINUCHIN[2], S.V. DALETSKIY[3]

[1]Regional Information and Computing Center «Pulkovo», Saint Petersburg, Russian Federation
[2]Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation
[3]The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of a questionnaire survey in the period 2016–2019 of the heads of IT departments of Russian airports by level, main trends and directions of automation of management processes and production of airport services. The analysis results are based on a questionnaire survey conducted at 60 airports in Russia and CIS countries. According to the results of the survey, the priorities of budgeting,

directions and tasks of airport automation were determined, trends in passenger service at airports were established, the mobility of automated workplaces was assessed, methods of reporting by managers were described and the digital transformation of airports was presented. It is shown that typical design solutions of the system are multifunctional, complex, import-substituting, integrated with external systems based on cloud resources that meet the requirements of digital transformation «Airport 3» and contain individual automation elements of the level «Airport 4». Further development of the system is being implemented in the areas of implementation of the "Internet of Things", biometrics and artificial intelligence technologies in order to increase the level of automated interaction between participants in the airport clientele service processes and to meet the requirements imposed by the COVID 19 pandemic.

Keywords: airport, research methodology, budgeting priorities, trends, mobility of automated workplaces, automation, «COBRA», questionnaire survey, digital transformation

Введение

Аэропорты (а/п) являются одним из ключевых звеньев, обеспечивающих слаженную и эффективную работу ГА. Автоматизация аэропортовой деятельности (АД) является одним из определяющих факторов повышения их ключевых показателей эффективности. В настоящее время а/п России используют различные проектные решения в этой области, базирующиеся как на зарубежных, так и на отечественных разработках. Мониторинг и анализ различных аспектов автоматизации АД – залог эффективного принятия решений по повышению уровня их автоматизации. Однако это аналитическое направление не нашло отражения в научных публикациях.

С целью статистического анализа и выработки рекомендаций по повышению уровня и качества автоматизации АД в Региональном информационно-вычислительном центре «Пулково» (далее – РИВЦ Пулково) [1] в 2016–2019 гг. была организована и проведена соответствующая работа по анкетированию руководителей подразделений информационных технологий аэропортов (IT – Information Technology). Анкетированием были охвачены более 60 соответствующих руководителей в а/п, во многих из которых внедрены типовые проектные решения (подсистемы, комплексы задач, программные модули) автоматизированной системы «Комплексное обслуживание рейсов аэропорта» (АС «КОБРА»), поэтапно внедряемой и развиваемой с 2004 года.

В настоящей статье приведены обобщенные статистические результаты проведенного мониторинга основных приоритетов и трендов автоматизации российских а/п, выявлены тенденции изменения рассматриваемых показателей и предложены соответствующие рекомендации по повышению эффективности автоматизации аэропортов до уровня цифровой трансформации (ЦТ) «Аэропорт 4». Актуальность работы, которую планируется проводить и в будущем, существенно возрастает в условиях пандемии коронавируса.

Методология исследования

Методология исследования основных направлений и трендов развития автоматизации аэропортовой деятельности в России базируется на результатах анкетного опроса руководителей IT-подразделений. Анкетирование ежегодно проводилось в период 2016–2019 гг. более чем в 40 а/п, где было произведено внедрение и где осуществлялось сопровождение и необходимые доработки типовых проектных решений (ТПР) автоматизированной системы «Комплексное обслуживание рейсов аэропорта» (АС «КОБРА), поэтапно внедряемой и развиваемой с 2004 года Региональным информационно-вычислительным центром «Пулково» (РИВЦ Пулково) [1].

Цель исследования заключалась в анализе и выработке рекомендаций по повышению уровня и качества автоматизации АД преимущественно аэропортов от второго до пятого уровней. Результаты исследования сводились в статистические диаграммы и таблицы, доводимые до соответствующих аэропортов с целью получения обратной связи.

Результаты анализа также ежегодно докладывались на различных отраслевых форумах и конференциях [2–5].

Приоритеты бюджетирования, направлений и задач автоматизации АД аэропортов

Возрастающие объемы перевозок и повышение интенсивности обслуживания рейсов в докороновирусный период выявили необходимость оптимизации бизнес-процессов, повышения качества и эффективности. Анкетный опрос изменения бюджетов на IT-продукты автоматизации АД, показывает наращивание выделяемых средств на эти цели в а/п (рис. 1).

Рис. 1. Результаты анкетного опроса по изменению бюджетов на IT-продукты в аэропортах

Наиболее зримыми для руководства аэропортов являются вложения в техническую инфраструктуру – совокупность серверного и телекоммуникационного оборудования, общесистемных программных средств и др., как фундамента для развития всех автоматизированных и информационных сервисов.

Важное направление повышения отдачи инвестиций в техническую инфраструктуру – использование облачных технологий. Статистика размещения IT-продуктов по результатам анкетирования в 2017 году показала, что только 3 % а/п используют облачные технологии, 15 % – используют комбинированные вычисления в собственных центрах обработки данных (ЦОД) и в облачных технологиях, а большая часть вычислений осуществляется в собственных ЦОД – 82 % .

Средний возраст серверного оборудования в ЦОД а/п (по анкетным данным 2017 года) составил: до трех лет – 3 %, от трех до пяти лет – 54 %, от пяти лет и выше – 43 %. Заметим, что пять лет – это общепринятый срок морального старения компьютерного оборудования, поэтому многие а/п испытывают потребность как в замене серверного оборудования, так и в замене или модернизации внедренных ранее IT-продуктов. Определены (в 2016 году) приоритеты проблем в этой сфере: отсутствие комплексного подхода при автоматизации а/п (29 %); низкий уровень поддержки со стороны разработчиков (24 %); недостаточный уровень качества (16 %) программного обеспечения (ППО), большая часть которого в а/п от первого до пятого классов и в неклассифицированных а/п была разработана до прошлого десятилетия и стала морально устаревать; несоответствие качества стоимости IT-продуктов (11 %); отсутствие перспектив развития (7 %); прочие проблемы (13 %).

Как внеклассные так и аэропорты первого класса широко используют для автоматизации своей деятельности импортные IT-продукты, подвергая себя все большим рискам санкционного давления. Поэтому задачи развития отечественных IT-продукт, повышения уровня их комплексности и мобильности автоматизированных рабочих мест, внедрения оптимизационных методов, совершенствования методов и средств технологической поддержки не теряют свою актуальность.

На рис. 2 представлены основные поставщики ППО по результатам опроса в 2016 году 40 российских а/п. Здесь существенно выделяются РИВЦ Пулково, собственные разработчики ППО аэропортов, компания 1С и один из крупнейших зарубежных поставщиков авиационного ППО – SITA (Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques) с долями соответственно – 32 % , 16 % и 12 %.

Уверенность руководителей IT-подразделений опрошенных а/п в способности отечественных поставщиков обеспечить а/п современным ППО составляет 80 % за период 2016–2018 гг.

Результаты анкетного опроса 2016–2019 гг. показали, что основными направлениями развития автоматизации АД в аэропортах признаны: обслуживание (пассажиров – 28 %, воздушных судов – 19 %, багажа – 17 %, инфраструктуры – 13 %); безопасность процессов обслуживания – 23 %.

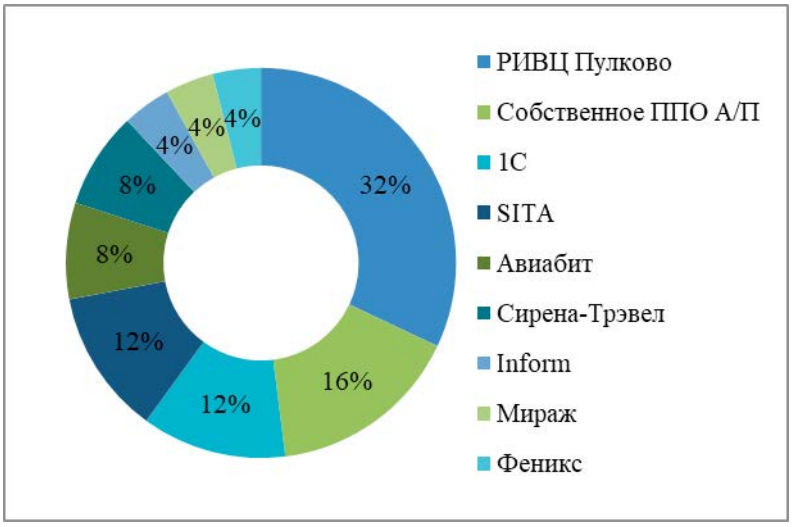


Рис. 2. Основные поставщики ППО для опрошенных а/п

Приоритеты задач по автоматизации, которые ставили а/п в этот период автоматизации АД, представлены на рис. 3.

Рис. 3. Приоритеты основных задач автоматизации АД

Приоритеты в процентном выражении отражают заинтересованность руководителей IT-подразделений аэропортов во внедрении той или иной технологии.

Так модернизировать системы информирования пассажиров планируют более половины опрошенных представителей а/п (51 %), а системы билинга – только 11 %. Среди традиционных решений по автоматизации аэропортов появилось новое решение – A-CDM (Airport Collaborative Decision-Making) – 32 %. Это системы концепции совместного принятия решений, обеспечивающие взаимодействие участников: оператора аэропорта, авиакомпаний, обслуживающих компаний, органа планирования и координирования использования воздушного пространства и организации воздушного движения с целью повышения эффективности использования своих ресурсов, выявления и использования резервов пропускной способности аэродрома и воздушного пространства, снижения эксплуатационных расходов всех участников.

Тенденции обслуживания пассажиров в аэропортах

Информационно-справочные услуги а/п традиционно развивались посредством визуального и звукового информирования пассажиров. Эти системы в последние годы практически повсеместно заменены на более совершенное компьютерно-информационное оборудование (табло с широким спектром современного дизайна, телетабло и телеэкраны) и существенно развиты их функциональные и программные возможности (мультиязычность, компьютерная синтезация речи). Системами визуального и звукового информирования оснащены все 100 % аэропортов (рис. 4). Телефонная справка становится менее актуальной (5 %), несмотря на то что ее современные аналоги – Call-центры предоставляют пассажирам значительно больший функционал. Услуги Call-центров все в большей степени стали заменяться информированием через веб-сайты а/п (55 %) и мобильные устройства (17 %). Телефонная справка – это прежде всего задача авиакомпаний. Наряду с этими каналами, в последние годы стали также развиваться новые каналы оперативного информирования пассажиров по изменениям СПП, задержкам, отменам рейсов и т.д. (рис. 4) через TelegramBot, электронную почту и социальные сети (по 2 %).

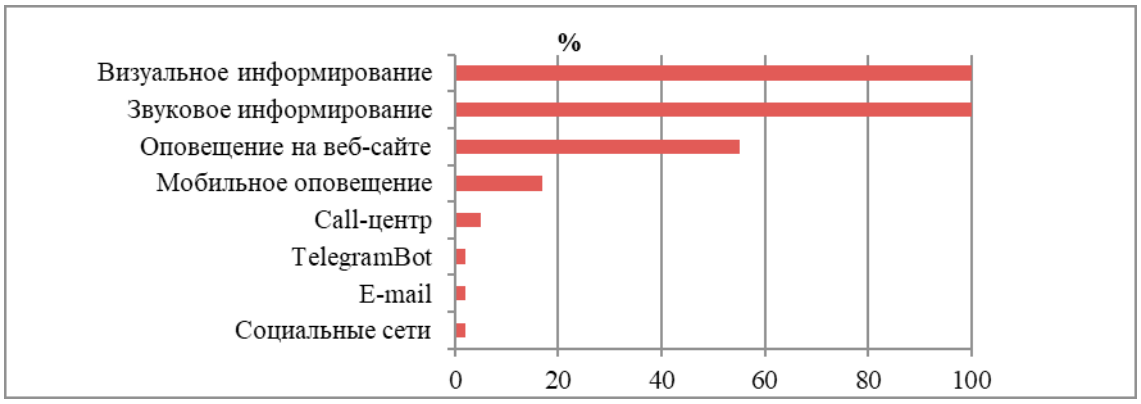


Рис. 4. Уровень оперативного информирования пассажиров в аэропортах по различным каналам (в %)

В 2016–2018 гг. все больше аэропортов внедряли новые услуги для пассажиров такие, как киоски саморегистрации KIC (Kiosk In Check), причем: 32 % а/п – используют, но не планируют увеличение их количества; 28 % – не используют, но собираются установить; 24 % – не используют и не планируют установить; 14 % – используют и планируют увеличение количества; 2 % – используют, но планируют отказаться, считая технологию самообслуживания пассажиров не перспективной.

В принципе, KIC – это инструментарий, обеспечивающий сокращение очередей к стойкам в зоне регистрации CID (Check In Desk) пассажиров, но ее недостаток заключается в том, что при этом осуществляется тактильный контакт с клавишами (сенсорными кнопками) таких устройств регистрации. Сокращению очередей к CID также способствуют другие технологии онлайн регистрации пассажиров: веб-регистрации WIC (Web In Check) и мобильной регистрации MCI (Mobile Check-In) с использованием смартфонов, планшетов и ноутбуков. Статистика количества пассажиров (%), использующих соответствующие технологии регистрации, полученная в а/п с внедренными IT-продуктами АС «КОБРА», представлена в табл. 1.

Таблица 1

Статистика количества пассажиров (%), регистрируемых в различных технологиях в аэропортах внедрения АС «КОБРА 2»

Наименование показателя (%)/ год	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Регистрация, всего пассажиров (тыс.)	16879	18405	21534	25207	34527	37691
CID-технология	90,7	89,2	82	68	74,9	74,2
WIC-технология	8,8	9.7	16,6	29,3	21,7	22,4
MCI-технология	0,1	0,3	0,6	1,2	2,4	2,3
KIC	0,4	0,8	0,8	1,5	1	1,1

Данные табл. 1 близки данным, полученным ЗАО «Сирена-Трэвел» в а/п внедрения системы управления отправками пассажиров и багажа DCS (Departure Control System) ASTRA [6]. Данные табл. 1 показывают, что доля от всего количества регистрируемых пассажиров в режиме онлайн (технологии KIC, WIC и MIC) существенно возросла более, чем на четверть за последние пять лет. Пандемия Covid 19 вносит существенные коррективы как в развитие выше перечисленных технологий, так и в ускорение автоматизации других процессов обслуживания пассажиров в а/п (входной, таможенный и пограничный контроль, контроль безопасности) и нововведений по социальному дистанцированию посредством:

– реализации процесса самообслуживания пассажиров в целом, предусматривающего минимизацию контактов человека с человеком;

– адекватного планирования и минимизации очередей к стойкам в зоне регистрации CID (Check In Desk), пограничного и таможенного контроля, личного досмотра, контроля посадочных талонов;

– уменьшения тактильного взаимодействия с устройствами самообслуживания, в частности, с киосками саморегистрации KIC (Kiosk In Check) за счет более широкого использования средств веб-регистрации WIC (Web In Check) и мобильной регистрации MCI (Mobile Check-In);

– биометрической идентификации, преимущество которой заключается в отсутствии всякой необходимости стоять в очередях к средствам обслуживания;

– автоматизированной проверки действительности данных авиапассажиров об отсутствии COVID-19 или других инфекционных заболеваний;

– автоматизированного учета и оперативного выявления контактов авиапассажиров и обслуживающего персонала в а/п для купирования угрозы заражения.

В аэропортах начато внедрение новых IT самостоятельной регистрации багажа (Drop Off), также сокращающих размеры очередей к стойкам регистрации. Данные опроса показывают, что в 2020–2022 гг. эта технология в а/п: уже внедряется – 19 %; планируется к внедрению – 21 %; интересна для внедрения – 34 %; не планируется к внедрению – 26 %.

Ускорению процессов обслуживания и сокращению числа контактов служит цифровая технология биометрической идентификации пассажиров в а/п. По результатам опроса 2019 года

уже 7 % а/п внедрили эту технологию; 29 % – планируют внедрение и 64 % – пока не планируют использовать эту технологию.

Мобильность автоматизированных рабочих мест (АРМ) и методы получения отчетности руководителями

Мобильность средств и цифровая трансформация процессов управления напрямую связаны с новым качеством инфо-коммуникационных технологий в современном мире. Интенсивно развивающимся направлением в а/п является применение мобильных АРМ с использованием смартфонов, планшетов и ноутбуков при управлении АД а/п. Мобильные АРМ являются эффективным инструментом для получения сводной информации для оперативного управления бизнес- и производственными процессами из любого удобного места; позволяют синхронизировать активность персонала а/п и удаленно устанавливать пользовательские настройки. К 2017 году в анализируемых а/п, оснащенных мобильными АРМ, их доля достигла: 65 % – при обслуживании ВС на пероне; 19 % – при обслуживании пассажиров в терминале; 13 % – при обслуживании багажа; 3 % – при трансфере пассажиров.

Возможность обеспечить сводную информацию обо всем процессе является ключом к повышению эффективности управления аэропортом. В большинстве опрошенных а/п (61 %) формирование аналитических отчетов осуществляют специально выделенные сотрудники.

В 33 % а/п выполнение этой функции осуществляется с использованием автоматизированных средств, выдающих «плоские» таблицы без аналитической обработки. И только в 6 % а/п для этой цели используются системы бизнес-аналитик.

Методы получения аналитических данных руководителями (по данным опроса а/п) подразделяются следующим образом: 69 % данных выдаются по запросу; 25 % получаются автоматически по электронной почте; 6 % получаются с помощью мобильных приложений (dashboard).

Цифровая трансформация аэропортов

С 2011 года начинается четвертая промышленная революция («Индустрия 4.0»), которая характеризуется цифровой трансформацией (ЦТ) производства [7–9]. ЦТ а/п означает его преобразование в интеллектуальный аэропорт.

Статусы аэропортов определяются также четырьмя уровнями [13], среди которых отметим следующие.

«Аэропорт 2.0» – реализовано самообслуживание пассажиров за счет автоматизации потоков регистрации, сдачи багажа, проверки паспортов пассажиров.

«Аэропорт 3.0» – оптимизирован мониторинг процессов и обработки потоков данных, расширена аналитика, введена визуализация процессов, обеспечен высокий уровень оперативности и интеграции аэропортовой деятельности и информационных технологий.

«Аэропорт 4.0» – характеризуется тенденцией к полной ЦТ, высокой активностью и автоматизированным механизмом взаимодействия участников процессов обслуживания пассажиров, багажа, грузов, ВС и др. в реальном времени, обеспечиваемые: облачными сервисами; виртуальной и дополненной реальностью (VR – Virtual Reality& AR – Augmented reality); использованием «больших данных» (Big Data); интеграцией в производство услуг киберфизических систем (Cybernetik Physic System); привлечением искусственного интеллекта (AI – Artificial Intelligence); технологиями сетей Интернет вещей (IoT – Internet of Things) с идентифицируемыми конечными точками, которые взаимодействуют между собой («машина-машина») через Интернет без участия человека. Производство услуг в а/п «Аэропорт 4.0» становится «умным» (digital), «интеллектуальным» (smart) и «виртуальным» (virtual). К состоянию «Аэропорт 4» пока приближаются крупнейшие международные а/п.

По данным [10] большинство а/п мира находятся на переходном этапе между состояниями «Аэропорт 2» и «Аэропорт 3». Необходимость социального дистанцирования в условиях Covid 19 способствует ускорению внедрения ЦТ уровней «Аэропорт 3.0 и 4.0».

Наряду с неудовлетворенностью отечественным ППО подавляющее большинство (2016 год – 81 %, 2017 год – 78 %, 2018 год – 81 %) опрошенных руководители IT-подразделений а/п выражают уверенность в том, что эффективная автоматизация с помощью отечественного ППО возможна.

Типовые проектные решения АС «КОБРА» в большинстве своем соответствуют задачам «Аэропорт 3» и, частично, – ряду задач «Аэропорт 4». Эта система непрерывно совершенствуется. Только за 2018 год было выполнено 362 доработки различного ППО, процентное распределение которых по различным подсистемам показано на рис. 5.

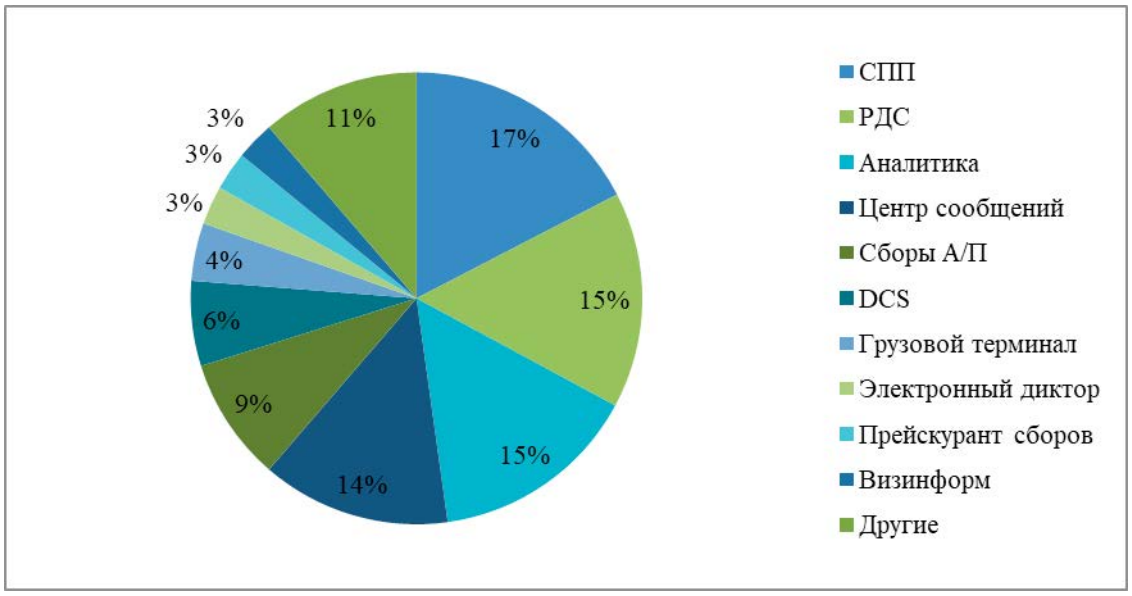


Рис. 5. Распределение доработок по подсистемам «КОБРА» в 2018 году

Основное внимание при доработках было уделено развитию:

– функциональных возможностей основных подсистем, а также конструирования отчетов и аналитики как интеллектуальных компонентов управления;

– потенциала данных управляемого объекта, обеспечивая требуемые уровни информационной безопасности, визуализации, простоты представления, эффективной аналитики и возможностей кастомизации, являющейся главным драйвером цифровизации;

– типовости и масштабируемости проектных решений по автоматизации процессов, настраиваемых под потребности пользователей, оптимизирующих их работу и требующих минимальных затрат времени на внедрение, адаптацию и гибкость изменения бизнес-процессов в зависимости от изменений конъюнктуры;

– полноты автоматизированной нормативно-справочной информации а/п, пополняемой в том числе и из «больших данных» и др.

Элементами проектных решений АС «КОБРА», обеспечивающими переход автоматизируемых а/п на уровень «Аэропорт 4», являются:

– высокий уровень автоматизированного взаимодействя участников процессов обслуживания пассажиров, багажа, грузов, ВС и др. в реальном времени посредством «сращивания» традиционных IT с технологиями VR & AR социальных сетей;

– создание виртуальной копии реальности управляемых процессов посредством аналитического и имитационного моделирования;

– облачные сервисы;

– обработка «больших данных», в том числе персонифицируемых пассажиров и синтез речи для многоязычного звукового информирования пассажиров на базе AI;

– инновационные интерфейсов оператора с доступом через мобильные АРМ;

– формирование аналитических отчетов по технологии бизнес-аналитик.

Выводы

По результатам анкетного обследования руководителей IT-подразделений аэропортов за период 2016–2019 гг. выявлены приоритеты автоматизации АД, повышающей эффективность и качество обслуживания пассажиров, особенно актуальные в условиях пандемии Covid-19 и при реализации программ импортозамещения. Важнейшим инструментарием реализации этого и других приоритетных направлений является автоматизация управления и ЦТ АД, направленная, в том числе, на минимизацию очередей, социального дистанцирования и контактов пассажиров с персоналом и техническими средствами обслуживания в процессах входного контроля, таможенного, пограничного, предпосадочного контроля, регистрации, личного досмотра и проверки безопасности багажа.

Приведенные результаты исследования в основном получены в докороновирусный период, поэтому авторы продолжат анкетирование аэропортов также и в наступившем периоде пандемии Covid-19.

В ближайшем будущем в рамках АС «КОБРА» планируется анонсирование ряда новых пусковых ТПР по основным направлениям цифровой трансформации аэропортов: автоматизированной биометрии и блокчейн-технологий для повышения скорости идентификации и проверки пассажиров, интеллектуальной безопасности; обнаружения, обмена, интеграции данных и аналитики, которые объединяются различными технологиями IoT, с целью улучшения ситуационной осведомленности при автоматизированном управлении АД в реальном времени (определение местонахождение инфраструктуры и оборудования, отслеживание перемещения и местонахождения багажа, ВС и мобильных ресурсов, и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ежегодное исследование по автоматизации аэропортов и авиакомпаний [Электронный ресурс]. URL: https://rivc-pulkovo.ru/wp-content/uploads/2019/02/issledovanie-2018.pdf / (дата обращения 19.05.2020).

2. Головченко Г.В. Повышение производственно-экономических показателей авиапредприятий за счет внедрения современных ИТ-решений // Международная научно-практическая конференция «Транспорт России: проблемы и перспективы». СПб.: ИПТ РАН. 2017. С. 97–200. ISBN 978-5-9908209-6-8.

3. Головченко Г.В. Исследование IT-оснащенности российских аэропортов. ATO Events. Shaping the future of the air transport industry (DASR 2018). 2018. [Электронный ресурс]: URL: https://events.ato.ru/events/14398/detail/ (дата обращения 11.12.2019).

4. Головченко Г.В. Автоматизация аэропортов, проектирование эффективных IT-решений // Журнал Ассоциации «Аэропорт» ГА стран СНГ. 2017. №2 (117). С. 21–23.

5. Головченко Г.В. Основные тренды развития IT в аэропортах РФ // Журнал Ассоциации «Аэропорт» ГА стран СНГ. 2018. №1 (120). С. 15–16.

6. Система регистрации пассажиров и багажа в аэропорту [Электронный ресурс]. URL: https://www.sirena-travel.ru/airport-connection.html (дата обращения 12.05.2020).

7. Цифровая трансформация аэропортов. [Электронный ресурс]. URL: https://dx.media/articles/directspeech/tsifrovaya-transformatsiya-aeroportov-kakimi-budut-vozdushnye-gavani-budushchego/ (дата обращения 19.05.2020).

8. Наумкин А.Д. Пути цифровой трансформации процессов взаимодействия аэропортов и авиакомпаний // Кибернетика и программирование. 2019. № 4. С. 15–25. DOI: 10.25136/2644-935522.2019.4.29966 [Электронный ресурс]. URL: https://nbpublish.com/ library_read_ article.php?id= 29966. (дата обращения 29.01.2020).

9. Grefen P. Beyond E-Business Towards networked structures. Routledge, New York (2016). 310 p.

10. Потребности, связанные с переходом на цифровые технологии, зависят от аэропорта. [Электронный ресурс]. URL: https://amadeus.com/ru/статьи/блог/ потребности-связанные-с-переходом-на-цифровые-технологии-зависят-от-аэропорта. (дата обращения 15.05.2020).

REFERENCES

1. Annual study on Airport and Airline automation. [Electronic resource]. Available at: https://rivc-pulkovo.ru/wpcontent/uploads/2019/02/issledovanie-2018.pdf/. (Accessed 19.05.2020). (In Russian).

2. Golovchenko G.V. *Povyshenie proizvodstvenno-ehkonomicheskikh pokazatelej aviapredpriyatij za schet vnedreniya sovremennykh IT-reshenij. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsyja «Transport Rossii: problemy i perspektivy».* [Improving the production and economic indicators of airlines through the introduction of modern IT solutions. International Scientific and Practical Conference «Transport of Russia: problems and prospects»]. SPb. IPT RAN Publ.. 2017, pp. 197–200, ISBN 978-5-9908209-6-8. (In Russian).

3. Golovchenko G.V. *Issledovanie IT-osnashhennosti rossijskikh aehroportov.* [Research of IT equipment of Russian airports]. ATO Events. Shaping the future of the air transport industry (DASR 2018). 2018. [Electronic resource]. Available at: https://events.ato.ru/events/14398/detail/. (Accessed 11.12.2019). (In Russian).

4. Golovchenko G.V. Automation of airports, designing effective IT solutions. *Zhurnal Assotsiatsii «Aehroport» GA stran SNG = Journal of the Association «Airport» of the CA of UIS countries*. 2017, no. 2 (117), pp. 21–23. (In Russian).

5. Golovchenko G.V. The main trends in the development of IT at airports of the Russian Federation. *Zhurnal Assotsiatsii «Aehroport» GA stran SNG = Journal of the Association «Airport» of the CA of UIS countries.* 2018, no. 1 (120), pp. 15–16. (In Russian).

6. Passenger and baggage check-in system at the airport. [Electronic resource]. Available at: https:// www.sirena-travel. ru/airport-connection.html (accessed 12.05.2020). (In Russian).

7. Digital transformation of airports. [Electronic resource]. Available at: https://dx.media/articles/ direct-speech/tsifrovaya-transformatsiya-aeroportov-kakimi-budut-vozdushnye-gavanibudushchego/. (accessed 19.05.2020). (In Russian).

8. Naumkin A.D. Ways of digital transformation of the processes of interaction between airports and airlines. *Kibernetika i programmirovanie = Cybernetics and Programming,* 2019, no. 4, pp. 15- 25. DOI: 10.25136/2644-5522.2019.4.29966 [Electronic resource]. Available at: https:// nbpublish.com/library_read_ article.php?id=29966. (Accessed 29.01.2020). (In Russian).

9. Grefen, P. Beyond E-Business Towards networked structures. Routledge, New York (2016). 310 p.

10. Airports have different needs when it comes to digital transformation. [Electronic resource]. Available at: https://amadeus.com/ru/статьи/блог/потребности- связанные-с-переходом-на-цифровые-технологии-зависят-от-аэропорта. (дата обращения 15.05.2020).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Головченко Глеб Валентинович, кандидат технических наук, АО «Региональный информационно-вычислительный центр «Пулково», ул. Пилотов, дом 24, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196210; e-mail: g.golovchenko@rivc-pulkovo.ru

Чинючин Юрий Михайлович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей, ФГБОУ ВО

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский бульвар, 20, Москва, Российская Федерация, 125993; e-mail: yu.chinyuchin@mstuca.aero.

Далецкий Станислав Владимирович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: lmcga222@yandex.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Golovchenko Gleb V., Candidate of Technical Sciences, JSC «Regional Information and Computing Center «Pulkovo», Pilotov str., 24, 196210 St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: g.golovchenko@rivc-pulkovo.ru.

Chinyuchin Yuriy M., Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of technical operation of aircraft and aircraft engines, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Kronstadtskiy Parkway, 20, 125493 Moscow, Russian Federation; e-mail: yu.chinyuchin@mstuca.aero.

Daletskiy Stanislav V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: lmcga222@yandex.ru.

УДК 656.7:629.73(470+571)

СТРУКТУРА ПАРКА РЕГИОНАЛЬНЫХ САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕГО ДИНАМИКА НА 2021-2025 гг.

Р.Р. НИЗАМЕТДИНОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Транспортный фактор имеет важное значение в нашей стране с ее огромной территорией и неравномерным размещением ресурсов, населения и основных производственных фондов. Транспорт создает условия для формирования местного и общегосударственного рынков. В условиях перехода к рыночным отношениям роль транспорта существенно возрастает. Авиатранспортная отрасль является одной из самых важных отраслей хозяйства, которая удовлетворяет потребности экономики и населения в перевозках, является крупной составной частью производственной и социальной инфраструктуры, непосредственно влияет на динамичность и эффективность социально-экономического развития регионов и страны в целом. В статье описывается текущее состояние региональной гражданской авиации Российской Федерации. Также приводится описание текущей ситуации и тенденций в сфере эксплуатации региональных и ближнемагистральных самолетов пассажировместимостью от 21 до 140 кресел в Российской Федерации, определяются ключевые драйверы роста рынка региональных и ближнемагистральных самолетов пассажировместимостью от 21 до 140 кресел в Российской Федерации и приводится динамика развития авиатранспортного рынка в России до 2025 года в рассматриваемом сегменте авиаперевозок. Приводятся основные тенденции развития сети субсидируемых маршрутов региональных авиаперевозок.

Ключевые слова: пассажирские авиаперевозки, динамика авиаперевозок, возраст региональных самолетов, парк региональных самолетов, налет часов региональных самолетов, региональная авиация, субсидии на авиаперевозки

THE STRUCTURE OF THE FLEET OF REGIONAL CIVIL AVIATION AIRCRAFT OF THE RUSSIAN FEDERATION AND ITS DYNAMICS FOR 2021-2025

R.R. NIZAMETDINOV

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation

Abstract. The transport factor is important in our country with its vast territory and uneven distribution of resources, population and fixed assets. Transport creates conditions for the formation of local and national markets. In the conditions of transition to market relations, the role of transport is significantly increasing. The air transport industry is one of the most important sectors of the economy, which meets the needs of the economy and the population in transportation, is a major component of the industrial and social infrastructure, directly affects the dynamism and efficiency of socio-economic development of regions and the country as a whole. The article describes the current state of regional civil aviation of the Russian Federation. It also describes the current situation and trends in the field of operation of regional and short-haul aircraft with passenger capacity from 21 to 140 seats in the Russian Federation, identifies the key drivers of growth of the market of regional and short-haul aircraft with passenger capacity from 21 to

140 seats in the Russian Federation and provides the dynamics of the development of the air transport market in Russia until 2025 in this segment of air transportation. The main trends in the development of the network of subsidized routes of regional air transportation are given

Keywords: passenger air transportation, dynamics of air transportation, age of regional aircraft, fleet of regional aircraft, flight hours of regional aircraft, regional aviation, subsidies for air transportation

Введение

В статье представлен анализ рынка региональной гражданской авиации: проведен анализ рынка эксплуатантов региональных и ближнемагистральных самолетов пассажировместимостью 21–140 кресел с учетом действующих в 2020–2021 гг. тенденций.

Под самолетами региональной авиации в настоящей статье понимаются региональные самолеты эксплуатантов гражданской авиации Российской Федерации (ГА РФ) пассажировместимостью от 21 до 85 кресел и ближнемагистральные самолеты от 86 до 140 кресел.

Анализ рынка региональной гражданской авиации содержит информацию о:

– структуре и возрастном составе парка самолетов региональной авиации Российской Федерации по эксплуатируемым типам и классам воздушных судов (с разбивкой на самолеты российского и иностранного производства);

– основных тенденциях развития сети маршрутов региональных авиаперевозок, построении основных маршрутов, объемах авиаперевозок, доли субсидируемых перевозок;

– динамике основных показателей авиатранспортной отрасли за период 2018-2020 гг.;

– основных игроках на рынке региональной авиации;

– рисках, проблемах и основных тенденциях развития авиатранспортной отрасли. Об оценке влияния пандемии на рынок пассажирских воздушных перевозок, прогнозах восстановления рынка после COVID-19;

– динамике основных показателей авиатранспортной отрасли в рассматриваемом сегменте до 2025 года.

Также представлен прогноз развития рынка авиаперевозок в России до 2025 года в сегменте авиаперевозок на региональных и ближнемагистральных самолетах пассажировместимостью от 21 до 140 кресел и прогнозный парк воздушных судов (ВС) с учетом поставок и выбытия ВС.

Структура действующего парка региональных самолетов вместимостью от 21 до 140 кресел

ВС российского производства составляют 60 % парка региональных самолетов от 21 до 140 кресел (рис. 1), при этом в классе региональных ВС от 21 до 85 кресел 42 % самолетов приходится на иностранную авиатехнику и 58 % на российскую, в классе ближнемагистральных ВС от 86 до 140 кресел 38 % самолетов приходится на иностранную авиатехнику и 62 % на российскую [2].

Действующий парк региональных ВС вместимостью от 21 до 140 кресел, эксплуатируемых юридическими лицами – держателями сертификатов коммерческого эксплуатанта (КВП) и выполняющих авиаработы (АР), составляет 457 ед., в т. ч. 228 ед. – региональные самолеты вместимостью от 21 до 85 кресел и 229 ед. – ближнемагистральные самолеты вместимостью от 86 до 140 кресел (рис. 2а и 2б). Наибольшая численность в рассматриваемом классе ВС от 21 до 140 кресел приходится на ВС типов SSJ-100 – 121 ед., АН-24 – 60 ед. и А-319 – 47 ед.

Наибольшее снижение численности парка ВС наблюдается в сегменте региональных самолетов пассажировместимостью от 21 до 85 кресел (с 278 ед. на 01.01.2018 до 228 ед. на 01.01.2021) преимущественно за счет вывода/списания устаревших Ан-24 и Ту-134.

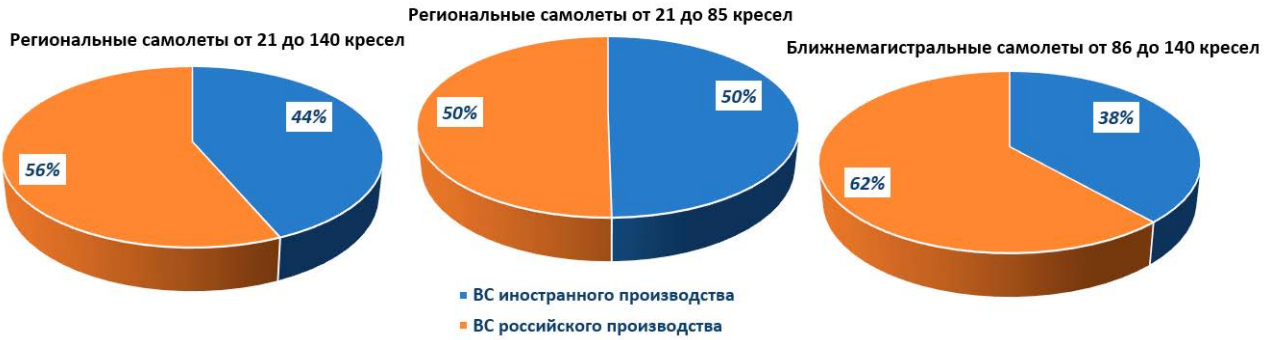


Рис. 1. Структура парка региональных самолетов ГА РФ с разбивкой на самолеты российского и иностранного производства

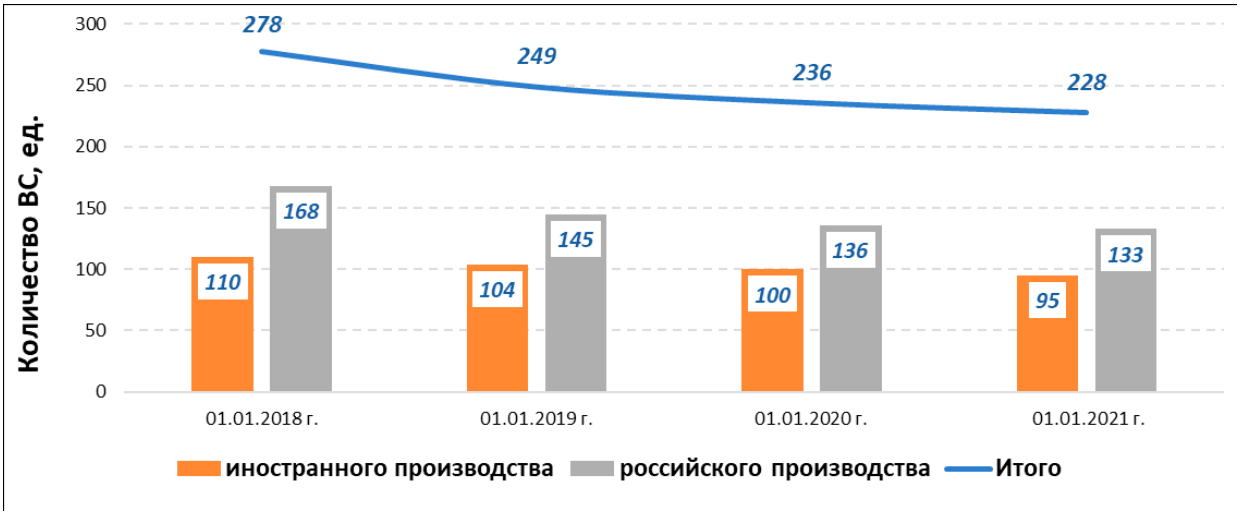


Рис. 2а. Количество региональных самолетов вместимостью от 21 до 85 кресел

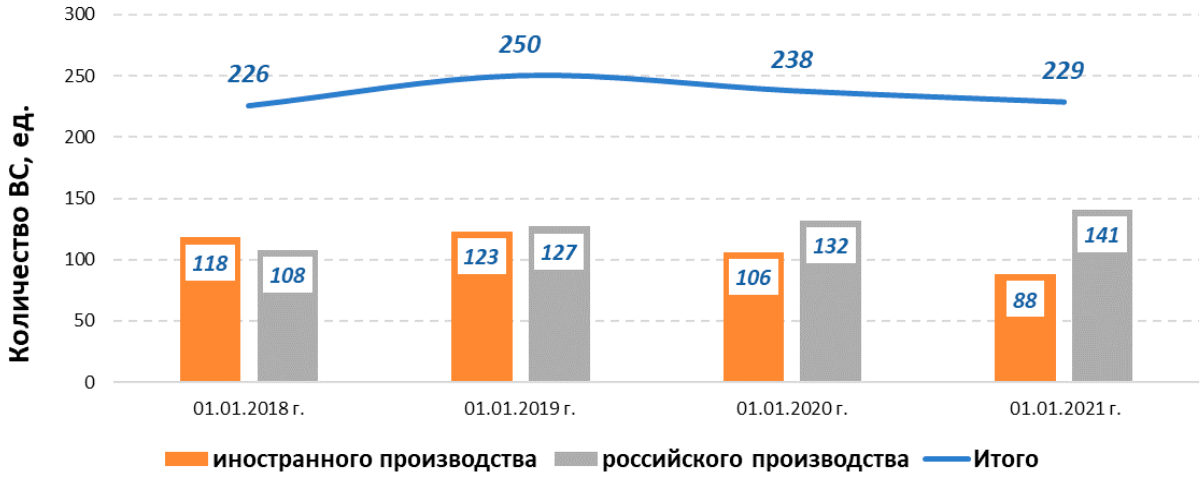


Рис. 2б. Количество ближнемагистральных самолетов вместимостью от 86 до 140 мест

Средний возраст парка ВС в сегменте региональных самолетов вместимостью от 21 до 85 кресел составляет около 35,2 лет. Наибольший возраст в разрезе типов ВС имеет Ан-24 (36,3 лет) [8]. Наиболее «молодым» представителем в парке рассматриваемого сегмента ВС от 21 до 85 кресел является ВС типа Ан-148 со средним возрастом 8,4 лет.

Средний возраст парка ВС в сегменте ближнемагистральных самолетов вместимостью от 86 до 140 кресел составляет около 16,5 лет. Наибольший возраст в разрезе типов ВС имеет Як-42 (29,7 лет).

Наиболее «молодым» представителем в парке рассматриваемого сегмента ВС от 86 до 140 кресел является ВС типа SSJ-100 со средним возрастом 5 лет.

Таким образом, средний возраст парка ВС в сегменте региональных самолетов вместимостью от 21 до 140 кресел составляет в целом около 29,2 лет.

В 2020 году эксплуатантами региональных самолетов пассажировместимостью от 21 до 140 кресел среди российских авиакомпаний было 29 авиапредприятий, наибольшее количество авиакомпаний являются эксплуатантами региональных самолетов пассажировместимостью от 21 до 85 кресел – 23 авиапредприятия, ближнемагистральные самолеты пассажировместимостью от 86 до 140 кресел эксплуатируют 18 авиапредприятий.

Среди эксплуатантов самолетов пассажировместимостью от 21 до 85 кресел по интенсивности эксплуатации авиатехники (на среднесписочное ВС) следует выделить авиакомпании:

– «Сибирь» – 202,1 часов в месяц на EMB-170;
– «ЮВТ АЭРО» – 197 часов в месяц на CRJ-200;
– Авиакомпания «Ютэйр» – 184,5 часа в месяц на ATR 72;
– «РусЛайн» – 138,3 часа в месяц на CRJ-200.

Среди эксплуатантов ближнемагистральных самолетов пассажировместимостью от 86 до 140 кресел по интенсивности эксплуатации авиатехники (на среднесписочное ВС) следует выделить авиакомпании:

– «Уральские Авиалинии» – 303,2 часа в месяц на А-319;
– «АЗИМУТ» – 218,7 часа в месяц на SSJ-100;
– «Россия» – 211,1 часа в месяц на А-319.

Среди эксплуатантов SSJ-100 также следует выделить авиакомпанию «ИрАэро» – 153,2 часа в месяц на среднесписочное ВС и «Якутия» – 95,6 часов в месяц на среднесписочное ВС.

Основные российские авиакомпании, располагающие действующим парком самолетов пассажировместимостью от 21 до 140 кресел, и показатели интенсивности их эксплуатации в 2020 году представлены на рис. 3 [2].

Рис. 3. Основные российские авиакомпании, располагающие действующим парком самолетов пассажировместимостью от 21 до 140 кресел, и показатели интенсивности их эксплуатации в 2020 году

В сегменте региональных самолетов пассажировместимостью 21–85 кресел в период 2018–2019 гг. среднемесячный налет на одно ВС находился в диапазоне 88–89 ч/мес. В 2020 году данный показатель снизился на 17 % и составил 74 ч/мес. на одно ВС.

В сегменте ближнемагистральных самолетов пассажировместимостью 86–140 кресел падение в 2020 году было более значительным (-34 %), среднемесячный налет на одно ВС в 2018–2019 гг. находился на уровне 174–179 ч/мес., в 2020 году снизился до 118 ч/мес. на одно ВС.

Основные тенденции развития сети маршрутов региональных и местных авиаперевозок, построение основных маршрутов, объемы авиаперевозок, доля субсидируемых перевозок

В 2020 году масштабным вызовом для мировой и отечественной экономики и общества стало распространение новой коронавирусной инфекции. Сокращение внешнего и внутреннего спроса на товары и услуги, закрытие границ и снижение производственной активности компаний оказали существенное влияние на производственную деятельность авиатранспортного комплекса. Упал спрос на авиаперевозки, пассажиры при возможности отказывались от полетов.

Объем внутренних авиаперевозок в 2020 году, за исключением маршрутов, пунктом назначения/отправления которых является г. Москва, составил 18,2 млн пассажиров, что всего на 1 млн человек меньше, чем в 2019 году. Значительного сокращения пассажирских перевозок удалось избежать, во многом благодаря программам субсидирования, реализуемым Росавиацией.

Совокупный бюджет программ субсидирования в 2020 году с учетом секвестирования составил 14,5 млрд рублей. Количество перевезенных пассажиров составило более 2,8 млн пассажиров [9].

В перечень субсидируемых региональных маршрутов в 2020 году по Постановлению Правительства Российской Федерации № 1242 [5] включены 389 направлений. Полеты выполняли 23 авиакомпании: АО «Авиакомпания «Ангара», АО «Авиакомпания «Якутия», АО «Авиакомпания АЗИМУТ», АО «Авиационная транспортная компания «Ямал», АО «ЮВТ АЭРО», АО «Авиакомпания «НордСтар», ГУП Оренбургской области «Международный аэропорт «Оренбург», АО Авиационная компания «РусЛайн», ООО «Аэросервис», АО «Авиакомпания «Сибирь», ПАО «Авиакомпания «ЮТэйр», АО «Вологодское авиационное предприятие», ООО «Сибирская Легкая Авиация», АО Авиакомпания «ИрАэро», АО «Авиакомпания «Аврора», АО «КрасАвиа», АО «Костромское авиапредприятие», ЗАО «ЮТэйр», ООО «Авиапредприятие «Северсталь», АО «Нордавиа», АО «2-ой Архангельский объединенный авиаотряд», АО «Авиакомпания «АЛРОСА», АО «Ред Вингс» [6].

В 2020 году размер субсидии на региональные авиаперевозки составил 8,13 млрд рублей, перевезено более 2 млн пассажиров по 262 маршрутам, из которых около 29 % – маршруты из/в Дальневосточный Федеральный округ и Сибирский Федеральный округ. Удельный вес субсидируемых авиаперевозок пассажиров в общем объеме перевезенных пассажиров российскими авиакомпаниями на внутренних авиалиниях на региональных (в т.ч. ближнемагистральных) самолетах с пассажировместимостью от 21 до 140 кресел в 2020 г. составил – 3,2 %.

В 2019 году размер субсидии на региональные авиаперевозки составил около 7,8 млрд рублей, перевезено около 2 млн пассажиров по 197 маршрутам, из которых около 30 % – маршруты из/в Дальневосточный федеральный округ и Сибирский федеральный округ. Удельный вес субсидируемых авиаперевозок пассажиров в общем объеме перевезенных пассажиров российскими авиакомпаниями на внутренних авиалиниях на региональных (в т.ч. ближнемагистральных) самолетах с пассажировместимостью от 21 до 140 кресел в 2019 г. составил – 8,4 %.

В 2018 году размер субсидии на региональные авиаперевозки составил около 2,9 млрд рублей, перевезено более 0,773 млн пассажиров по 175 маршрутов, из которых около 38 % –

маршруты из/в ДФО и СФО. Удельный вес субсидируемых авиаперевозок пассажиров в общем объеме перевезенных пассажиров российскими авиакомпаниями на внутренних авиалиниях на региональных (в том числе ближнемагистральных) самолетах с пассажировместимостью от 21 до 140 кресел в 2018 году составил – 14,7 %.

На 2021 год количество субсидируемых маршрутов составило 326. На круглогодичной основе перевозки выполняют 21 авиакомпания. На реализацию программы субсидирования из федерального бюджета выделено около 7,72 млрд рублей. В приоритетном порядке субсидирование предоставляется при условии выполнения полетов с использованием современных воздушных судов, произведенных на территории РФ после 1 января 2009 года. Около 70 % от общей суммы предоставляемых субсидий используются на маршрутах, заявленных к выполнению на воздушных судах Sukhoi Superjet (SSJ-100).

В отношении объемов субсидирования рассматривается предложение увеличить объемы субсидирования на развитие региональных перевозок на 4,6 млрд рублей ежегодно в 2021–2023 гг.

Основным принципом совершенствования системы мер государственной поддержки региональных авиаперевозок в условиях текущего состояния российского авиатранспортного рынка является сохранение единой стратегии действий, применение единых стандартов ко всем субъектам и участникам авиапроизводства и технологической цепочки авиатранспортного процесса.

Для реализации Стратегии развития региональных авиаперевозок, в обеспечение Указа Президента России от 07.05.2018 № 204 государством и авиабизнесом осуществляются меры по следующим основным направлениям:

– совершенствование и повышение эффективности организации авиатранспортной деятельности авиаперевозчиков;

– модернизация наземной инфраструктуры региональных аэропортов (реконструкция и ремонты аэродромных и аэропортовых комплексов);

– развитие парка воздушных судов авиакомпаний;

– совершенствование механизмов (подготовка необходимых нормативно-правовых актов) стимулирования и бюджетного субсидирования региональных и местных пассажирских авиаперевозок.

На сегодняшний день механизм субсидирования региональных перевозок позволяет авиакомпаниям «раскатать» маршруты, минимизируя риск получения убытков.

Механизм создан для стимулирования авиакомпаний расширять маршрутную сеть в обход Москвы. Бюджетные вливания позволяют перевозчикам избежать убытков в первые годы после открытия новых перспективных направлений, когда спрос на них еще недостаточен для окупаемости перелетов.

Динамика основных показателей авиатранспортной отрасли до 2025 года

Падение пассажирских авиаперевозок в Российской Федерации за 2020 год проходило неравномерно (табл. 1, 2), вследствие этого восстановление пассажирских перевозок, в том числе по рассматриваемому сегменту, будет также неравномерным.

Таблица 1

Динамика пассажирских перевозок в сегменте ВС
пассажировместимостью 20–85 кресел в РФ в 2017–2020 гг. (пасс.)

Динамика пассажирских перевозок в сегменте ВС	Г о д ы			
	2017	2018	2019	2020
АН-24 и АН-26 (пасс. вариант)	881 527	848 000	765 702	484 831
АН-38	1 123	1 000	1 673	1 672

Продолжение таблицы 1

ЯК-40	46 425	73 000	41 951	23 228
EMB120ER	180 818	0		
EMB135	3 013	14 000	4 198	6 643
EMB145	112 791	86 000	47 500	336
CRJ-100	305 938	332 000	322 150	186 012
CRJ-200	1 009 511	1 061 000	960 979	584 872
ATR-42	144 838	173 000	171 822	127 610
ДЭШ-8	12 558	12 000	16 429	2 106
ТУ-134	46 930	31 000	9 376	2 722
АН-148-1	470 555	223 000	213 193	65 783
EMB170	365 718	1 619 000	1 935 505	1 497 443
ДЭШ8-300	113 785	135 000	127 889	85 831
ДЭШ8-400	248 098	214 000	230 469	142 713
ATR 72	795 440	790 000	796 640	714 683
Пассажирские перевозки на парке ВС 20-85 кресел	4 566 909	5 428 000	5 515 897	3 926 485
Темп роста пассажирских перевозок на парке ВС 20–85 кресел		18,9 %	1,6 %	-30,4 %

Таблица 2

Динамика пассажирских перевозок в сегменте ВС пассажировместимостью 86–140 кресел в РФ в 2017–2020 гг. (пасс.)

Тип / класс ВС	Г о д ы			
	2017	2018	2019	2020
ЯК-42	881 288	809 000	537 655	172 757
SSJ-100	2 609 841	4 286 000	5 685 599	4 444 760
А-319	11 987 721	11 369 000	10 226 999	4 278 499
Б-737	1 193 468	1 178 000	1 067 895	696 629
Б737-500	4 969 659	4 401 000	3 630 635	1 510 083
EMB190	325 306	610 000	866 637	190 045
Пассажирские перевозки на парке ВС 86–140 кресел	21 967 283	22 653 000	22 015 420	11 292 773
Темп роста пассажирских перевозок на парке ВС 86–140 кресел		3,1 %	-2,8 %	-48,7 %

Таким образом, можно ожидать реализацию следующего прогнозного сценария восстановления и роста пассажирских авиаперевозок, по сегментам пассажирского рынка, определенным действующим на них парком по пассажировместимости ВС [1, 7]:

– пассажирские региональные (на ВС пассажировместимостью 21–85 кресел) перевозки: 2021 год – восстановительный рост перевозок 11 %, 2022 год – 13,7 %, 2023 год – 13,9, далее в 2024–2025 гг. рост 4,2 %[1] в год;

[1] показатель определен из прогнозов ИКАО по долгосрочным тенденциям роста мирового рынка пассажирских авиаперевозок (4,2 %)

– пассажирские межрегиональные (ближнемагистральные) перевозки на ВС пассажировместимостью 86–140 кресел: 2021 год – восстановительный рост перевозок 10 %, 2022–2024 гг. – восстановительный рост 21 %, 2025 год рост 4,2 % в год.

С учетом вышеизложенного была определена прогнозная динамика роста пассажирских перевозок для каждого из двух рассматриваемых сегментов пассажирского авиатранспортного рынка (для ВС пассажировместимостью 21–85 кресел и ВС пассажиро-вместимостью 86–140 кресел) и далее построен прогноз динамики роста пассажирских перевозок по каждому из рассматриваемых сегментов рынка в ГА России в 2018-2020 гг. [3, 4] (факт) и на 2021–2025 гг. (прогноз) (рис. 4, 5).

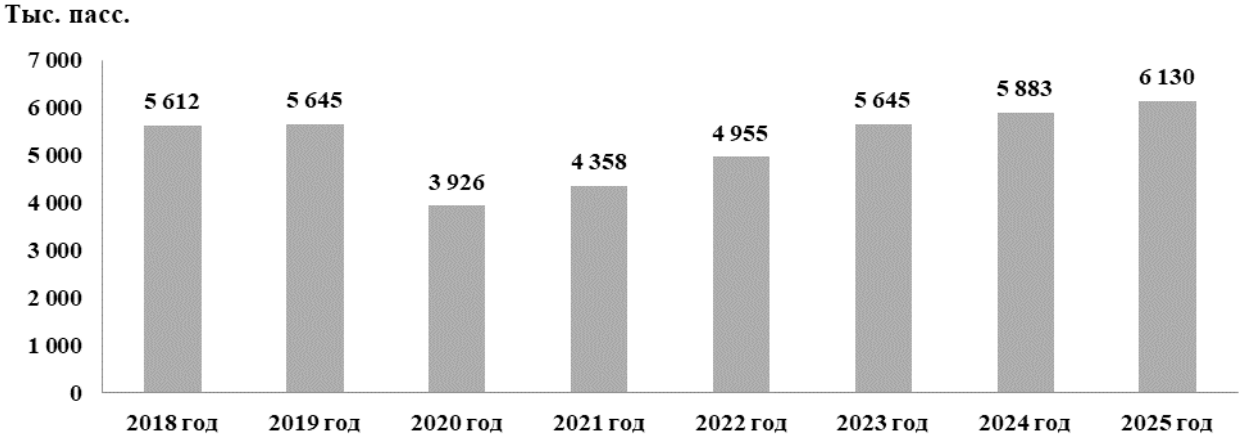


Рис. 4. Динамика роста перевозок пассажиров в РФ (тыс. пасс.) на парке ВС пассажировместимостью 21–85 кресел в 2018–2020 гг. (факт), в 2021–2025 гг. (прогноз)

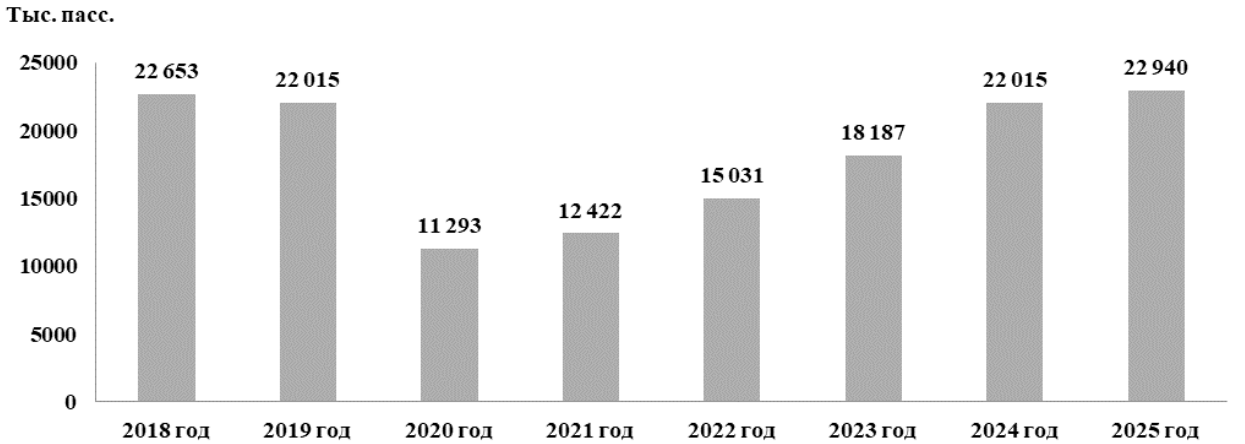


Рис. 5. Динамика роста перевозок пассажиров в РФ (тыс. пасс.) на парке ВС пассажировместимостью 86–140 кресел в 2018–2020 гг. (факт), в 2021–2025 гг. (прогноз)

Рыночный сегмент региональных ВС пассажировместимостью 21–85 мест, по данным Формы-32 ГА на 31.03.2021, обслуживают 226 ВС. В Реестре на 01.01.2021 числятся 547 самолетов. Количество ВС (пассажировместимостью 21–85 мест) в Реестре, возраст

которых старше 30 лет, на 01.01.2021 составляет 385 ед., из которых Ан-24 – 112 ед., Ту-134 – 64 ед., Як-40 – 116 ед. и Ан-26 – 93 ед.

Рыночный сегмент ближнемагистральных ВС пассажировместимостью 86–140 мест, по данным Ф-32 ГА на 31.03.2021, обслуживают 226 ВС. В Реестре на 01.01.2021 числятся 309 самолетов.

Количество ВС (пассажировместимостью 86–140 мест) в Реестре, возраст которых старше 30 лет, на 01.01.2021 составляет 29 ед., из которых 21 ед. – Як-42 и 8 ед. – Б737.

Прогноз необходимого количества ВС в 2021–2025 гг., в прогнозируемом сегменте пассажирских перевозок, определялся на основе темпов роста и динамики пассажирских авиаперевозок, представленных на рис. 4, 5. Прогноз годового количества списываемых ВС определялся с учетом возрастного состава парка по типам ВС и фактических темпов вывода их из коммерческой эксплуатации 2018–2020 гг. в рассматриваемых сегментах авиатранспортного рынка. Зная в каждом прогнозном году необходимое количество ВС (для обеспечения роста/снижения пассажирских авиаперевозок) и количество списываемых ВС, определяем необходимое количество поступающих ВС. Количество вводимых в эксплуатацию новых ВС корректируется с учетом более высокого месячного налета у новых приобретаемых самолетов по отношению к списываемым старым типам ВС.

В табл. 3 построена прогнозная динамика поступления, вывода из эксплуатации и парка региональных ВС пассажировместимостью 21–85 кресел в 2021–2025 гг.

В прогнозе новые ВС начнут поступать в 2023 году. Месячный налет новых ВС будет сопоставим со среднемесячным налетом EMB170 (~ 200 ч/мес.). Под новым ВС подразумеваем ВС Ил-114-300. Также до 2023 года в парк российских авиакомпаний планируются поступления ВС типов EMB170 и ATR-72.

За пять лет количество ВС в сегменте самолетов пассажировместимостью 21–85 кресел увеличится с 228 до 238.

Таблица 3

Динамика поступления, вывода из эксплуатации и парка региональных ВС пассажировместимостью 21–85 кресел в 2021–2025 гг. (ед.)

Наименование	Годы				
	2021	2022	2023	2024	2025
Парк ВС на начало периода (N0), всего	228	223	224	225	231
Выведены из эксплуатации возрастные ВС (Nс)	10	4	13	9	10
Введено в эксплуатацию ВС (Nп)	5	5	14	15	17
Парк ВС на конец периода (Nпарк), всего	223	224	225	231	238

В табл. 4 построена прогнозная динамика поступления, вывода из эксплуатации и парка ближнемагистральных ВС пассажировместимостью 86-140 кресел в 2021–2025 гг. Списывание (выбытие) ВС в прогнозе по ближнемагистральным ВС пассажиро-вместимостью 86–140 кресел в 2021–2025 гг. будут осуществляться за счет ВС Як-42, Б737 и А-319.

Поступления по ближнемагистральным ВС пассажировместимостью 86–140 кресел в 2021–2025 гг. будут осуществляться за счет ВС SSJ-100. За пять лет количество ВС в сегменте самолетов пассажировместимостью 86–140 кресел увеличится с 229 до 303.

Таблица 4

Динамика поступления, вывода из эксплуатации и парка ближнемагистральных ВС пассажировместимостью 86–140 кресел в 2021–2025 гг. (ед.)

Наименование	Г о д ы				
	2021	2022	2023	2024	2025
1	2	3	4	5	6
Парк ВС на начало периода (N0), всего	229	242	257	273	291
Выведены из эксплуатации возрастные ВС (Nс)	18	18	17	12	13
Введено в эксплуатацию ВС (Nп)	31	33	33	30	25
Парк ВС на конец периода (Nпарк), всего	242	257	273	291	303

Выводы

В сегменте ВС пассажировместимостью 21–85 кресел преобладают самолеты российского производства – 58 %. В сегменте 86–140 кресел преобладают также ВС российского производства – 62 %.

Средний возраст парка ВС в сегменте региональных самолетов вместимостью от 21 до 140 кресел составляет в целом около 29,2 лет.

В 2020 году эксплуатантами региональных самолетов пассажировместимостью от 21 до 140 кресел среди российских авиакомпаний было 29 авиапредприятий. Наибольшее количество авиакомпаний являются эксплуатантами региональных самолетов пассажировместимостью от 21 до 85 кресел – 23 авиапредприятия, ближнемагистральные самолеты пассажировместимостью от 86 до 140 кресел эксплуатируют 18 авиапредприятий.

В сегменте региональных самолетов пассажировместимостью 21–85 кресел в 2018–2019 гг. среднемесячный налет на одно ВС находился в диапазоне 88–89 ч/мес. на 1 ВС. В 2020 году данный показатель снизился на 17 % и составил 74 ч/мес. на 1 ВС.

В сегменте ближнемагистральных самолетов пассажировместимостью 86–140 кресел падение в 2020 году было более значительным (–34 %), среднемесячный налет на одно ВС в 2018–2019 гг. находился на уровне 174179 ч/мес. на 1 ВС, в 2020 году снизился до 118 ч/мес. на одно ВС.

Прогнозный сценарий восстановления и роста пассажирских авиаперевозок по рассматриваемым сегментам пассажирского рынка:

• пассажирские региональные (на ВС пассажировместимостью от 21 до 85 кресел) перевозки: 2021 год – восстановительный рост перевозок 11 %, 2022 год – 13,7 %, 2023 год – 13,9 далее в 2024–2025 гг. рост – 4,2 % в год;

• пассажирские межрегиональные (ближнемагистральные) (на ВС пассажировместимостью 86–140 кресел) перевозки: 2021 год – восстановительный рост перевозок 10 %, 2022–2024 гг. – восстановительный рост – 21 %, 2025 год рост – 4,2 % в год.

В 2025 году, с учетом выбытия/списания из эксплуатации и поступления новых ВС, в сегментах:

– региональных ВС пассажировместимостью 21–85 кресел будет эксплуатироваться парк в количестве 238 ВС;

– ближнемагистральных ВС пассажировместимостью 86–140 кресел будет эксплуатироваться парк в количестве 303 ед.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фридлянд А.А., Чубуков А.П. Развитие пассажирских авиаперевозок и динамика макроэкономических процессов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 28. С. 93–102.

2. Форма государственной статистической отчетности 32-ГА: «Сведения о парке воздушных судов» 2018–2020 гг. и 1 кв. 2021 г. Постановление Росстата от 18.07.2007 № 57.

3. Форма государственной статистической отчетности 33-ГА: «Сведения о работе воздушных судов» 2018–2020 гг. и 1 кв. 2021 г. Постановление Росстата от 18.07.2007 № 57.

4. Основные показатели работы гражданской авиации России за январь–декабрь 2019–2020 гг. Новостной интернет ресурс Aviation Explorer. URL: https://www.aex.ru/docs/2/2021/1/28/3193/ (Дата обращения: 05.11.2021).

5. Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2013 г. № 1242 «О предоставлении субсидий из федерального бюджета организациям воздушного транспорта на осуществление региональных воздушных перевозок пассажиров на территории Российской Федерации и формирование региональной маршрутной сети». Правовой интернет ресурс. URL: http://garant.ru

6. Поставки ВС SSJ 100 российским авиакомпаниям. Интернет ресурс URL: http://www.ato.ru/content/red-wings-vvela-v-ekspluataciyu-tri-novyh-superjet-100 (Дата обращения: 05.11.2021).

7. Макроэкономическая информация Минэкономразвития по прогнозу роста экономики Российской Федерации.

8. Данные по действующему парку вертолетов, в т.ч. по видам сертификата (свидетельства) эксплуатанта, из электронной системы «Воздушный транспорт РФ» ИСВТ-3 по разделу «Данные по ВС, включающие технические сведения» за 2020 г.

9. Выступление Руководителя Федерального агентства воздушного транспорта А.В. Нерадько на пленарном заседании форума инфраструктуры гражданской авиации NAIS – 2021. (Дата выступления: 9 февраля 2021).

10. Транспортная стратегия РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

REFERENCES

1. Fridlyand A.A., Chubukov A.P. Development of passenger air transportation and dynamics of macroeconomic processes. Nauchnyj vestnik *GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 28, pp. 93-102. (In Russian).

2. Statistical report № 32-CA: “Information on the fleet of aircraft” 2018–2020 years, 1st quarter 2021. (In Russian). Resolution of Rosstat of 18.07.2007 № 57.

3. Statistical report № 33-CA: “Information on the work of aircraft” 2018–2020 years, 1st quarter 2021. (In Russian). Resolution of Rosstat of 18.07.2007 № 57.

4. Key performance indicators of Russian civil aviation for January-December 2019–2020. Online news resource Aviation Explorer. Available at: https://www.aex.ru/docs/2/2021/1/28/3193/ (accessed 05.11.2021). (In Russian).

5. Resolution of the Government of the Russian Federation of December 25, 2013 № 1242 “On the provision of subsidies from the federal budget to air transport organizations for the implementation of regional air transportation of passengers on the territory of the Russian Federation and the formation of a regional route network.” Legal Internet resource. Available at: http://garant.ru (accessed 05.11.2021). (In Russian).

6. Deliveries of SSJ 100 aircraft to Russian airlines. URL http://www.ato.ru/content/red-wings-vvela-v-ekspluataciyu-tri-novyh-superjet-100 (Accessed: 05.11.2021). (In Russian).

7. Macroeconomic information of the Ministry of Economic Development on the forecast of economic growth of the Russian Federation. (In Russian).

8. Data on the current fleet of aircraft, including by type of certificate (certificate) of the operator, from the electronic system “Air Transport of the Russian Federation” ISVT-3 under the section “Aircraft data, including technical information” for 2020. (In Russian).

9. Speech by the Head of the Federal Air Transport Agency A.V. Neradko at the plenary session of the Civil Aviation Infrastructure Forum NAIS-2021, (Date of performance: February 9, 2021). (In Russian).

10. Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Низаметдинов Руслан Равилевич, ведущий инженер, ФГУП Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: ruslan994@mail.ru.

ABOUT THE AUTHOR

Nizametdinov Ruslan R., Leader Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: ruslan994@mail.ru.

УДК 656.7.052:004.94

ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТРЕНАЖЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА СЛУЖБ ЭРТОС

Э.А. БОЛЕЛОВ[1], С.В. ШАЛУПИН[1], И.Б. ГУБЕРМАН[2]

[1]Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация
[2]Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Обеспечение безопасности полетов является важнейшим направлением деятельности гражданской авиации. Не вызывает сомнения тот факт, что безопасность полетов во многом определяется эксплуатационной надежностью средств радиотехнического обеспечения полетов, которая зависит от качества проведения технического обслуживания и ремонта инженерно-техническим персоналом служб эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС). В свою очередь качество технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения полетов зависит от уровня профессиональной подготовленности инженерно-технического персонала служб ЭРТОС. В целях повышения уровня теоретических знаний, практических умений и навыков эксплуатации и эффективного применения средств радиотехнического обеспечения полетов проводится периодическое повышение квалификации инженерно-технического персонала. Как показал анализ системы повышения квалификации и профессиональной подготовки инженерно-технического персонала служб ЭРТОС в процессе обучения используются в основном традиционные формы и методы обучения. Повысить эффективность и качество системы повышения квалификации и подготовки инженерно-технического персонала можно путем внедрения в образовательный процесс компьютерных тренажерных систем, при этом центральной задачей при разработке таких систем является задача разработки математического обеспечения компьютерной тренажерной системы. Вопросу постановки задачи разработки математического обеспечения компьютерной тренажерной системы посвящена данная работа.

Ключевые слова: радиотехническое обеспечение полетов, компьютерная тренажерная система, повышение квалификации, безопасность полетов, математическое обеспечение, инженерно-технический персонал

THE TASK OF DEVELOPING MATHEMATICAL SUPPORT FOR A COMPUTER SIMULATOR SYSTEM FOR ENGINEERING AND TECHNICAL PERSONNEL OF THE RADIO EQUIPMENT AND COMMUNICATION MAINTENANCE SERVICES

E.A. BOLELOV[1], S.V. SHALUPIN[1], I.B. GUBERMAN[2]

[1]Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation
[2]The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation

Abstract. Ensuring flight safety is the most important activity of civil aviation. There is no doubt that flight safety is largely determined by the operational reliability of flight radio equipment, which depends on the quality of maintenance and repair by the engineering and technical personnel of the radio equipment and

communication maintenance services (RECMS). In turn, the quality of maintenance and repair of flight radio equipment depends on the level of professional training of engineering and technical personnel of the RECMS. In order to increase the level of theoretical knowledge, practical skills and skills of operation and effective use of flight radio equipment, periodic professional development of engineering and technical personnel is carried out. As the analysis of the system of advanced training and professional training of engineering and technical personnel of the RECMS has shown, traditional forms and methods of training are mainly used in the training process. It is possible to increase the efficiency and quality of the system of advanced training and training of engineering and technical personnel by introducing computer simulator systems into the educational process, while the central task in the development of such systems is the task of developing mathematical support for a computer simulator system. This work is devoted to the problem of setting the task of developing mathematical support for a computer simulator system.

Keywords: radio engineering support of flights, computer simulator system, advanced training, flight safety, mathematical support, engineering and technical personnel

Введение

Возможности современных средств радиотехнического обеспечения полетов (РТОП), основу которых составляют весьма совершенные системы наблюдения, радионавигации и посадки, системы связи и передачи данных, во многом зависят от качества их технического обслуживания. Техническое обслуживание (ТО) объектов РТОП включает в себя: оперативные формы обслуживания; периодические формы обслуживания; регламентные работы и летные проверки [1]. Качество выполнения работ по ТО и их оперативность напрямую зависят от уровня квалификации инженерно-технического персонала (ИТП) служб ЭРТОС.

Анализ причин инцидентов при аэронавигационном обеспечении полетов показал, что по причинам, связанным с РТОП, происходят от четырех до 10 % авиационных происшествий (АП). Детальный анализ причин АП по причинам РТОП позволяет говорить о том, что около 20 % АП происходят вследствие неграмотных действий ИТП служб ЭРТОС. Кроме этого, до 10 % АП происходят по причине невыполнения требований ФАП и 20 % – вследствие неоказания специалистами ЭРТОС помощи диспетчеру УВД при сбоях в работе средств РТОП. Таким образом, практически половина АП, связанных с РТОП, происходит, так или иначе, по причинам, связанным с недостаточной профессиональной подготовкой ИТП ЭРТОС.

В целях повышения уровня профессиональной подготовки ИТП ЭРТОС проводится повышение квалификации (ПК) ИТП ЭРТОС, направленное на обучение ИТП эксплуатации и эффективному применению средств РТОП [2]. Повышение квалификации ИТП ЭРТОС – одна из важнейших составляющих технической эксплуатации объектов РТОП, которая имеет целью обновление теоретических знаний и совершенствование практических навыков и умений эксплуатации объектов РТОП в соответствии с функциональными обязанностями ИТП. Особенностями существующей системы ПК ИТП ЭРТОС является то, что в ней по-прежнему основными средствами обучения являются стенды, технические системы обучения (интерактивные доски, проекторы и т.д.), макеты различных изделий объектов РТОП, которые не дают возможности представить свойства и особенности функционирования объектов РТОП в динамике и тем более не позволяют проводить обучение ИТП проведению различных видов ТО и ремонта конкретных объектов РТОП. Наиболее существенной причиной, влияющей на эффективность системы ПК ИТП ЭРТОС, следует считать недостаточную индивидуализацию обучения [3].

Таким образом, эффективность и качество ПК ИТП ЭРТОС зависят от используемых форм и методов обучения, которые должны учитывать постоянную модернизацию техники, возрастающую сложность оборудования объектов РТОП, формы СТО по состоянию.

Система ПК ИТП ЭРТОС требует широкого внедрения современных средств, а также перспективных методов и форм обучения, направленных на развитие продуктивного мышления, индивидуализацию процесса обучения и его интенсификацию. Недостатки современной системы ПК ИТП ЭРТОС могут быть устранены или существенно уменьшены путем внедрения в практику компьютерных тренажерных систем (КТС).

В настоящее время уже накоплен определенный опыт создания и применения КТС для летного состава и авиационного персонала [4–12]. Например, широко используется в учебном процессе МГТУ ГА и его филиалов КТС для авиационного персонала, а именно, процедурные тренажеры самолетов А320 и Boeing 747. Современными КТС оснащаются авиационные учебные центры авиакомпаний. Однако, несмотря на имеющийся опыт создания и применения КТС, практически не существует КТС для обучения ИТП ЭРТОС. На сегодняшний день авторам известна только одна КТС производства фирмы НИТА, позволяющая проводить обучение в том числе и ИТП ЭРТОС, но ее возможности в этом крайне ограничены.

Таким образом, актуальной является задача разработки и внедрения КТС для обучения ИТП служб ЭРТОС. При этом узловой задачей является задача разработки математического обеспечения КТС, решение которой должно обеспечивать улучшение показателей эффективности СТО объектов РТОП. Рассмотрим постановку задачи разработки математического обеспечения КТС для ИТП ЭРТОС.

Постановка задачи разработки математического обеспечения компьютерного тренажера

Пусть СТО объекта РТОП характеризуется вектором показателей эффективности $\boldsymbol{W}$:

$$\boldsymbol{W} = [W_1,...W_n]. \quad (1)$$

Обозначим через $\boldsymbol{R}$ вектор показателей качества, определяемый как:

$$\boldsymbol{R} = \mathrm{R}\,(\boldsymbol{Y}, \boldsymbol{Z}\,(I)\,), \quad (2)$$

где $\boldsymbol{Y}$ – вектор характеристик объекта РТОП, $\boldsymbol{Z}\,(I)$ – вектор характеристик выполнения работ по ТО объекта РТОП (заданное время выполнения работ по ТО, время восстановления, качество выполнения указанных работ и т.д).

Вектор $\boldsymbol{Z}\,(I)$ зависит от уровня профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС – I. В свою очередь уровень профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС – J зависит от его информированности в профессиональной области деятельности, а также от оператора преобразования этой информированности в умения и навыки – γ. Под информированностью ИТП J будем понимать всю совокупность сведений об объекте РТОП, необходимых при его ТО. Под оператором γ будем понимать все средства, которые используются для преобразования информированности J в навыки и умения, необходимые для быстрого и качественного выполнения работ по ТО.

С учетом сказанного уровень профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС определяется выражением:

$$I = I\,(\gamma, J). \quad (3)$$

При возникновении отказов в объекте РТОП ИТП ЭРТОС должен проводить работы по его восстановлению. При выполнении работ по восстановлению объекта РТОП первой является задача анализа объекта РТОП, как объекта диагностирования. Объект РТОП является сложной технической системой [10] и обладает рядом отличительных особенностей при представлении

его в качестве объекта диагностирования. Для обеспечения анализа качества функционирования объекта РТОП используется диагностическая модель (ДМ) ψ. ДМ ψ позволяет анализировать техническое состояние (ТС) объекта и обеспечивать определенную глубину поиска места отказа. Вывод о том, что ТС объекта РТОП принадлежит классу неработоспособных, принимается в том случае, если один или несколько диагностических параметров B не принадлежит области допустимых значений.

Таким образом, принятая ДМ объекта РТОП и используемый набор диагностических параметров B оказывает существенное влияние на уровень информированности ИТП ЭРТОС и определяется как

$$J = J(\psi, B) \tag{4}$$

при этом набор диагностических параметров B принадлежит вектору характеристик объекта РТОП $\boldsymbol{Y}$ при заданном алфавите отказов $F: B = \{B \subset \boldsymbol{Y} | F\}$.

Под алфавитом отказов понимается перечень неисправностей, возникающих в объекте РТОП, которые необходимо распознать при восстановлении на заданном уровне.

Таким образом, вектор показателей $\boldsymbol{W}$ функционально зависит от вектора характеристик выполнения работ по ТО при условии, что вектор характеристик объекта РТОП $\boldsymbol{Y}$ и вектор показателей качества $\boldsymbol{R}$ задан:

$$\boldsymbol{W} = f(Z|\boldsymbol{Y},\boldsymbol{R}). \tag{5}$$

Область Ω всех возможных ТС объекта РТОП подразделяется на две подобласти классов K_n:

$$\Omega_1 = \bigcup_{n=1}^{N} K_n \in \Omega, \tag{6}$$

$$\Omega_2 = \bigcup_{n=N+1}^{M} K_n \in \Omega. \tag{7}$$

где: K_n – класс технических состояний;

Ω_1 – подобласть ТС, при нахождении в которой объект РТОП считается работоспособным;

Ω_2 – подобласть ТС, при нахождении в которой объект РТОП считается неработоспособным, причем $\Omega_1 \cup \Omega_2 = \Omega$, $\Omega_1 \cap \Omega_2 = \emptyset$.

При диагностировании важнейшей характеристикой является достоверность оценки S текущего ТС. На качество оценки ТС влияет принятая диагностическая модель ДМ объекта РТОП – ДМ ψ, используемый набор диагностических параметров B, определенный для данного уровня восстановления алфавит отказов F и уровень профессиональной подготовленности ИТП – I:

$$S^* = S(\psi, B, F, I). \tag{8}$$

Тогда качество оценки S текущего ТС можно определить как достоверность, равную вероятности того, что оценка ТС принадлежит n-ному классу, при условии, что реально имеет место n-й класс: $D_i = P\{S^* \in K_n | K_n\},\ n = 1, \ldots, M$.

Задача разработки математического обеспечения компьютерного тренажера может быть сформулирована следующим образом: требуется определить такую диагностическую модель ψ^*, набор диагностических параметров B^*, алфавит отказов F^* и оператора γ^*, при которых достоверность оценки технического состояния D^* будет выше той достоверности, которая имеется при существующих ψ, B, F и операторе γ:

$$D(\Psi^*, B^*, F^*, \gamma^*) > D(\Psi, B, F, \gamma). \quad (9)$$

Очевидно, что решение задачи в постановке (9) разбивается на несколько этапов.

Этап 1. Разработка элементов математического обеспечения КТС ИТП ЭРТОС. На данном этапе требуется определить:

– алфавит отказов F^*, определяемый, исходя из конструктивного построения объекта РТОП, уровня восстановления и требуемой глубины диагностирования;

– диагностическую модель ψ^* объекта РТОП, в которой учтены все возникающие неисправности в соответствии с алфавитом F^*;

– набор диагностических параметров B^*, который применим к обработке на уровне эксплуатирующего подразделения (база ЭРТОС) и позволяет однозначно идентифицировать выделенные отказы.

Необходимо отметить, что КТС может быть рассчитана на отдельный объект РТОП или их совокупность. В таком случае определение диагностической модели ψ^*, набора диагностических параметров B^* и алфавита отказов F^* нужно проводить для каждого объекта РТОП, включенного в КТС.

Этап 2. Проверка того, что в качестве оператора γ использование КТС более предпочтительно. Данный этап заключается в формировании оператора γ^* и его анализе. Этап подразумевает проведение эксперимента по оценке эффективности использования КТС. Сущность эксперимента заключается в сравнении уровня обученности и устойчивости приобретенных знаний у ИТП ЭРТОС при использовании КТС с уровнем обученности при применении традиционных средств обучения.

Этап 3. Оценка влияния подготовленности ИТП ЭРТОС на выходные показатели СТО. Этот этап является важнейшим, т.к. на нем проводится качественная и количественная оценка влияния уровня профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС на показатели СТО при использовании КТС. На данном этапе необходимо разработать статистическую имитационную модель СТО с учетом уровня профессиональной подготовленности ИТП ЭРТОС, с помощью которой требуется оценить влияние уровня профессиональной подготовленности ИТП на показатели эффективности СТО.

Обобщенная структура математического обеспечения компьютерного тренажера

На рис. 1 представлена обобщенная структура математического обеспечения КТС для ИТП ЭРТОС. Из анализа процесса эксплуатации объектов РТОП следует, что при выполнении различных видов работ по ТО ИТП сталкивается с ситуацией, когда оборудование может находиться как в подпространстве работоспособных технических состояний – Ω_1, так и неработоспособных – Ω_2. Выполняя тот или иной вид работ, специалист ИТП ЭРТОС должен знать и уметь выполнять в установленной последовательности заданный перечень операций ТО, знать и умело обрабатывать установленный набор контролируемых параметров, необходимый при оценке ТС объекта РТОП. В случае, если в результате оценки ТС принадлежит к классу неработоспособных, то выполняются восстановительные работы. Процесс восстановления включает в себя поиск места отказа и его непосредственное устранение. В зависимости от уровня информированности ИТП устранение одной и той же неисправности может быть произведено различными способами, каждому из которых соответствует своя трудоемкость. При диагностировании ТС объекта РТОП на уровень информированности ИТП существенное влияние оказывает используемая диагностическая модель объекта, набор диагностических параметров и имеющийся алфавит отказов, определяемый исходя из требуемой глубины контроля.

Таким образом, из изложенного вытекает, что структуру математического обеспечения КТС ИТП ЭРТОС целесообразно представить в виде двух взаимосвязанных частей (рис. 1).

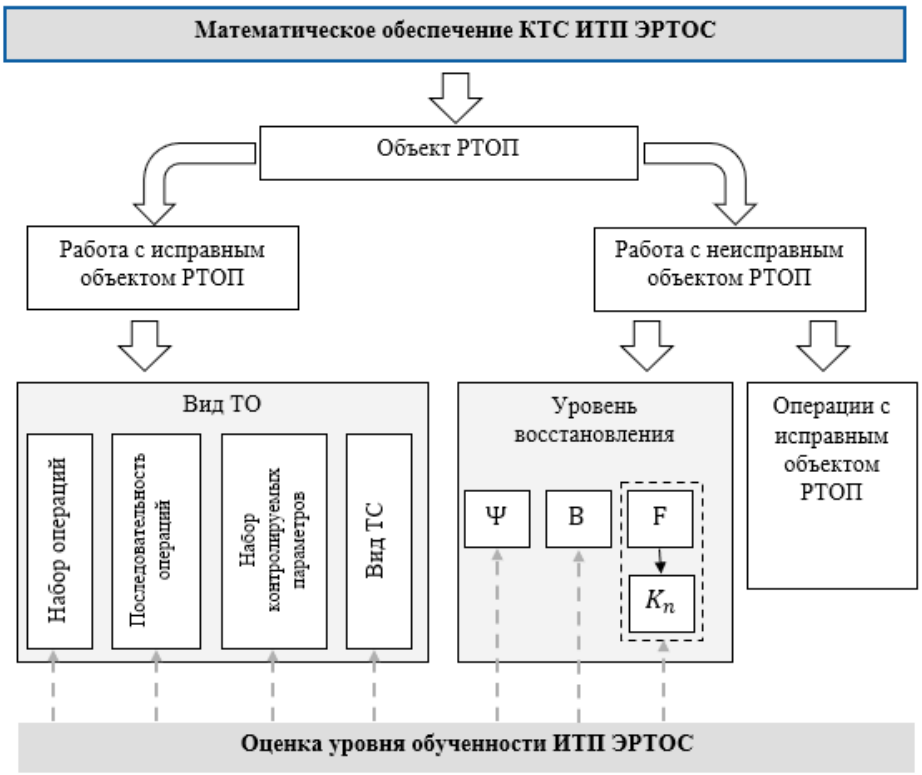


Рис. 1. Обобщенная структура математического обеспечения КТС ИТП ЭРТОС

Первая часть обеспечивает обучение ИТП ЭРТОС при работе с исправным оборудованием. Элементами этой части являются виды работ (ТО), набор и последовательность выполняемых операций, набор контролируемых параметров, вид ТС.

Во вторую часть, при работе с неисправным оборудованием, помимо элементов первой части, дополнительно включаются такие элементы, как алфавит отказов F, диагностическая модель (ДМ) ψ, набор диагностических параметров (ДП) B.

При этом необходимо отметить, что при разработке указанных элементов математического обеспечения, требования, предъявляемые к ним, будут определяться в зависимости от того, какие работы и на каком уровне, а, соответственно, и кем они будут проводиться. Работы по ТО осуществляются ИТП на уровне эксплуатирующего подразделения (база ЭРТОС), ремонтные работы проводятся либо на уровне эксплуатирующего подразделения, либо на уровне ремонтных подразделений. Так, оперативным видам ТО соответствует определенный набор выполняемых операций, указанный в регламенте технического обслуживания объекта РТОП. Последовательность этих операций строго определена и указана в технологической карте на данный вид ТО. Периодическим видам ТО соответствует свой набор и последовательность выполняемых операций [1].

Для оценки технического состояния объекта РТОП при контроле работоспособности ИТП должен знать и уметь проверять определенный набор контролируемых параметров.

В случае неработоспособного состояния объекта РТОП проводятся восстановительные работы. В зависимости от того, на каком уровне проводится устранение неисправности и диагностика места отказа, определяется алфавит отказов, соответствующий классам

неработоспособных ТС. Например, на уровне эксплуатирующего подразделения устранение неисправности проводится путем замены неисправного КСМ или блока на исправный. Поэтому для этого уровня алфавит отказов будет определяться, исходя из конструктивного разбиения системы или комплекса до КСМ или блока. В соответствии с этим должна быть разработана диагностическая модель, которая позволит определить все неисправности из заданного алфавита.

Определение принадлежности к тому или иному классу неработоспособных ТС приводится на основе выбранной совокупности диагностических параметров, к которой также предъявляются требования, определяемые уровнем восстановления и эксплуатационными особенностями оборудования.

Также в структуру математического обеспечения КТС входит такой элемент, как оценка уровня обученности специалиста ИТП. Этот элемент в зависимости от этапа будет иметь свои особенности (в частности, по характеру вопросов, по характеру запоминаемой информации), но принципы подхода к оценке уровня обученности будут одинаковыми.

Компьютерная тренажерная система ИТП ЭРТОС, по сути, является одним из видов сквозных цифровых технологий – цифровым двойником [13].

В рамках проведенных исследований вопросы метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений разработки, производства и эксплуатации КТС ИТП ЭРТОС (в части моделирования контролируемых/диагностируемых параметров объектов РТОП) не рассматривались, что не исключает возникновения метрологических рисков негативных ситуаций в процессе ее эксплуатации [14]. Поэтому в дальнейшем – до начала применения в практике авиационной деятельности – следует решить метрологические аспекты эксплуатации КТС ИТП ЭРТОС согласно [15]. Одновременно встроенное программное обеспечение КТС ИТП ЭРТОС должно будет пройти сертификацию, аттестацию или тестирование как программное обеспечение, применяемое при измерениях [16,17].

Выводы

Качество ПК ИТП ЭРТОС определяется используемыми формами, методами обучения и техническими средствами обучения. Формы и методы обучения должны учитывать постоянную модернизацию техники, возрастающую сложность оборудования объектов РТОП и формы их технического обслуживания. В качестве технических средств обучения целесообразно использовать КТС. В настоящее время, несмотря на имеющийся обширный опыт создания КТС, практически не существует КТС для обучения ИТП ЭРТОС. В рамках разработки и внедрения КТС ИТП ЭРТОС практически важной и актуальной является задача разработки математического обеспечения КТС.

Следует отметить, что КТС ИТП ЭРТОС, по сути, является одним из видов сквозных цифровых технологий – цифровым двойником объекта РТОП. В рамках настоящей статьи не рассматривались вопросы метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений разработки, производства и эксплуатации КТС ИТП ЭРТОС. Однако, следует отметить, что в процессе эксплуатации КТС ИТП ЭРТОС возможно возникновение метрологических рисков. Поэтому в дальнейшем в ходе исследований будут прорабатываться вопросы, связанные с метрологическими аспектами эксплуатации КТС ИТП ЭРТОС и его программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации: Федеральные авиационные правила, утверждены приказом Минтранса РФ от 20.10.2014, № 297.

2. Положение по организации дополнительного профессионального образования и профессионального обучения работников ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», утверждено приказом Генерального директора ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» от 26.11.2014, № 647.

3. Щёголев В.Н., Гевак Н.В. К оценке влияния уровня профессиональной подготовленности инженерно-технического состава на показатели эффективности системы технической эксплуатации и ремонта // Научный вестник МГТУ ГА. 2006. № 93.

4. Айдаркин Д.В. Разработка и применение автоматизированных систем для профессиональной подготовки летного состава гражданской авиации: монография / Д.В. Айдаркин. Ульяновск: УВАУ ГА, 2014. 111 с.

5. Аксенов В.Д. Систематизация требований и классификация технических средств подготовки и обучения авиационных специалистов // Тренажерные технологии и обучение: новые подходы и задачи. Сборник статей международной конференции. М.: ЦАГИ, 2003. С. 32–38.

6. Башмаков А.И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А. И. Башмаков. М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», 2003. 616 с.

7. Боднер В.А. Авиационные тренажеры / В.А. Боднер, Р.А. Закиров, И.И. Смирнова. М.: Машиностроение, 1978. 192 с.

8. Воскобоев В.Ф., Мельник П.Б. О выборе диагностических параметров радиоэлектронных комплексов летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА. 1999. № 19.

9. Зубов Н.П. Применение тренажерных систем, реализующих активные методы профессиональной подготовки: проблемы и пути их решения / Н.П.Зубов, Н.О.Кобельков // Тренажерные технологии и обучение: новые подходы и задачи: сборник статей международной конференции. М.: ЦАГИ, 2003. С. 115–124.

10. Красовский А. А. Основы теории авиационных тренажёров. М.: Машиностроение, 1995. 304 с.

11. Красовский А.А. Математическое моделирование и компьютерные системы обучения и тренажа // Тр. ВВИА им. Н.Е. Жуковского. М., 1989. 255с.

12. Тренажерные комплексы и тренажеры: технологии разработки и опыт эксплуатации /В.Е. Шукшунов и др.; под ред. проф. В.Е. Шукшунова. М.: Машиностроение, 2005. 383 с.

13. Богоявленский А.А. Роль метрологической деятельности в условиях инновационного развития России // Мир измерений. 2021. № 1. С. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2021-1-22-26.

14. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности. // Мир измерений. 2013. № 10. С. 3-7. DOI 10.35400/1813-8667-2013-10-3-7.

15. Богоявленский А.А., Ермолаева О.Л. Об организации и проведении работ по обеспечению единства измерений на воздушном транспорте. // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2012. № 2 (№ 313). С. 24–29.

16. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Аттестация программного обеспечения специальных СИ на воздушном транспорте // Мир измерений. 2012. № 11. С. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2012-11-14-22.

17. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Ермолаева О.Л., Матюхин К.Е. О сертификации программного обеспечения средств измерений и информационно-измерительных систем, применяемых в гражданской авиации // Труды ГосНИИ ГА. 2010. Вып. 311. С. 86–90.

REFERENCES

1. Radio engineering support of aircraft flights and aviation telecommunications in civil aviation. Federalt Aviation Regulations, approved by Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation from 20.10.2014 no. 297. (In Russian).

2. The regulations on the organization of additional professional education and vocational training of employees of FSUE «State ATM Corporation», approved by Order of the Director General of FSUE «State ATM Corporation» No. 647 from 26.11.2014 no. 647. (In Russian).

3. Shchegolev V.N., Gevak N.V. To assess the impact of the level of professional preparedness of engineering and technical personnel on the performance indicators of the system of technical operation and repair. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2006, no. 93. (In Russian).

4. Aidarkin D.V. *Razrabotka i primenenie avtomatizirovannykh sistem dlya professional'noj podgotovki letnogo sostava grazhdanskoj aviatsii. Monografiya* [Development and application of automated systems for professional training of civil aviation flight personnel. Monograph]. D.V. Aidarkin. Ulyanovsk. UVAU GA Publ., 2016, 111 p. (In Russian).

5. Aksenov V.D. Systematization of requirements and classification of technical means of training and training of aviation specialists. *Trenazhernye tekhnologii i obuchenie: novye podkhody i zadachi. Sbornik statej mezhdunarodnoj konferentsii* [Simulator technologies and training: new approaches and tasks. Collection of articles of the international conference]. Moscow. TsAGI Publ., 2003, pp. 32–38. (In Russian).

6. Bashmakov A.I. *Razrabotka komp'yuternykh uchebnikov i obuchayushchikh sistem* [Development of computer textbooks and training systems]. A.I.Bashmakov. Moscow. Filin Publ., 2003, 616 p. (In Russian).

7. Bodner V.A. *Aviatsionnye trenazhery* [Aviation simulators]. V.A. Bodner, R.A. Zakirov, I. I. Smirnova. Moscow. Mashinostroenie Publ., 1978, 192 p. (In Russian).

8. Voskoboev V.F., Melnik P.B. On the choice of diagnostic parameters of radio-electronic complexes of aircraft. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA*, 1999, no. 19. (In Russian).

9. Zubov N.P. The use of simulator systems implementing active methods of professional training: problems and ways to solve them. N.P.Zubov, N.O.Kobelkov. *Trenazhernye tekhnologii i obuchenie: novye podkhody i zadachi. Sbornik statej mezhdunarodnoj konferentsii* [Simulator technologies and training: new approaches and tasks. Collection of articles of the international conference]. Moscow. TsAGI Publ., 2003, pp. 115–124. (In Russian).

10. Krasovsky A. A. *Osnovy teorii aviatsionnykh trenazherov* [Fundamentals of the theory of aviation simulators]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 1995, 304 p. (In Russian).

11. Krasovsky A.A. Mathematical modeling and computer systems of training and coaching. *Trudy VVIA im. N.E. Zhukovsky = Works of VVIA named after N.E. Zhukovsky*. 1989, 255 p. (In Russian).

12. *Trenazhernye kompleksy i trenazhery: tekhnologii razrabotki i opyt ekspluatatsii* [Training complexes and simulators: development technologies and operational experience]. V.E. Shukshunov et al.; edited by prof. V.E. Shukshunov. Moscow. Mashinostroenie Publ., 2005, 383 p. (In Russian).

13. Bogoyavlenskij A.A. The role of metrological activity in the conditions of innovative development of Russia. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2021, no.1, pp. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2021-1-22-26. (In Russian).

14. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E. Setting the task of developing methods for managing metrological risks of negative situations in aviation activities. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2013, no.10, pp. 3–7. DOI 10.35400/1813-8667-2013-10-3-7. (In Russian).

15. Bogoyavlenskiy A.A., Ermolaeva O.L. On the organization and conduct of work to ensure the uniformity of measurements in air transport. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2012, no. 2, pp. 24–29. (In Russian).

16. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E. Certification of software for special measuring instruments in air transport. *Mir izmerenij = Measurement world*, 2012, no. 11, pp. 14–22. DOI 10.35400/1813-8667-2012-11-14-22. (In Russian).

17. Bogoyavlenskiy A.A., Bokov A.E. Ermolaeva O.L., Matyuhin K.E. On certification of software for measuring instruments and information-measuring systems used in civil aviation. *Trudy GosNII GA = Proceedings of GosNII GA*, 2010, no. 311, pp. 86–90. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Болелов Эдуард Анатольевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта», Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский бульвар, 20, Москва, Российская Федерация, 125993; e-mail: e.bolelov@mstuca.aero.

Шалупин Степан Владимирович, соискатель кафедры «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта», Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский бульвар, 20, Москва, Российская Федерация, 125993; e-mail: step13w@mail.ru.

Губерман Игорь Борисович, кандидат технических наук, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, ул. Михалковская, 67, корпус 1, Москва, Российская Федерация, 125438; e-mail: guberman1904@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Bolelov Eduard A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technical Operation of Radio Electronic Equipment of Air Transport, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Kronshtadtsky Blvd., 20, 125993 Moscow, Russian Federation; e-mail: e.bolelov@mstuca.aero.

Shalupin Stepan V., Candidate of the Department of Technical Operation of Radio Electronic Equipment of Air Transport, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Kronshtadtsky Blvd., 20, 125993 Moscow, Russian Federation; e-mail: step13w@mail.ru.

Guberman Igor B., Candidate of Technical Sciences, Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation; e-mail: guberman@mail.ru.

УДК 351.814.2: 629.735.33

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ САМОЛЕТА ДЛЯ МЕСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ С ПОДДЕРЖКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ СТАНДАРТОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ MSG-3

А.А. КУЛЕШОВ

АО «Научно-производственное предприятие «Аэросила», г. Ступино, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. Эффективность функционирования системы управления безопасностью полетов связана с полнотой определения факторов опасности авиационной деятельности, точностью вероятностных оценок наступления опасных событий и расчета факторов риска. Для обеспечения приемлемого уровня безопасности полетов требуется управлять рисками, постоянно снижая вероятность их наступления. Источником данных, которые позволяют управлять рисками, являются данные полетной информации и контролируемых параметров технического состояния воздушного судна. При проектировании самолетов для местных воздушных линий особенно актуально определение состава контролируемых параметров о техническом состоянии ВС, его двигателей и функциональных систем. В связи с более жесткими ограничениями по весу для самолетов местных воздушных линий актуальным является выбор параметров контроля, которые наиболее значимо влияют на оценку технического состояния воздушного судна и систему управления безопасностью полетов. Одним из методов выбора таких параметров контроля может быть MSG-3 анализ. Технология MSG-3 анализа позволяет определять важные для технического обслуживания элементы функциональных систем и важные структурные элементы конструкции планера для последующего включения в систему непрерывного мониторинга системой встроенного контроля, с дальнейшим использованием в качестве критериев оценки и управления рисками для безопасности полета, при условии технической реализуемости контроля и передачи параметров технического состояния.

Ключевые слова: безопасность полетов, отказ, скрытый отказ, неисправность, система управления безопасностью полетов, встроенная техническая диагностика, сертификация, верификация, летная годность, программа технического обслуживания

THE TASK OF FLIGHT SAFETY MANAGEMENT SYSTEM FOR REGIONAL AIRCRAFT WITH SUPPORT BY MSG-3 SCHEDULE MAINTENANCE STANDARD

A.A. KULESHOV

SPE “Aerosila”, Stupino, Moscow Region, Russian Federation

Abstract. The effectiveness of the flight safety management system is related to the completeness of the definition of aviation hazard factors, the accuracy of probabilistic estimates of the occurrence of dangerous events and the calculation of risk factors. To ensure an acceptable level of flight safety, it is necessary to manage risks, constantly reducing the likelihood of their occurrence. The source of data that allows you to manage risks is the data of flight information and controlled parameters of the technical condition of the aircraft. When designing aircraft for local air lines, it is especially important to determine the composition of controlled parameters about the technical condition

of the aircraft, its engines and functional systems. Due to stricter weight restrictions for aircraft of local air lines, it is relevant to choose the control parameters that most significantly affect the assessment and management of flight safety. The MSG-3 analysis process can be used as one of the methods for selecting such parameters. The MSG-3 analysis technology makes it possible to determine the elements of functional systems and important structural elements of the airframe design that are important for maintenance for inclusion in the continuous monitoring system through integrated control systems with further use as criteria for assessing and managing risks for flight safety, subject to the technical feasibility of monitoring and transmission of technical condition parameters.

Keywords: flight safety, failure, hidden failure, malfunction, flight safety management system, integrated technical diagnostics, certification, verification, airworthiness, maintenance program

Введение

В последние годы в России ведутся масштабные разработки самолетов для местных воздушных линий (далее – самолет МВЛ, СМВЛ). Это связано, прежде всего, с необходимостью интегрировать удаленные районы России в единую экономическую систему, создав необходимую транспортную инфраструктуру, а также решить целый ряд социальных задач обеспечения проживания населения удаленных районов.

Перевозки на трассах местных воздушных линий (МВЛ) осуществляются на сертифицированных по «Авиационным правилам. Часть 23» воздушных судах (ВС) нормальной категории. К нормальной категории относятся самолеты с количеством посадочных мест, исключая места пилотов, не более девяти, с максимальным сертифицированным взлетным весом не более 5700 кгс и предназначенные для неакробатического применения. К переходной (коммьютерной) категории относятся двухдвигательные самолеты с количеством посадочных мест, исключая места пилотов, не более 19, с максимальным сертифицированным взлетным весом – не более 8600 кгс [1].

«Авиационные правила. Часть 25» устанавливают нормы летной годности для выдачи Сертификатов типа, Одобрений главных изменений и Дополнительных сертификатов типа на самолеты транспортной категории с газотурбинными двигателями [2].

Вопрос безопасности полетов для самолета МВЛ поставлен во главу задания на разработку. Опережающее развитие встроенных средств диагностики состояния (ВС) и технологий передачи цифровых данных позволяют решить задачу контроля и мониторинга сложных функциональных и технических систем ВС с целью обеспечения безопасности полетов конкретного типа ВС в рамках системы управления безопасностью полетов (СУБП) предприятия-эксплуатанта и предприятия-разработчика и изготовителя самолета.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу разработки системы управления безопасностью полетов (СУБП) для самолетов, эксплуатируемых на МВЛ, с точки зрения определения критически важных параметров технического состояния ВС, сбора и обработки данных с помощью встроенной технической диагностики и дистанционной передачи данных о техническом состоянии. Такие данные, переданные в режиме реального времени в организации, отвечающие за поддержание летной годности, на всех этапах жизненного цикла воздушных судов местных воздушных линий определенно позволяют решать задачи накопления массива информации о техническом состоянии конкретного типа ВС, выявлять факторы опасности, осуществлять сбор и анализ данных для постоянной оценки факторов риска для безопасности полетов.

Безопасность полетов (БП) воздушных судов – состояние авиационной транспортной системы (АТС), при котором риски, связанные с авиационной деятельностью, относящейся

к эксплуатации ВС или непосредственно обеспечивающей такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня и контролируются [3].

Опасность (hazard) определяется как состояние или предмет, обладающий потенциальной возможностью нанести травмы персоналу или пассажирам авиакомпании, причинить ущерб оборудованию или конструкциям, вызвать уничтожение материалов или понизить способность осуществлять предписанную функцию [4].

Инструментом для определения набора параметров, которые следует регистрировать средствами встроенного контроля и в дальнейшем обрабатывать в СУБП, определим методы, используемые в эксплуатационном стандарте MSG-3.

Основная цель процесса MSG-3 состоит в том, чтобы определить задачи технического обслуживания ВС, которые являются одновременно эффективными и действенными для обеспечения удовлетворительного уровня безопасности и надежности на протяжении всего срока его службы. Этот процесс применяется по следующим четырем направлениям анализа:

1. Системы и силовые установки (включая компоненты и ВСУ).
2. Конструкции летательных аппаратов.
3. Зональные инспекции.
4. Молния/высокой интенсивности радиочастоты (л/радиочастот высокой интенсивности) [5, 6].

Определение возможной корреляции данных, получаемых методами MSG-3 анализа, с данными, используемыми авиакомпанией в качестве факторов опасности с последующей оценкой фактора риска в рамках СУБП с возможностью постоянного мониторинга системами встроенного контроля, будет решением задачи применимости методологии MSG-3 анализа для определения состава данных о техническом состоянии ВС МВЛ для реализации задач СУБП.

Особенности построения СУБП с учетом данных MSG-3 анализа

Каждый раздел MSG-3 анализа содержит методологию и конкретные логические схемы принятия решений. Так в разделе «Системы и силовые установки» осуществляется разбивка системы на важные для технического обслуживания элементы (Maintenance Significant Items – MSIs) и дает описание MSIs и их функций [5] для определения задач технического обслуживания и их интервалов. Элементы систем, важных для технического обслуживания – это детали, удовлетворяющие определенным отборочным критериям, по которым анализы для каждого MSI устанавливаются на самом высоком управляемом уровне.

Перед тем, как действующая методология MSG-3 анализа может быть применена к какому-либо элементу, должны быть определены существенные / жизненно важные системы самолета и компоненты.

Процесс определения MSI является консервативным процессом, использующим инженерные оценки, и основанным на оценках ожидаемых последствий отказов. Далее для элементов систем, важных для технического обслуживания, будем использовать английскую аббревиатуру MSI.

Аналогичным образом, в разделе «Конструкции летательных аппаратов» начальным шагом является разделение конструкции летательного аппарата на рабочие зоны. В рамках Структурных значимых элементов (SSIS) выбираются те, которые могут быть идентифицированы как Основные структурные элементы (PSE). Ненадежный PSE будет способен вызвать катастрофический эффект. Остальная часть структуры называется – «Другая структура (OS)».

Разработчик разбивает самолет на системы и подсистемы с нумерацией в соответствии со стандартом ATA iSpec 2200 [7]. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут определены все съемные (заменяемые) компоненты (агрегаты), установленные на самолете.

MSG-3 предоставляет методы и логические схемы, которые должны быть использованы для разработки задач структурных проверок. Нормативные указания, касающиеся устойчивости к повреждениям и оценки усталости конструкции, также содержатся в FAR/CS 25.571 [8].

Таким образом, выявленные методами MSG-3 анализа элементы MSI, SSIS, PSE, OS могут быть использованы для включения в перечень «контролируемых» системами встроенного контроля и мониторинга.

Очевидно, что для этих элементов требуется оценить техническую реализуемость контроля, то есть наличие технологий считывания и передачи параметров методами встроенного контроля, степень влияния на возникновение факторов риска в системе безопасности полета, а также экономическую целесообразность разработки, установки на ВС и поддержание работоспособности системы мониторинга.

Дополнительной задачей MSG-3 анализа является Aircraft Health Monitoring (AHM) / Контроль и Прогнозирование Технического Состояния Самолета – использование данных, полученных из конкретных систем самолета для определения технического состояния, факта снижения уровня надежности или нарушений функционирования систем и компонентов с целью своевременного планирования мероприятий по техническому обслуживанию.

Руководящий документ IP 180, выпущенный Советом по политике Международного комитета по обзору технического обслуживания (IMRBPB) в апреле 2018 года, расширил рамки MSG-3 анализа, установив возможность проведения третьего уровня анализа функциональных систем. В документе представлена методика мониторинга состояния воздушного судна (AMH) для разработки альтернативных процедур по контролю и прогнозированию технического состояния систем [9].

На этапе определения «кандидатов AHM» для MSG-3 анализа Уровня 3 Разработчик ВС, в соответствии с логической схемой анализа, проводит описание систем ВС, выделяя данные о наличии параметров контроля и прогнозирования их технического состояния, возможность сбора и обработки параметров и определения эффективности внедрения процедур AHM. Также подробно описываются конфигурация и функции каждой системы.

Для формирования перечня кандидатов AHM в первоочередном порядке используются параметры, которые можно регистрировать встроенными самолетными регистраторами полетной и технической информации.

Возможны три результата проведенного анализа:

– задача AHM не назначена;

– назначена альтернативная процедура(ы) AHM;

– назначена гибридная комбинированная процедура(ы) AHM.

Важно отметить, что альтернативные и комбинированные процедуры AHM могут быть использованы эксплуатантом в своей программе технического обслуживания взамен выполнения классических задач, определенных процедурой MSG-3 (Уровня 1 и Уровня 2). При этом в документе ИТПТО – исходные требования по плановому техническому обслуживанию (MRBR в английской аббревиатуре) классическая задача остается неизменной и не удалятся, но дается примечание о применимости AHM. Эксплуатант ВС самостоятельно определяет, будет он выполнять классическую задачу ИТПТО или заменит ее на альтернативную процедуру AHM и/или комбинированную процедуру AHM индивидуально по каждой классической задаче.

Основной целью введения новой методики AHM является повышение качества программы технического обслуживания и снижения ее общей трудоемкости при сохранении приемлемого уровня обеспечения безопасности полетов.

СУБП направлена на постоянное совершенствование безопасности полетов путем выявления факторов опасности, сбора и анализа данных и постоянной оценки факторов риска для безопасности полетов, чтобы ограничивать и уменьшать факторы риска до того, как они приведут к авиационным происшествиям или инцидентам. СУБП включает основные элементы, необходимые для выявления опасных факторов и управления факторами риска для безопасности полетов путем обеспечения следующих условий:

а) наличие необходимой информации;

b) наличие нужных инструментов для решения стоящей задачи, которые могут быть использованы организацией;

c) инструменты и задача должным образом согласуются;

d) инструменты соразмерны потребностям и ограничениям организации;

e) решения принимаются после всестороннего изучения факторов риска для безопасности полетов [10, 3].

Для построения СУБП в соответствии со стандартами ИКАО (SARP) требуется определить перечень факторов рисков, связанных с выполнением полета на ВС, составить матрицу рисков.

Функционирование процесса контроля и количественной оценки эффективности обеспечения безопасности полетов (БП) в рамках системы управления безопасностью полетов (СУБП) предусмотрено требованиями п. 5.5 Федеральных авиационных правил «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации» (ФАП-128) [11], стандартами аудита эксплуатационной безопасности Международной ассоциации деловой авиации IOSA (для коммерческих авиакомпаний)[12], IS-BAO (для бизнес и частной авиации) [13], требованиями к гражданской авиации заморских территорий Великобритании (OTAR) Part 145.25.

Оценка эффективности функционирования СУБП предусмотрена п. 5г «Правил разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими» [4].

Согласно рекомендациям ICAO Doc 9859 Safety management manual (п. 5.4.5.4), оценка эффективности функционирования СУБП на практике выражается в показателях эффективности обеспечения безопасности полетов (Safety Performance Indicator - SPI) и соответствующих заданных (Target) и предупредительных (Alert) уровнях [3].

Согласно п. 3.1.1 дополнения 2 к Приложению 19 [6] и ISM ORG 3.2.1, номенклатура SPI используется для решения следующих задач:

• верификации (проверки) и мониторинга эффективности обеспечения БП в рамках СУБП авиакомпании;

• валидации (подтверждения) эффективности контроля рисков в области БП.

Мониторинг и оценка эффективности обеспечения БП в рамках СУБП реализуется с помощью измерения и отслеживания изменения значений показателей SPI.

В авиакомпаниях, как правило, используются базовые показатели SPI (например, количество авиационных инцидентов, количество замечаний 2 и 3 уровней SAFA или внутрироссийских полевых инспекций) и показатели SPI по составляющим деятельности: летная эксплуатация, техническая эксплуатация, работа кабинных экипажей и т.д.).

К показателям SPI в отношении летной эксплуатации могут быть отнесены, например:

– среднее количество АИ, обусловленных ошибками/нарушениями летного состава, на 1000 полетов;

– взвешенная частота отклонений в технике пилотирования, обусловленных долгим выравниванием (long flare) перед посадкой, на 1000 полетов;

– взвешенная частота отклонений от скорости Vapp при заходе на посадку на 1000 полетов и т.п.

К показателям SPI в отношении технической эксплуатации могут быть отнесены:

– коэффициент задержек вылетов по техническим причинам;

– среднее количество дефектов, записанных летными экипажами (PIREPS), на 1000 полетов;

– отношение количества отложенных дефектов со статусом MEL/CDL к общему количеству полетов ВС, находящихся в эксплуатации на момент анализа (с учетом выведенных ВС для проведения ТО, технических работ и пр.);

– среднее количество выключений двигателя в полете (IFSD) на 1000 полетов;

– среднее количество прекращений выполнения полетного задания (АИ) по техническим причинам на 1000 полетов и т.п.

Выявление взаимосвязанных данных, получаемых методами MSG-3 анализа Уровней 1, 2 (MSI, SSIS, PSE и OS), данными анализа Уровня 3 (АНМ) с данными, используемыми авиакомпанией в СУБП с последующей организацией постоянного мониторинга посредством систем встроенного контроля, является алгоритмом решения задачи определения состава данных о техническом состоянии ВС МВЛ для реализации задач СУБП.

На рис. 1 показана блок-схема взаимосвязи данных, получаемых посредством MSG-3 анализа, с возможностями встроенного контроля и мониторинга состояния, планера, силовых установок и функциональных систем и СУБП авиакомпании.

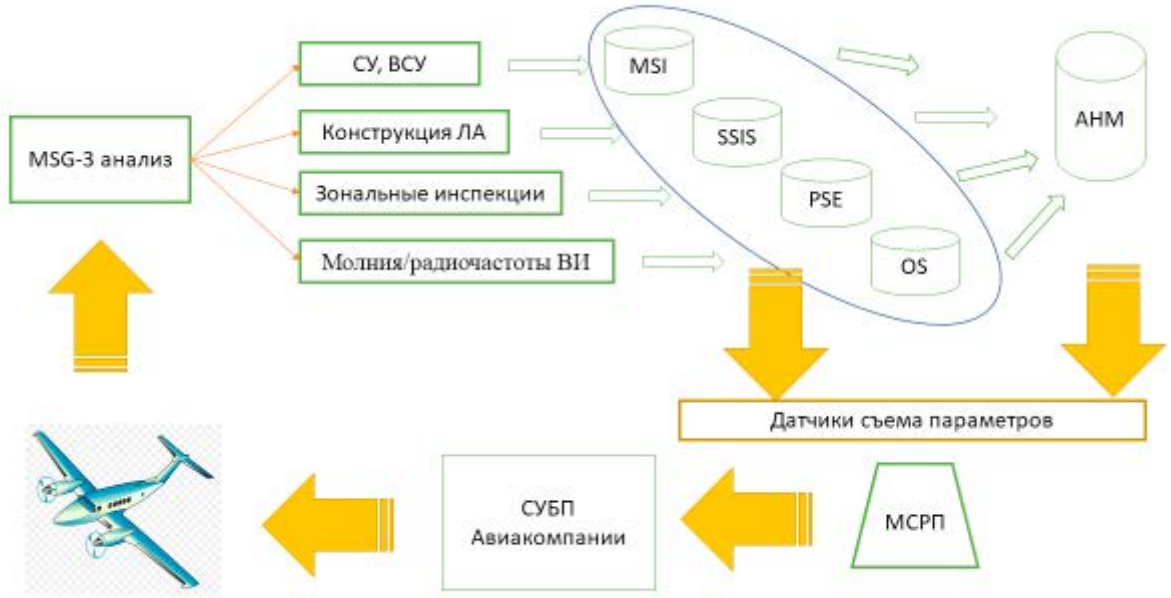


Рис. 1. Блок-схема взаимосвязи параметров MSG-3 анализа и СУБП

Одним из способов достижения цели определения состава данных о техническом состоянии воздушных судов, используемых для функционирования системы управления безопасностью полетов воздушного судна, является решение обратной задачи, когда на основании используемых эксплуатантом ВС индикаторов оценки уровня достигнутой безопасности полетов, в том числе интегрированных, первоначально выделяются параметры, формирующие эти показатели, а на следующем этапе (обратная задача) из этих параметров выявляются те, которые могут быть достоверно оценены методами MSG-3 анализа.

Наиболее влияющими на безопасность полетов являются отказы и неисправности функциональных систем и силовых установок, приводящие к усложнению условий полета или катастрофическим состояниям.

Анализ функциональных отказов, проводимый по методологии MSG-3 анализа, сфокусирован на оценке возможных последствий отказов и выявлении их причин на уровне комплектующих изделий или интерфейсов системы или подсистемы, определенной в качестве важных для технического обслуживания.

В соответствии с логической схемой MSG-3 анализа систем и силовой установки ВС результатами анализа ФС и СУ Уровня 1 и Уровня 2 в СУБП используются выявленные явные и скрытые отказы, влияющие на безопасность полетов, дальнейшее выполнение полета.

Аналогичный подход должен быть применен в отношении конструкции ЛА, его зональных инспекций и молние- и высокочастотной защищенности.

Выводы

Задача разработки системы управления безопасностью полетов (СУБП) для самолетов, эксплуатируемых на местных воздушных линиях (МВЛ), с точки зрения определения критически важных параметров технического состояния ВС, сбора и обработки данных с помощью встроенной технической диагностики и дистанционной передачи данных о техническом состоянии решается прямым и обратным математическим моделированием. Алгоритмы решений прямой и обратной задач пересекаются и коррелируются на этапах оценки рисков событий, влияющих на БП, и этапе выявления явных и скрытых отказов и оценки их влияния на безопасность полетов.

Анализ MSG-3 определяет потенциальные отказы системы и формирует перечень работ ТО по предотвращению отказов этой системы и поддержанию заложенного при проектировании уровня надежности и безопасности. В ходе анализа MSG-3 могут быть определены потенциальные функциональные отказы или особенности конструкции системы, требующие ее модификации или перепроектирования. Перепроектирование и обслуживание – это действия по снижению фактора риска. Выявление кандидатов (элементов и агрегатов функциональных систем и силовых установок) на включение в систему непрерывного мониторинга посредством систем встроенного контроля осуществляется путем применения критериев оценки риска для безопасности полета с учетом возможности технической реализации передачи параметров контроля о техническом состоянии.

Накопление данных об эксплуатационных показателях самолетов МВЛ посредством использования встроенной системы мониторинга технического состояния ВС позволяет более точно определять нахождение эффективного интервала выполнения задачи планового ТО, то есть интервала, который позволит вовремя выявлять ухудшение технического состояния системы/комплектующего изделия и развития функционального отказа, и не допустить его перерастания в функциональный отказ, а также выполнять задачу мониторинга технического состояния функциональных систем, силовых установок и конструкции ВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные правила Часть 23. Нормы летной годности гражданских легких самолетов. Межгосударственный авиационный комитет. Авиаиздат, 2014. 207 с.

2. АП-25 Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Приложение Н. Инструкции по поддержанию летной годности. Межгосударственный авиационный комитет. Авиаиздат, 2009. 274 с.

3. ИКАО Doc 9859 AN/474. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Издание 2. 2009. 318 с.

4. О порядке разработки и применения СУБП воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими: Постановление Правительства РФ от 18.11.2014 г. № 1215. [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/70801876.

5. IP 114 IMRBPB. Руководящий документ. Разъяснение схемы по MSG-3 L/HIRF анализу по отношению к опыту Международной рабочей группы. Ревизия 1. 2009. 5 с.

6. ATA MSG-3. Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development Revision 2003.1 Air Transport Association of America, Inc. 86 с.

7. ATA iSpec 2200. Information Standard for Aviation maintenance. Revision 2017.1. 3101 с.

8. AMC 25.571-1C. Acceptable Means of Compliance, Damage Tolerance and Fatigue Evaluation of Structure. EASA. Приложение 01. Выпуск 15. Ноябрь 2019. 25 с.

9. IP 180 IMRBPB. Aircraft Health Monitoring (AHM) integration in MSG-3. IP Template Rev 5, dated 28/04/2017. 33с.

10. Приложение 19 к Конвенции по международной гражданской авиации. Управление безопасностью полетов. ИКАО. Издание 2. 2016. 48 с.

11. Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации» (ФАП-128): Приказ Минтранса РФ от 31.07.2009г. № 128. 102 с.

12. IOSA Standards Manual. 14th Edition. IATA, 2015. 713 с.

13. IS-BAO Standards and Recommended Practices. IBAC, 2016. 560 с.

REFERENCES

1. Aviation rules. Part 23. Airworthiness standards for civil light aircraft. Interstate Aviation Committee. Aviaizdat Publ., 2014, 207 p. (In Russian).

2. AP-25. Aviation rules. Part 25. Airworthiness standards of transport category aircraft. Appendix N. Airworthiness Instructions. Interstate Aviation Committee. Aviaizdat Publ., 2009, 274 p. (In Russian).

3. ИКАО Doc 9859 AN/474. Safety Management System Manual. Edition 2. 2009. 318 p.

4. Procedures for the development and application of aircraft FSMS, as well as the collection, analysis and sharing of data on hazards and risks that endanger the safety of civil aircraft. Decree of the Government of the Russian Federation dated 18.11,2014 No. 1215. Available at: http://base.garant.ru/70801876. (In Russian).

5. IP 114 IMRBPB. Guidance document. Clarification of the scheme on MSG-3 L/HIRF analysis in relation to the experience of the International Working Group. Revision 1, dated 01/10/2009. 5 p.

6. ATA MSG-3. Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development Revision 2003.1 опубликованный Air Transport Association of America, Inc. 86 p.

7. ATA iSpec 2200. Information Standard for Aviation maintenance. Revision 2017.1. 3101 p.

8. AMC 25.571-1C. Acceptable Means of Compliance. Damage Tolerance and Fatigue Evaluation of Structure. EASA CM No.: Proposed CM–S–013 Issue 01 issued 15 November 2019. 25 p.

9. IP 180 IMRBPB. Aircraft Health Monitoring (AHM) integration in MSG-3. IP Template Rev 5, dated 28/04/2017. 33p.

10. Annex19 to the Convention on International Civil Aviation. Flight Safety Management, ICAO. Ed. 2. 2016, 48 p.

11. Federal aviation rules «Preparation and performance of flights un civil aviation of the Russian Federation» (FAR-128): Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 31.07.2009 No. 128. 102 p. (In Russian).

12. IOSA Standards Manual. 9th Edition. IATA, 2015. 613 p.

13. IS-BAO Standards and Recommended Practices. IBAC, 2016. 560 p

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Кулешов Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей Московского государственного технического университета гражданской авиации; заместитель генерального директора по гражданской авиатехнике, АО «НПП «Аэросила», МО, г. Ступино, ул. Жданова, 6, Российская Федерация, 142800; e-mail: kaa_alex@mail.ru.

ABOUT THE AUTHOR

Kuleshov Alexander A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Operation of Aircraft and Engines of Moscow State Technical University of Civil Aviation; Deputy General Director for civil aviation products, SPE "Aerosila", Moscow region, 142800 Stupino, Zhdanova Street, 6, Russian Federation; e-mail: kaa_alex@mail.ru.

УДК 004.8:351.814.2

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АВИАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В.И. БУДЗКО[1], М.В. ВОЛКОВ[2], Д.А. ГОДИКОВ[2], А.В. КАН[3], И.С. МИХАЙЛИН[3], В.С. ШАПКИН[3]

[1]Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук, г. Москва, Российская Федерация
[2]ЗНП АО «Отделение проблем военной экономики и финансов», г. Тверь, Российская Федерация
[3]Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье проведена оценка функциональности системы управления безопасностью авиационной деятельности и определено место технологий искусственного интеллекта в системе. Многие из новых технологий помогли повысить безопасность, например, улучшенные приборные панели в кабине ВС и системы дистанционного управления полетом. Однако внедрение подобных технологий могут привести к катастрофическим последствиям. Данные проблемы во многом определены человеческим фактором и решаются через подготовку авиаперсонала и дальнейшему совершенствованию требований и внедрению вспомогательных (дублирующих) элементов управления ВС, базирующихся на технологии с применением искусственного интеллекта. Ожидается, что результатом применения данных технологий станут информационные ресурсы, используемые в процессах обеспечения и мониторинга безопасности авиационной деятельности. Доступ к этим информационным ресурсам целесообразно предоставлять с использованием функционала, характерного для интеллектуальных информационно-справочных систем, адаптирующих круг доступных пользователю информационных ресурсов к его ролям, этапам/подэтапам создания авиационной техники обеспечивающих его контекстным напоминанием, а также подсказкой, настраивающейся на его запросы. Например, применение средств и технологий искусственного интеллекта позволит автоматизировать до 80 % задач при выполнении работ по оценке аутентичности компонентов ВС, что обеспечит снижение временных затрат на проведение работ, повысит точность выявления неаутентичных компонентов по формальным признакам, снизит влияние человеческого фактора при вынесении решения об аутентичности/неаутентичности конкретного компонента воздушного судна.

Ключевые слова: авиатранспортная система, авиационная безопасность, искусственный интеллект, воздушное судно, безопасность авиационной деятельности, система управления безопасностью авиационной деятельности

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE AVIATION SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

V.I. BUDZKO[1], M.V. VOLKOV[2], D.A. GODIKOV[2], A.V. KAN[3], I.S. MIKHAILIN[3], V.S. SHAPKIN[3]

[1]Federal Research Center "Computer Science and Management" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation,
[2]JSC «Department of Problems of Military Economy and Finance», Tver, Russian Federation
[3] National Research Center «Institute named after N.E. Zhukovsky», Moscow, Russian Federation

Abstract. The article assesses the functionality of the aviation safety management system and determines the place of artificial intelligence technologies in the system. Many of the new technologies have helped improve safety, such as improved cockpit dashboards and remote flight control systems. However, the introduction of such technologies can lead to disastrous consequences. These problems are largely determined by the human factor and are solved through the training of air personnel and further improvement of requirements and the introduction of auxiliary (duplicate) aircraft control elements based on technology using artificial intelligence. It is expected that the application of these technologies will result in information resources used in the processes of ensuring and monitoring the safety of aviation activities. It is advisable to provide access to these information resources using the functionality characteristic of intelligent information and reference systems that adapt the range of information resources available to the user to his roles, stages / sub-stages of aviation technology creation, providing him with a contextual reminder, as well as a hint that adjusts to his requests. For example, the use of artificial intelligence tools and technologies will make it possible to automate up to 80% of tasks when performing work on assessing the authenticity of aircraft components, which will reduce the time spent on carrying out work, increase the accuracy of identifying inauthentic components based on formal characteristics, and reduce the influence of the human factor when deciding on authenticity / non-authenticity of a specific aircraft component.

Keywords: air transport system, aviation security, artificial intelligence, aircraft, aviation safety, aviation safety management system

Введение

Государственные интересы предусматривают повышение уровня безопасности авиационной деятельности в Российской Федерации и исполнение государственных обязательств в части обеспечения безопасности полетов перед ИКАО.

Основными приоритетами развития воздушных судов, с учетом новых требований, предъявляемых со стороны авиатранспортной системы, являются [1]:

– повышение безопасности перевозок за счет внедрения современных цифровых технологий и систем сопровождения разработки, производства и эксплуатации авиационной техники;

– повышение регулярности рейсов за счет повышения коэффициента технической готовности парка к выполнению полетов и всепогодности эксплуатации при сохранении возможности использования существующей наземной инфраструктуры;

– расширение сфер рационального использования воздушных судов и развитие транспортно-логистических технологий оптимизации доставки пассажиров и грузов в условиях разветвленной протяженной транспортной инфраструктуры;

– внедрение «умных» инструментов оценки риска выполнения полетов;

– повышение коммерческой привлекательности воздушных судов на рынке, как более безопасного изделия с лучшими характеристиками по надежности и качеству сервисного обслуживания в сравнении с конкурентными воздушными судами.

Реализация вышеперечисленных факторов невозможна без создания на уровне государства системы управления безопасностью авиационной деятельности (СУБАД).

Данная система должна включать в свой контур всех участников авиационной деятельности, включая:

– федеральный орган исполнительной власти, уполномоченный в области авиационной безопасности и безопасности полетов;

– головные разработчики (разработчики составных частей) авиационной техники (авиационных систем);

– головные изготовители (изготовители составных частей) авиационной техники (авиационных систем);

– организации, эксплуатирующие авиационную технику (авиационные системы);
– поставщики услуг – организации ОрВД;
– организации по ТОиР авиационной техники (авиационных систем);
– организации, осуществляющие подготовку летного и технического персонала;
– операторы аэродромов и аэропортов;
– иные сторонние заинтересованные организации, чьи интересы непосредственно затронуты процессом обеспечения безопасности авиационной деятельности и результатам его реализации.

Областью применения СУБАД является оценка текущего состояния авиационной системы на предмет выявления рисковых ситуации (обнаружение отклонений в регламентированных условиях АТ (АС) на протяжении всего жизненного цикла), прогнозирование их развития, формирование и контроль исполнения перечня мероприятий, обеспечивающих нахождение текущих рисков в зоне допустимой приемлемости и возможность контроля их наступления и развития.

Оценка текущих угроз (отклонений), прогнозирование развития рисков наступления неблагоприятных последствий и контроль достигнутых результатов по их демпфированию, в области безопасности авиационной деятельности должна осуществляться с разделением по следующим направлениям:
– безопасность полетов,
– транспортная безопасность;
– информационная безопасность;
– производственная безопасность;
– экологическая безопасность.

Таким образом, проблема создания специального программного обеспечения (СПО) для СУБАД, позволяющего с учетом существующих и перспективных требований по авиационной деятельности уже на этапе проектирования перспективных образцов АТ оценивать влияние наземных и бортовых авиационных систем, до сих пор не имеет готового решения, является по сути новой.

Разработка данного СПО создаст технологическую основу создания СУБАД, позволяющей в совокупности с иными мероприятиями формировать достоверные прогностические оценки уровня безопасности полетов в авиационных предприятиях, как в краткосрочной, так и средне- и долгосрочной перспективе. А также позволит отработать технические решения для их последующей реализации при создании перспективной государственной системы сбора и обработки данных о безопасности полетов в гражданской авиации. Данное СПО с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) будет являться частью информационно-методической базы для получения качественной и количественной оценок влияния научно-технических решений в области авиастроения на безопасность полетов воздушных судов.

Оценка функциональности СУБАД и предложения по применению в СУБАД технологий искусственного интеллекта

На основе проведенного анализа нормативных и методических документов по СУБАД [2–8], можно сделать вывод, что в целом для системы характерна работа с большими массивами текстовых документов на естественном языке. При этом часть документов может быть написана на различных языках. Как следствие, для функционирования СУБАД существенными являются проблемы эффективной организации работы и ведения хранилищ текстов, обеспечения оперативного доступа к его информационным ресурсам и эффективного поиска требуемых информационных ресурсов. Решение данных проблем открывает широкие перспективы использования технологий ИИ, ориентированных на работу с текстами, написанными на естественных языках.

Также для СУБАД характерна работа в условиях временной или постоянной неполноты фактических и/или актуальных данных по конкретным вопросам/событиям и т.п., когда отсутствие этих данных приходится временно компенсировать знаниями и опытом участников. Решение этих проблем открывает широкие перспективы использования технологий экспертных систем, баз знаний и других обеспечивающих их работу технологий ИИ.

Следовательно, в СУБАД, с учетом приведенных выше ограничений, технологии ИИ будет целесообразно использовать:

– для работы с текстовыми документами на естественном языке. Это технологии: хранения текстов и ведения их хранилищ, кластеризации текстов, их информационного поиска, машинного перевода, реферирования и генерация текстов;

– для обработки экспертных оценок по вопросам и/или событиям, по которым фактическая информация отсутствует или не актуальна, не полна, либо не доступна в требуемые сроки, когда отсутствие и/или неполноту и/или неактуальность этой информации приходится временно компенсировать знаниями и опытом участников. В дальнейшем эти сведения должны быть уточнены на основе реальных данных. Это технологии: экспертных систем и баз знаний.

Результатом применения этих технологий ИИ станут информационные ресурсы, используемые в процессах обеспечения и мониторинга безопасности авиационной деятельности.

Необходимость наличия дружественного интерфейса системы, в том числе при реализации функций информационно-справочного обеспечения пользователей, открывает широкие перспективы использования таких технологий ИИ как: дерево решений, метод Байеса, в перспективе также для создания виртуальных помощников – нейросети, машинное обучение, базы знаний [9–12]. При этом средства, реализующие функции информационно-справочного обеспечения пользователей, должны подсказывать участникам процессов, на какие моменты они должны обратить внимание при исполнении своих обязанностей на различных этапах разработки и эксплуатации ВС, образца АТ (АС).

Особенность обработки данных разработчиками авиационной техники

Основными особенностями обработки данных разработчиками АТ при формировании ими достоверных прогностических оценок уровня безопасности полетов в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе при создании перспективных образцов АТ, в том числе при выявлении опасных факторов, угроз, при оценке рисков (при условии рационального поведения участников летных происшествий и катастроф), а также при обнаружении и исправлении потенциальных уязвимостей при создании этих образцов являются следующие:

– использование большого числа нормативных и нормативно-технических материалов, регламентирующих эту деятельность. Как правило, это текстовые материалы значительного объема. Они не формализованы или слабо формализованы по структуре, не формализованы по форме представления;

– использование большого числа материалов рекламационного характера (например, об отказах, сбоях, происшествиях, авариях, катастрофах, их проявлениях и причинах, в том числе о потенциальных причинах и т.п.) и их пакетов, поступающих от производителя АТ и организаций, использующих или эксплуатирующих АТ. Как правило, каждый из этих материалов имеет малый или незначительный объем, их структура формализована или слабо формализована. Различные реквизиты материалов имею различную степень формализации по форме представления данных;

– материалы, перечисленные выше, относятся не к создаваемому образцу АТ, а к его аналогам (например, к ВС, предназначенным для магистральных маршрутов, к ВС малой авиации, к АТ, использующей такие же или подобные, или того же ряда узлы и агрегаты (двигатели и т.д.). Материалы, относящиеся непосредственно к создаваемому образцу АТ, появляются только на этапе проведения его испытаний. Но их объем и разнообразие (следовательно, и представительность) относительно невелики;

– на начальных этапах создания образца АТ основные виды обработки данных, обеспечивающие решение задач обеспечения безопасности полетов, носят логико-аналитический характер. Они направлены на выявление путем анализа технических и организационных решений: опасных факторов, угроз, рисков, на обнаружение потенциальных уязвимостей при создании этих образцов, а также на выработку типовых рекомендаций по устранению выявленных потенциальных уязвимостей.

Основные направления применения элементов ИИ в СУБАД

В краткосрочной перспективе в качестве основных направлений применения элементов ИИ в СУБАД целесообразно рассматривать:

– выявление из текстовых добровольных сообщений скрытых угроз безопасности полетов;

– выявление из текстовых обязательных донесений, отчетов о результатах инспекций и проверок, внутренних или внешних расследований информации о безопасности полетов;

– выявление в исторических наборах разнообразных данных, скрытых угроз безопасности полетов.

Предлагается следующий подход к использованию методов обучения и экспертного оценивания в СУБАД. В основу обучения предлагается положить начальную интерпретацию учителем правил формирования моделью выводов по обрабатываемым данным.

Достижение этой цели в предложенной информационной структуре обеспечивается наличием в справочниках «Шаблоны угроз» и «Шаблоны неблагоприятных последствий» сведений о наименовании угроз и неблагоприятных последствий. В интересах расширения возможностей модели Т5 [13, 14] для каждого из элементов данных множеств с участием экспертной группы формируется подмножество вариантов значений. Реализация подмножества вариантов значений элементов множеств «Шаблоны угроз» и «Шаблоны неблагоприятных последствий» в физической БД обеспечивается созданием табличных частей, значения в которых также описываются подмножеством мнений экспертов по корректности применения точечного значения элемента множеств «Шаблоны угроз» или «Шаблоны неблагоприятных последствий».

При возникновении ситуаций, когда выбранная модель Т5 не может выявить информацию о безопасности полетов и скрытых угрозах из текстов добровольных и обязательных донесений, СУБАД формирует сообщение пользователям о необходимости уточнения словаря. На основании этого сообщения пользователь СУБАД дополняет табличные части точечных значений элементов и проводит процедуру экспертной оценки применимости нового значения в алгоритме работы модели Т5. Таким образом обеспечивается обучение модулей, реализующих данную модель.

Элементы технологии нейронных сетей могут быть использованы при решении задач, обеспечивающих проактивное управление безопасностью АД. Возможность применения нейронных сетей обеспечена разработанной структурой классификаторов и справочников БД.

При построении классификатора на основе нейронной сети был выполнен отбор признаков, значимых с точки зрения задачи классификации, сформировано разделяемое по классам пространство множества примеров. Отбор признаков представлен структурой основных справочников «Типы АТ (АС)», «Стадии ЖЦ АТ (АС)» и всех справочников, обеспечивающих формирование ссылочных атрибутов данных справочников.

При создании перспективной СУБАД необходимо также выполнить следующие работы, обеспечивающие успешное применение нейронных сетей:

– составить базу данных из примеров, характерных для данной задачи;

– разбить всю совокупность данных на два множества: обучающее и тестовое;

– выбрать систему кодирования выходных значений;

– выбрать топологию сети (количество слоев, число нейронов в слоях);

– выбрать активационную функцию нейронов;

– выбрать алгоритм обучения сети;

– оценить качество работы сети на основе валидационного множества или другого критерия, оптимизировать архитектуру;

– выбрать вариант сети, который обеспечивает наилучшую способность к обобщению и оценить качество работы по тестовому множеству.

Выполнение данных задач позволит применять нейронные сети в составе СУБАД для решения задачи прогнозирования состояния уровня безопасности АД на основе классификации входной информации о характеристике актуальных угроз по отношению к множеству имеющихся исторических данных.

Особое внимание следует уделить использованию элементов технологий ИИ в контуре «опасность – риск».

Контур «опасность – риск» представляет собой контур контроля:

– за событиями АД, принимающими впоследствии форму опасности (опасения, угрозы);

– за их развитием в процессе выполнения мероприятий АД, ведущим без вмешательства лица, принимающего решения (ЛПР), к реализации опасностей (опасений, угроз) и их неблагоприятных последствий.

Итоговая взаимосвязь опасности и неблагоприятного последствия, выраженная в вероятности и степени серьезности риска для безопасности АД, представляет собой индекс риска. Контур «опасность – риск» также включает выработку ЛПР корректирующих управляющих воздействий, их выдачу и контроль их выполнения. Включает описание причинно-следственных взаимосвязей между текущим состоянием АД и результирующим значением уровня безопасности АД. При этом текущее состояние АД описывается событиями, принимающими впоследствии форму опасности (опасения, угрозы).

Интегрированное описание контура «опасность – риск» содержит информацию о взаимосвязи базовых понятий, введенных в онтологии данных [15-17] с итоговым значением целевого показателя БАД. В описании отражаются отношения между множествами базовых (начальных) исходных данных, получаемых от внешних и внутренних источников и выходными данными. Структура справочников БД СУБАД отражает указанные взаимосвязи в отношениях между сущностями и атрибутами. Информационное обеспечение решения расчетно-аналитических задач установления функциональных взаимосвязей по контуру «опасность – риск» достигается построением структуры и состава справочников, отражающих описание возникновения риска в условиях описания свойств системы, в которой они существуют.

Выводы

В настоящее время во ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» проведен комплекс исследований, направленных на решение частных задач сбора, обработки, поиска и анализа информационных ресурсов СУБАД, а также создан научно-технологический потенциал для решения этих задач в промышленных масштабах. На основании данных были предложены:

– структура справочников, которая отражает содержание и архитектуру разработанной модели циркуляции информационных потоков между аналитическими модулями СПО СУБАД. Установленные информационные взаимосвязи между атрибутами и сущностями справочников представляют собой отражение описания онтологии данных и соответствуют процессам преобразования первичной информации во вторичную;

– совокупность специфичных элементов, которые позволят интегрировать в СПО СУБАД элементы искусственного интеллекта для обнаружения опасных факторов, угроз, рисков, а также для обнаружения и исправления потенциальных уязвимостей при создании перспективных образцов АТ.

В СУБАД, с учетом упомянутого условия технологии искусственного интеллекта, будет целесообразно использовать:

– для работы с текстовыми документами на естественном языке (это: хранение текстов, их кластеризация и информационный поиск, машинный перевод, реферирование и генерация текстов);

– для обработки экспертных оценок по вопросам/события, по которым фактическая информация отсутствует или не актуальна, не полна, либо не доступна в требуемые сроки. В дальнейшем эти сведения должны быть уточнены на основе реальных данных;

– для создания дружественного интерфейса с использованием таких технологий как: метод Байеса, система правил, в перспективе также

ЛИТЕРАТУРА

1. Дутов А.В., Кан А.В., Клочков В.В., Шакун А.В., Шапкин В.С. Основные направления научно-исследовательской деятельности в интересах развития авиатранспортной системы Российской Федерации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 29. С. 9–21.

2. Doc 10004. Глобальный план обеспечения безопасности полетов. [Электронный ресурс]. URL: https://www.icao.int/safety/Documents/10004_ru.pdf (дата обращения: 20.10.2021).

3. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов» [Электронный ресурс]. URL: http://www.scac.ru/ru/wp-content/ uploads/2016/ DOC_9859_3.pdf (дата обращения: 05.10.2021).

4. ГОСТ Р 57242—2016. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. База данных. Авиационные риски, возникающие при проектировании авиационной техники. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

5. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП-2019). URL:GlicmFyeS5pY2FvLm ludC9ob21lL3Byb2R1Y3QtZG V0YWlscy8yMjk3NTQjcGFnZT0zOA%3D%3D?productType=ebook (дата обращения 15.10.2021).

6. ГОСТ Р 57235—2016. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. База данных. Авиационные риски, возникающие при производстве авиационной техники. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.

7. ГОСТ Р 57236—2016. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. База данных. Авиационные риски, возникающие при производстве определенных видов операционной деятельности: транспортные виды. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.

8. ГОСТ Р 55588—2013. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.

9. Джамай Е.В., Демин С.С., Сазонов А.А. Цифровые технологии в авиастроении и особенности трансформации бизнес-задач в рамках генезиса новой технологической концепции // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 29. С. 86–98.

10. Благоразумов А.К., Глухов Г.Е., Кирпичев И.Г. Разработка системы информационного мониторинга безопасности авиационной деятельности // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 218. С. 67–70.

11. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.

12. Будзко В.И., Казаринов Г.Г., Кан А.В., Михайлин И.С. База знаний как элемент комплексной системы управления научно-техническим заделом в авиационной отрасли // Труды ГосНИИ АС. Серия: Вопросы авионики. 2019. № 3 (43). С. 53–64.

13. Raffel C. et al. Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer //arXiv preprint arXiv: 1910.10683. 2019. P. 340.

14. Многозадачная модель T5 для русского языка. URL: https://habr.com/ru/post/581932/ (дата обращения: 25.10.2021).

15. Захарова И.В. Математическая модель семантического поиска с использованием онтологического подхода: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Челябинск, 2009. 20 с.

16. Рабчевский Е.А. Автоматическое построение онтологий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2007. № 52–2. С. 22–26.

17. Рабчевский Е.А. Автоматическое построение онтологий на основе лексико-синтаксических шаблонов для информационного поиска // Труды 11-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». RCDL'2009. Петрозаводск, 2009. С. 69–77.

REFERENCES

1. Dutov A.V., Kan A.V., Klochkov V.V., Shakun A.V., Shapkin V.S. The main directions of research activities in the interests of the development of the air transport system of the Russian Federation. *Nauchnij vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,* 2019, no. 29, pp. 9–21. (In Russian).

2. Doc 10004 – Global Aviation Safety Plan. [Electronic resource]. URL: https://www.icao.int/safety / Documents/10004_ru.pdf. (Accessed: 20.10.2021).

3. Appendix 19 to the Convention on International Civil Aviation. Flight Safety Management. [Electronic resource]. Available at: http://www.scac.ru/ru/wp-content/ uploads / 2016 / DOC_9859_3.pdf. (Accessed: 05.10.2021).

4. GOST R 57242—2016. Air transport. Aviation safety management system. Database. Aviation risks arising from the design of aviation technology. Moscow. Standartinform Publ, 2016, 16 p. (In Russian).

5. Flight safety management manual (RUBP-2019). Available at: https://elibrary.icao.int/reader/229754/&returnUrl%3D-aHR0cHM6Ly9lbGlicmFyeS5pY2FvLmludC9ob21lL3Byb2R1Y3QtZGV0YWlscy8yMjgOnTeZTQjc. (Accessed 15.10.2021)

6. GOST R 57235—2016. Air transport. Aviation safety management system. database. Aviation risks arising from the production of aircraft. Moscow. Standartinform Publ., 2016, 12 p. (In Russian).

7. GOST R 57236—2016. Air transport. Aviation safety management system. Database. Aviation risks arising from the production of certain types of operating activities: transport types. Moscow. Standartinform Publ., 2016, 20 p. (In Russian).

8. GOST R 55588—2013. Air transport. Aviation safety management system. Moscow. Standartinform Publ., 2016, 8 p. (In Russian).

9. Jamai E.V., Demin S.S., Sazonov A.A. Digital technologies in aircraft construction and peculiarities of transformation of business tasks within the framework of the genesis of a new technological concept. *Nauchnij vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 29, pp. 86–98. (In Russian).

10. Blagorazumov A.K., Glukhov G.E., Kirpichev I.G. Development of a system for information monitoring of the safety of aviation activity. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2015, no. 218, pp. 67–70. (In Russian).

11. Flakh P. *Mashinnoe obuchenie. Nauka i iskusstvo postroeniya algoritmov, kotorye izvlekayut znaniya iz dannykh* [Machine learning. The science and art of building algorithms that extract knowledge from data]. Moscow. DMK Press Publ., 2015, 400 p. (In Russian).

12. Budzko V.I., Kazarinov G.G., Kan A.V., Mikhailin I.S. The knowledge base as an element of an integrated system for managing the scientific and technical reserve in the aviation industry. *Trudy GosNII AS. Seriya: Voprosy avioniki = Proceedings of the GosNII AS. Series: Avionics Issues*, 2019, no. 3 (43), pp. 53–64. (In Russian).

13. Raffel C. et al. Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. arXiv preprint arXiv: 1910.10683. 2019, p. 340.

14. Multitasking model T5 for the Russian language. Available at: https://habr.com/ru/post/581932/. (Accessed: 10/25/2021).

15. Zakharova I.V. *Matematicheskaya model`semanticheskogo poiska s ispol`sovaniem ontologicheskogo podkhoda. Avtoref. diss. kand, fiz.-mat. nauk* [Mathematical model of semantic search using the ontological approach. Cand. phys. and mat. sci. abstract diss.]. Chelyabinsk, 2009, 20 p. (In Russian).

16. . Rabchevsky EA Automatic construction of ontologies. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta = Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University*, 2007, no. 52–2, pp. 22–26. (In Russian).

17. Rabchevsky EA Automatic construction of ontologies based on lexico-syntactic templates for information retrieval. *Trudy 11 Vserossijsoj nauchnoj konferentsii «Ehlektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, ehlektronnye kollertsii»* [Proceedings of the 11th All-Russian Scientific Conference «Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections»]. RCDL'2009. Petrozavodsk, 2009, pp. 69–77. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Будзко Владимир Игоревич, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ул. Вавилова, д. 44, кор. 2, Москва, Российская Федерация,119333; e-mail: vbudzko@ipiran.ru.

Волков Михаил Владимирович, кандидат технических наук, коммерческий директор, Закрытое научно-производственное акционерное общество «Отделение проблем военной экономики и финансов», ул. Хрустальная, д. 2, к. 4, г. Тверь, Российская Федерация, 170021; e-mail: mike-volkov@mail.ru.

Годиков Денис Александрович, руководитель проекта, Закрытое научно-производственное акционерное общество «Отделение проблем военной экономики и финансов», ул. Хрустальная, д. 2, к. 4, г. Тверь, Российская Федерация, 170021; e-mail: dengoody@yandex.ru.

Кан Анна Владимировна, кандидат технических наук, начальник аналитического отдела департамента координации и сопровождения программ, ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», Правительство Российской Федерации, ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: kanav@nrczh.ru.

Михайлин Иван Сергеевич, заместитель генерального директора, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», Правительство Российской Федерации, ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: mikhaylinis@nrczh.ru.

Шапкин Василий Сергеевич, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный работник транспорта РФ, доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора, ФГБУ Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского», Правительство Российской Федерации, ул. Викторенко, д. 7, корп. 12, Москва, Российская Федерация, 123519; e-mail: shapkinvs@nrczh.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Budzko Vladimir I., Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research, Institute for Informatics Problems, Federal Research Center «Informatics and Management» of the Russian Academy of Sciences, Vavilova Street, 44, Building 2, 119333 Moscow; e-mail: vbudzko@ ipiran.ru.

Volkov Mikhail V., Candidate of Technical Sciences, Commercial Director, Closed Scientific and Production Joint-Stock Company «Department of Problems of Military Economy and Finance», Khrustalnaya Street, 2, Building 4, 170021 Tver, Russian Federation; e-mail: mike-volkov@mail.ru.

Godikov Denis A., Project Manager, Closed Scientific and Production Joint-Stock Company «Department of the Problems of Military Economy and Finance», Khrustalnaya Street, 2, Building 4, 170021 Tver, Russian Federation; e-mail: dengoody@yandex.ru.

Kan Anna V., Candidate of Technical Sciences, Head of the Analytical Department of the Department for Coordination and Support of Programs, Federal State Budgetary Institution «National Research Center» Institute named after Zhukovsky», Government of the Russian Federation, Viktorenko Street, 7, Building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: kanav@nrczh.ru.

Mikhailin Ivan S., Deputy General Director, Federal State Budgetary Institution National Research Center "Institute named after Zhukovsky», Government of the Russian Federation, Viktorenko Street, 7, Building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: mikhaylinis@ nrczh.ru.

Shapkin Vasily S., Laureate of the Government of the Russian Federation in the Field of Science and Technology, Honored worker of transport of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy General Director, FSBI National Research Center «Institute named after Zhukovsky», Government of the Russian Federation, Viktorenko Street, 7, Building 12, 123519 Moscow, Russian Federation; e-mail: shapkinvs@nrczh.ru.

УДК 621.396.969.34

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОСТИ СООБЩЕНИЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА НА УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЗА СЧЕТ МЕТОДА МОНОЛАТЕРАЦИИ

А.О. МАШОШИН

Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье предложен разработанный автором метод монолатерации для определения истинности сообщений системы автоматического зависимого наблюдения. Метод монолатерации основан на алгоритмах машинного обучения и, в отличии от метода мультилатерации, для работы которого необходима группа наземных станций, позволяет определить истинность сообщений системы автоматического зависимого наблюдения с использованием только одной станции приема. Это стало возможным благодаря подходу, который заключается в том, что каждое сообщение системы автоматического зависимого наблюдения классифицируется как ложное или истинное по ряду признаков, включая такие как: координаты, высота воздушного судна и уровень принимаемого сигнала. Классификация производится с использованием заранее классифицированного массива данных, описывающего признаки распространяемых сообщений и их истинность для каждой точки обозреваемого воздушного пространства. Использование сокращенного числа станций приема сообщений системы автоматического зависимого наблюдения позволяет решить задачу определения истинности сообщений системы автоматического зависимого наблюдения и, как следствие, обеспечить достоверность сообщений системы автоматического зависимого наблюдения в отдаленных и труднодоступных районах, где невозможно размещение группы приемных станций. Также данный метод является более экономически целесообразным, чем метод мультилатерации, поскольку с сокращением количества станций приема, сокращаются затраты на внедрение и эксплуатацию. Для оценки эффективности метода монолатерации в лабораторных условиях был поставлен натурный эксперимент несанкционированного вмешательства, по результатам которого были определены наиболее эффективные классификационные алгоритмы машинного обучения.

Ключевые слова: автоматическое зависимое наблюдение, машинное обучение, мультилатерация, монолатерация, несанкционированное воздействие, кибербезопасность

MESSAGE VERIFICATION OF THE AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE SYSTEM UNDER UNAUTHORIZED INTERVENTION USING THE MONOLATERATION METHOD

A.O. MASHOSHIN

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article proposes a monolateration method developed by the author to determine the truthfulness of messages from an automatic dependent observation system. The monolateration method is based on machine learning algorithms and, in contrast to the multilateration method, for which a group of ground

stations is required, it makes it possible to determine the truth of the messages of the automatic dependent surveillance system using only one receiving station. This is made possible by the approach that each automatic dependent surveillance system message is classified as false or true based on a number of attributes, including coordinates, aircraft altitude, and received signal strength. The classification is made using a pre-classified data set describing the features of the messages being distributed and their truth for each point in the airspace. The use of a reduced number of stations for receiving messages from the automatic dependent surveillance system makes it possible to solve the problem of determining the truthfulness of messages from the automatic dependent surveillance system and, as a result, to ensure the reliability of messages from the automatic dependent surveillance system in remote and hard-to-reach areas where it is impossible to locate a group of receiving stations. Also, this method is more economically feasible than the multilateration method, since with a reduction in the number of receiving stations, the costs of implementation and operation are reduced. To assess the effectiveness of the monolateration method in laboratory conditions, a full-scale experiment of unauthorized interference was carried out, according to the results of which the most effective classification algorithms for machine learning were determined.

Keywords: automatic dependent surveillance, machine learning, multilateration, monolateration, tampering, cybersecurity

Введение

Автоматическое зависимое наблюдение (АЗН) является перспективной технологией, призванной заменить дорогостоящие с точки зрения монтажа и обслуживания средства первичной и вторичной радиолокации. Однако, выявленные проблемы, связанные с угрозами несанкционированного воздействия на взаимодействие на участке борт-земля не позволяют использовать информацию от данной системы без дополнительных проверок на достоверность. Так, согласно документу ИКАО 9924 «Руководство по авиационному наблюдению» [1], для использования АЗН в режиме вещания (АЗН-В) наземными службами необходима проверка информации, поступающей от воздушных судов (ВС) с помощью вторичной радиолокации (ВРЛ) или мультипозиционных систем наблюдения (МПСН). Данные проверки необходимы для реализации работы технологии АЗН-В по линии связи 1090ES.

Несмотря на то, что существуют и иные стандарты АЗН, такие как UAT и VDL-4, именно 1090ES был утвержден как единый стандарт для использования в воздушном пространстве (ВП) России [2]. В связи с этим на 39-й сессии ассамблеи ИКАО, технической комиссией со стороны ФГУП «ГосНИИ АС» было высказано следующее: «исследования ... подтвердили необходимость обязательного использования данных вторичной радиолокации или мультилатерации для верификации данных АЗН-В на базе ЛПД 1090 ES в системе УВД» и далее «в силу высоких затрат на ВРЛ и МПСН такое АЗН-В с экономической точки становится малоэффективным» [3].

Также встает вопрос об использовании АЗН-В рядом с государственными границами и в труднодоступных районах – для функционирования МПСН требуется разнесение приемных станций как минимум на 15-20 км, а учитывая необходимость, как минимум, в четырех станциях, решить такую задачу становится практически невозможным. Несмотря на очевидные недостатки, технология АЗН-В внедряется и применяется в автоматизированных системах управления воздушным движением (АС УВД), однако не хотелось бы, чтобы перспективная на первый взгляд технология, на внедрение которой потрачены немалые средства, оказалась атавизмом из-за упомянутых проблем кибербезопасности и экономической эффективности. Для решения задачи эффективного внедрения АЗН-В необходимо решить основную задачу по обеспечению безопасного использования технологии АЗН-В в условиях несанкционированного вмешательства.

Определение истинности сообщений при несанкционированном вмешательстве

Одним из подходов к проверке данных АЗН-В (их верификации) является использование многопозиционной системы наблюдения (МПСН), состоящей из группы приемников АЗН-В. В основе данного подхода лежит местоопределение цели по разности времен прихода радиосигнала до станций приема, при этом существует несколько математических моделей, позволяющих выполнить эту задачу с разными показателями точности, напрямую зависящей от конфигурации системы: количества станций приема, их месторасположения относительно друг друга, уровня помех, точности определения времени прихода сигнала и положения ВС относительно станций [4]. На основе сравнения данных о местоположении в сообщениях АЗН-В с расчетами, полученными от пассивной разностно-дальномерной системы, становится возможным исключить недостоверные сообщения, при этом качество подобной фильтрации напрямую зависит от точности определения положения ВС.

Существуют также и иные подходы к верификации сообщений АЗН-В, такие как шифрование [5] и применение схем с открытым ключом [6]. Однако данные методы не применяются в реальных условиях, поскольку затраты на их внедрение являются колоссальными – требуется переоборудование каждого борта ВС.

Проиллюстрируем модель несанкционированного вмешательства (рис. 1). На схеме описаны основные инструменты несанкционированного воздействия злоумышленника – возможность использования модели движения ВС, список идентификаторов, регулировка мощности передатчика и другие.

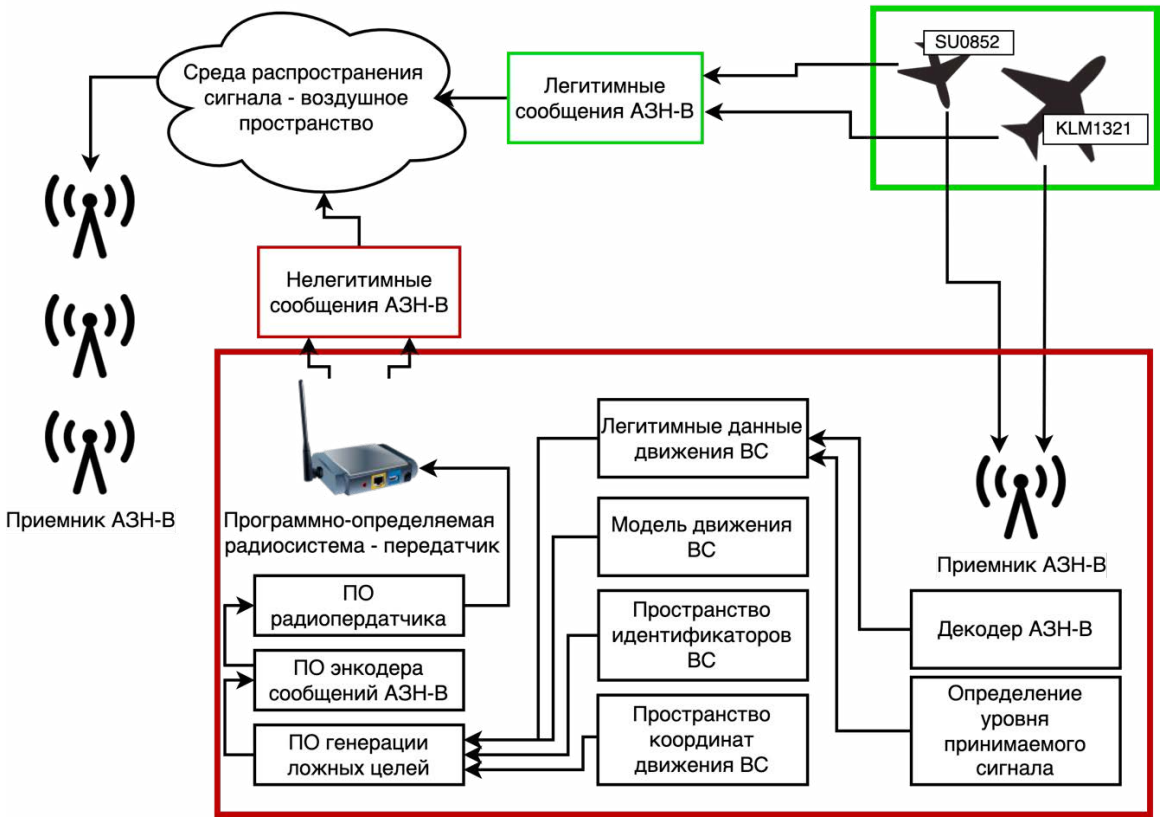


Рис. 1. Схема несанкционированного вмешательства в систему АЗН-В

Для реализации атаки не требуется большое количество вычислительных ресурсов. В то же время для осуществления проверки истинности сообщений требуется от четырех базовых станций приема в случае с использованием МПСН. Для решения задачи разностно-дальномерным способом применяют метод наименьших квадратов, метод рядов Тейлора, алгоритм Чана [7] и другие – для обеспечения решения уравнения определения истинного положения при избыточном количестве станций.

Определение истинности сообщений с помощью одной станции приема

Основная идея противодействия несанкционированному вмешательству и определения истинности сообщений заключается в использовании знаний, которыми не обладает злоумышленник. В случае с МПСН этим знанием является время прихода сигнала на несколько приемных станций группы. Однако, при приеме сигнала только одной станцией данный признак уже не позволит сделать выводы об истинности сообщения. В то же время, если рассмотреть сообщения АЗН-В, как вектор, составленный из ряда признаков, данный вопрос решается.

По структуре каждое сообщение АЗН-В 1090ES состоит из следующих полей: ИКАО-код ВС, номер рейса, координаты ВС, высота ВС, горизонтальная и вертикальная скорости полета ВС. Также, при приеме сообщений АЗН-В, мы обладаем информацией об уровне принимаемого сигнала. Перечисленные признаки можно подделать, однако отсутствие у злоумышленника информации о том, с каким уровнем сигнал будет принят станцией приема из заданной точки ВП, позволяет создать эффективную методику противодействия атаке внедрения ложного сообщения. Данная задача решается классификационными методами машинного обучения, суть которых сводится к следующему: на основе большого массива промаркированных векторов данных отнести каждое поступающее сообщение к одному из двух классов: «ложь» либо «истина».

Использование методов машинного обучения классификационного типа позволяет осуществлять верификацию сообщений АЗН-В при помощи одной наземной станции приема. Исходя из возможности режима работы с использованием только одной станции, такой метод верификации в данной работе будет именоваться монолатерацией.

Эффективность методов машинного обучения подтверждается их применением в таких отраслях как экономика, финансы, промышленность. В частности, данная передовая технология применяется в системе сбора и обработки данных о безопасности полетов [8].

Всего рассматривалось четыре популярных метода машинного обучения – адаптивный бустинг, градиентный бустинг, метод К-ближайших соседей и наивный байесовский классификатор. Было выбрано несколько методов бустинга, поскольку согласно исследованиям, они являются более эффективными, чем методы бэггинга [9].

Для определения эффективности алгоритмов необходимо произвести моделирование на реальных данных, предварительно промаркированных конечными классами (ложное/истинное сообщение). Для всех перечисленных методов необходимо произвести обучение алгоритма. Под обучением понимают минимизацию эмпирического риска, т.е. средней величины ошибки на обучающей выборке. Для определения точности алгоритма применяют различные функции потерь, у каждой из которых, независимо от модели, аргументами являются – выходное значение модели и ожидаемое истинное значение из промаркированной выборки.

В данной работе для определения эффективного алгоритма машинного обучения для выявления несанкционированного вмешательства использовался следующий порядок действий:

1. получение обучающей выборки;
2. разбиение обучающей выборки на несколько частей;
3. отбор полезных признаков с использованием алгоритмов решающих деревьев;
4. настройка параметров модели обучения (глубина деревьев, количество итераций);
5. оценка модели на тестовой выборке с использованием различных метрик –Accuracy, precision, recall и AUC-ROC.

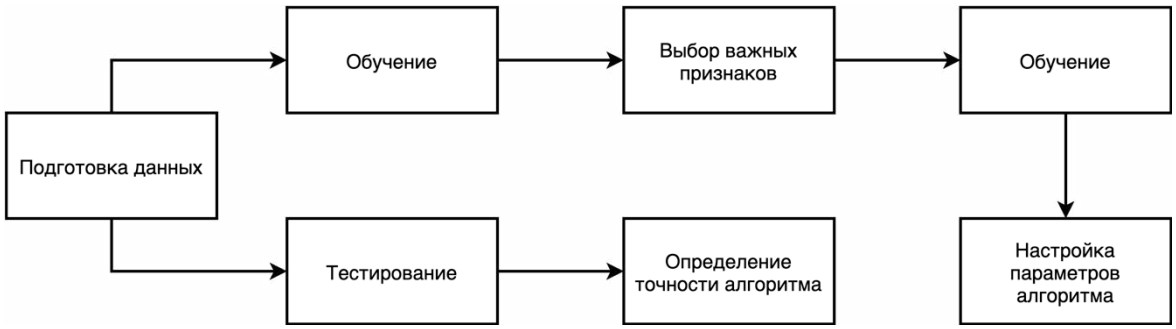


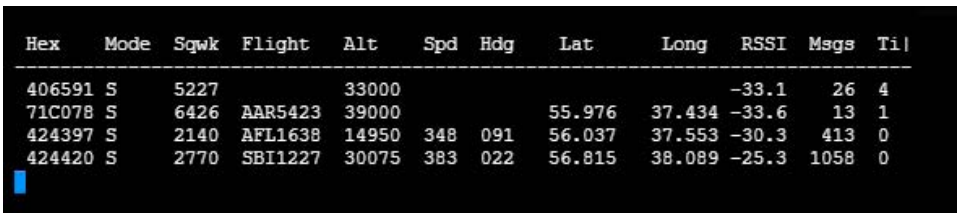
Рис. 2. Схема процесса определения оптимального алгоритма машинного обучения

Сбор данных АЗН-В и применение метода монолатерации

Для реализации задачи сбора информации на основе программно-определяемой радиосистемы (SDR) на базе чипов RTL2832U+R820T2 за период с 05.11.2020 по 28.11.2020 было собрано 20 млн сообщений АЗН-В.

Рис. 3. Оборудование для приема сообщений АЗН-В

Приведем скриншот (рис. 4) из программы-декодера сообщений АЗН-В dump1090. На момент создания скриншота несанкционированное воздействие не проводилось.



Hex	Mode	Sqwk	Flight	Alt	Spd	Hdg	Lat	Long	RSSI	Msgs	Ti|
406591	S	5227		33000					-33.1	26	4
71C078	S	6426	AAR5423	39000			55.976	37.434	-33.6	13	1
424397	S	2140	AFL1638	14950	348	091	56.037	37.553	-30.3	413	0
424420	S	2770	SBI1227	30075	383	022	56.815	38.089	-25.3	1058	0

Рис. 4. Вывод программы декодирования сообщений АЗН-В dump1090

На рис. 5 и рис. 6 представлены полярные диаграммы приема сигналов АЗН-В. Данные диаграммы отражают общую картину мощности принимаемого сигнала за месяц наблюдений – по координатам полученных сообщений рассчитывался пеленг и дальность, для полученной точки на диаграмме рассчитывался усредненный уровень принимаемого сигнала (RSSI).

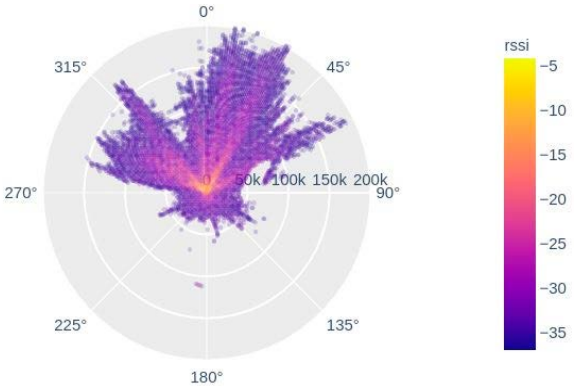


Рис. 5. Диаграммы приема сигналов для приемной станции внутри помещения

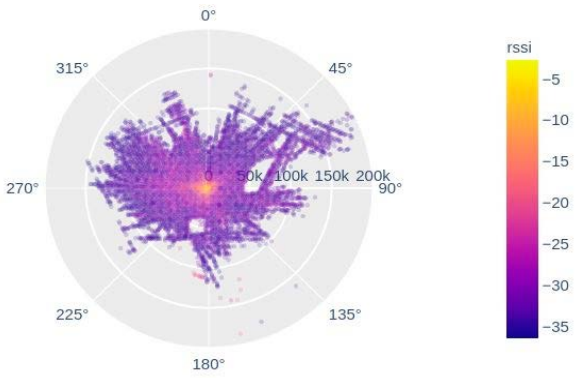


Рис. 6. Диаграммы приема сигналов для приемной станции снаружи помещения

Из полученных диаграмм видно, что «картина» приема при разном расположении приемного устройства отличается кардинально. В связи с этим можно предположить, что наиболее сложной с позиции злоумышленника является фальсификация признака RSSI.

Для реализации задачи обучения осуществлялось «подмешивание» ложных данных к истинным и их маркировка. Производилось обучение и настройка методов: обучающая выборка с промаркированными данными разбивалась на несколько частей, производился отбор полезных признаков (наиболее влияющих на классификацию), настраивались параметры обучения (глубина деревьев, количество итераций), финальная модель обучения оценивалась с использованием метрик Accuracy, precision, recall и AUC-ROC [10].

Проведение натурного эксперимента несанкционированного вмешательства

После этапа обучения для оценки эффективности предлагаемых методов на маркированных данных производилось моделирование атаки при условиях, приближенных к реальным – с низкой мощностью передатчика, недостаточной для влияния на службы АС УВД, осуществлялась передача сгенерированных немаркированных данных в радиоэфир и их последующий прием.

Рис. 7. Оборудование для передачи ложных сообщений АЗН-В

Проводилась атака двух типов: генерация ложных данных, исходя из модели движения ВС (моделируемые параметры), и полное повторение сигналов (дублирование реальных данных), полученных с другой станции приема (рис. 8).

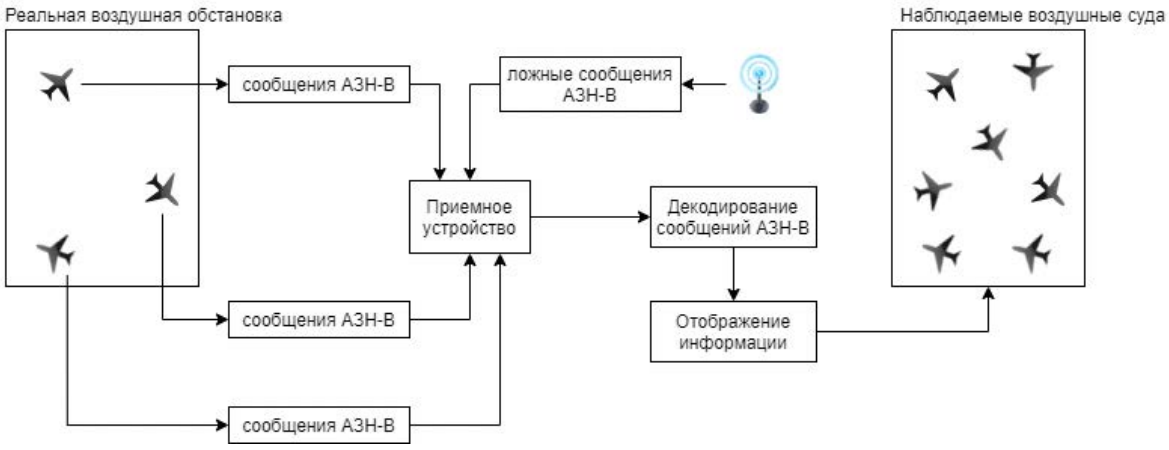


Рис. 8. Схема постановки эксперимента атаки повторения сигналов АЗН-В

Для упрощения, для реализации атаки второго типа сообщения «подмешивались» в конечную базу данных без их передачи в радиоэфир.

Оценка эффективности метода монолатерации

Результаты натурного эксперимента представлены в табл. 1. В ней приведена оценка истинности сообщений в разрезе по различным алгоритмам машинного обучения при двух типах несанкционированного вмешательства – при моделировании ложных данных и при дублировании реальных данных АЗН-В.

Таблица 1

Сравнение алгоритмов машинного обучения

	Моделируемые параметры			Дублирование реальных данных		
	Ошибка I рода	Ошибка II рода	Точность	Ошибка I рода	Ошибка II рода	Точность
Метод К-ближайших соседей	4/856	9/17988	99,93	1636/15526	1449/18346	91,65
Градиентный бустинг	3/857	8/17989	99,94	2557/14605	2780/17015	85,56
Адаптивный бустинг	8/852	12/17985	99,89	3488/13674	3324/16471	81,56
Наивный байесовский классификатор	858/2	1/17996	95,44	17133/29	0/19795	53,64

Наиболее точными классификационными алгоритмами машинного обучения, согласно поставленному эксперименту, являются метод К-ближайших соседей и градиентный бустинг. Ожидаемо подтвердилась высокая эффективность метода монолатерации при несанкционированном вмешательстве с моделируемыми параметрами, однако и при атаке с повторением сигналов АЗН-В, метод монолатерации также показал сопоставимо высокие результаты при использовании метода К-ближайших соседей.

При проведении обучения и работы метода, была произведена оценка вклада каждого из признаков, результаты которой представлены на рис. 9.

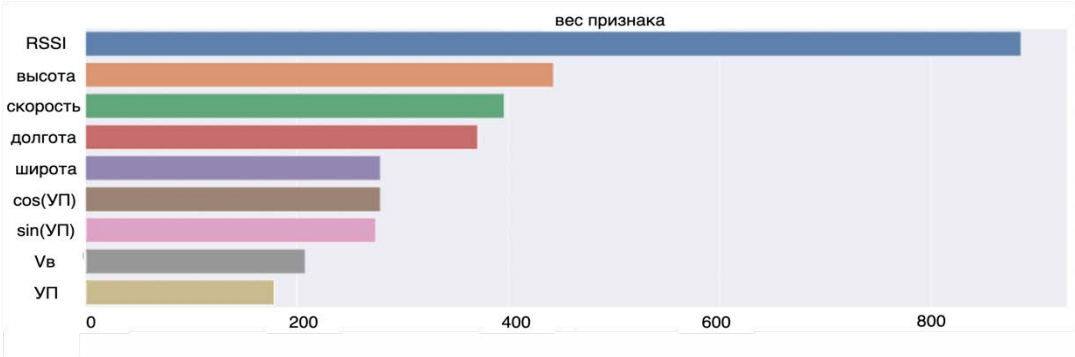


Рис. 9. Вклад признаков при классификации сообщений АЗН-В

Исходя из полученных результатов, наиболее значимым признаком является уровень принимаемого сигнала, что подтверждает предположение о том, что данный признак сложнее всего подделать, поскольку злоумышленник не обладает знаниями об устройстве приема и распространении сигналов для каждой точки ВП.

Выводы

На основании проведенных исследований были получены показатели эффективности разработанного метода. Так эффективность метода монолатерации при моделировании параметров движения ВС злоумышленником составляет 99,94 %. В случае повторения злоумышленником сигналов с другого приемного устройства в идеальных условиях эффективность составляет 91,65 %.

Необходимо отметить, что полученные результаты возможно улучшить, использовав дополнительную станцию приема, при этом нет необходимости в пространственном разнесении приемников – достаточно наличия у приемника иных характеристик антенны.

Предложенный метод обладает немаловажным преимуществом, заключенным в отсутствии необходимости размещения группы приемников, а также их точной синхронизации. Для практического применения данного метода необходимо производить дальнейшие исследования, однако полученные результаты уже позволяют сделать вывод о возможности применения монолатерации в решении задачи определения истинности сообщений АЗН-В при несанкционированном вмешательстве на управление воздушным движением.

ЛИТЕРАТУРА

1. ИКАО. Doc 9924. Руководство по авиационному наблюдению. Монреаль, 2016.

2. Протокол совещания по выполнению подпункта «а» пункта 1 Перечня поручений Президента Российской Федерации по вопросу повышения уровня безопасности полетов. 29.04.2016 № Пр-800. Москва, 2016.

3. ИКАО. Ассамблея, 39 сессия (А39-WP/2961). Наблюдение дистанционно пилотируемых воздушных судов и вопросы кибербезопасности. Монреаль, 2016.

4. Малько Г.Д. Исследование рабочих зон многопозиционных систем наблюдения // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. Иркутский филиал МГТУ ГА, 2018. С.13–20.

5. Cindy Finke, Jonathan Butts and Robert Mills. ADS-B Encryption: Confidentiality in the Friendly Skies, CSIIRW ’12, Oak Ridge, Tennessee, USA. 2012. 4 p.

6. S. Amin, T. Clark, R. Offutt and K. Serenko, Design of a cyber security framework for ADS-B based surveillance systems. 2014 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS). 2014. Pp. 304–309.

7. Машошин А.О. Вопросы избыточности в задаче определения местоположения воздушного судна разностно-временным методом // Научный вестник МГТУ ГА. 2016. № 224. С. 147–156.

8. Будзко В.И., Демин С.С., Дутов А.В., Кан А.В., Михайлин И.С., Шапкин В.С. Система управления безопасностью авиационной деятельности – основной элемент перспективной авиатранспортной системы // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 32. С.121–131.

9. Machova K. A comparison of the bagging and the boosting methods using the decision trees classifiers // Computer Science and Information Systems. 2006. Vol. 3. No 2. Pp. 57–72.

10. Tom Fawcett. An introduction to ROC analysis // Institute for the Study of Learning and Expertise, 2164 Staunton Court, Palo Alto, CA 94306, USA. 2005.

REFERENCES

1. ICAO. Doc 9924. Manual of Aeronautical Surveillance. Montreal, 2016.

2. Minutes of the meeting on the implementation of subparagraph «a» of paragraph 1 of the List of instructions of the President of the Russian Federation on increasing the level of flight safety. 04/29/2016 No. Pr-800. Moscow, 2016. (In Russian).

3. ICAO. Assembly, 39th Session (A39-WP / 2961). Remotely piloted aircraft surveillance and cyber security issues. Montreal, 2016.

4. Malko G.D. Research of working zones of multi-position surveillance systems. *Aktual`nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoj aviatsii. Sbornik trudov vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii* [Actual problems and prospects of civil aviation development. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Irkutsk branch of MSTU CA, 2018, pp. 13–20. (In Russian).

5. Cindy Finke, Jonathan Butts and Robert Mills, ADS-B Encryption: Confidentiality in the Friendly Skies, CSIIRW ’12, Oak Ridge, Tennessee, USA, 2012, 4 p.

6. S. Amin, T. Clark, R. Offutt and K. Serenko, Design of a cyber security framework for ADS-B based surveillance systems, 2014 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2014, pp. 304–309.

7. Mashoshin A.O. Issues of redundancy in the problem of determining the location of an aircraft by the time-difference method. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Scientific Bulletin of MSTU CA,* 2016, no. 224, pp. 147–156. (In Russian).

8. Budzko V.I., Demin S.S., Dutov A.V., Kan A.V., Mikhailin I.S., Shapkin V.S. The safety management system of aviation activity is the main element of a promising air transport system. *Nauchnyj vestnik GosNII GA = Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 32, pp. 121–131. (In Russian).

9. Machova K. A comparison of the bagging and the boosting methods using the decision trees classifiers. Computer Science and Information Systems, 2006, vol., 3, no 2, pp. 57–72.

10. Tom Fawcett. An introduction to ROC analysis. Institute for the Study of Learning and Expertise, 2164 Staunton Court, Palo Alto, CA 94306, USA. 2005.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Машошин Антон Олегович, инженер, аспирант, ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский б-р, 20, Москва, Российская Федерация, 125493; e-mail: mashoshin.anthony@gmail.com.

ABOUT THE AUTHOR

Mashoshin Anton O., Engineer, Post-Graduate Student, Federal State Unitary Enterprise Moscow State Technical University of Civil Aviation, Kronshtadtsky blvd., 20, 125493 Moscow, Russian Federation; e-mail: mashoshin.anthony@gmail.com.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61476 от 24 апреля 2015 г.

Подписано в печать 30.12.2021

Печать офсетная	Формат 60/84/8	8,4 уч.-изд. л.
16,97 усл. печ. л.	Заказ № 1720	Тираж 70 экз.

Изготовлено и оформлено: ООО "Мегапринт"

e-mail: irkprint@yandex.ru

Автор верстки: Корнакова Ю.А.