

**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**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ (№ 352)

№ 41

**Москва
2022**

ББК 39.5

НЗ4

Научный вестник ГосНИИ ГА

Основан в 1952 году

Учредитель. Издатель. Редакция:

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

Founder, Publisher, Editorial board:

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation
Mikhalkovskaya Street, 67, building 1, 125438 Moscow, Russian Federation

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.

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.

Подписной индекс в Интернет-каталоге
«Пресса России» 70663
© ФГУП Государственный НИИ гражданской авиации, 2022

Редакционная коллегия

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

Члены редакционной коллегии

- В. И. Горбаченко, д-р техн. наук, проф. (ПГУ, Пенза, Россия)
- М. С. Громов, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, канд. техн. наук (ГосНИИ ГА, Москва, Россия)
- С. В. Далецкий, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, д-р техн. наук, проф. (ГосНИИ ГА, Москва, Россия)
- А. В. Кан, канд. техн. наук (НИЦ «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия)
- А. Я. Книвель, канд. техн. наук (Авиарегистр России, Москва, Россия)
- В. Б. Козловский, д-р техн. наук, проф. (ПАНХ, Краснодар, Россия)
- Е. А. Куклев, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, д-р техн. наук, проф. (СПбГУ ГА, Санкт-Петербург, Россия)
- У. Э. Курманов, канд. техн. наук, доц. (Кыргызский авиационный институт им. И. Абдраимова, Бишкек, Кыргызская Республика)
- Е. Е. Нечаев, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, д-р техн. наук, проф. (МГТУ ГА, Москва, Россия)
- В. А. Соколов, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, д-р физ.-мат. наук, проф. (Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, Ярославль, Россия)
- О. Ю. Страдомский, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, канд. техн. наук (ГосНИИ ГА, Москва, Россия)
- Р. С. Фадеев, канд. техн. наук (Ассоциация «Транспортная безопасность», Москва, Россия)
- Фам Вьет Зунг, канд. техн. наук (Министерство транспорта Вьетнама, Ханой, Вьетнам)
- О. Г. Феоктистова, д-р техн. наук, доц. (МГТУ ГА, Москва, Россия)

тел./факс: 8 (495) 956 49 63 (*1018)

e-mail: science@gosniiga.ru

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

Editorial Board

Chief editor	– Maksimenko A. V., Cand. Sci. (Sociol.), GosNII GA, Moscow, Russia
Deputy chief editor	– Bogoyavlenskiy A. A., Dr. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Responsible Secretary	– Diogenov S. V., Cand. Sci. (Mil.), GosNII GA, Moscow, Russia

The members of the Editorial Board

Gorbachenko V. I., Dr. Sci. (Eng.), Prof., Penza State University, Penza, Russia
Gromov M. S., Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Daletskiy S. V., Dr. Sci. (Eng.), Prof., GosNII GA, Moscow, Russia
Dung Pham Viet, Cand. Sci. (Eng.), Department of Air Navigation of the Ministry of Transport of Vietnam, Hanoi, Vietnam
Kan A. V., Cand. Sci. (Eng.), National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia
Knivel A. Ya., Cand. Sci. (Eng.), Aviation Register of the Russian Federation, Moscow, Russia
Kozlovskiy V. B., Dr. Sci. (Eng.), Prof., PANH Helicopters, Krasnodar, Russia
Kuklev E. A., Dr. Sci. (Eng.), Prof., Saint-Petersburg State University CA, Saint-Petersburg, Russia
Kurmanov U. Eh., Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Kyrgyz Aviation Institute named after I. Abdramova, Bishkek, Kyrgyzstan
Nechaev E. E., Dr. Sci. (Eng.), Prof., MSTU CA, Moscow, Russia
Sokolov V. A., Dr. Sci. (Phys.-Mat.), Prof., P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia
Stradomskiy O. Yu., Cand. Sci. (Eng.), GosNII GA, Moscow, Russia
Fadeev R. S., Cand. Sci. (Eng.), Transport Safety Association, Moscow, Russia
Feoktistova O. G., Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MSTU CA, Moscow, Russia

tel./fax: 8 (495) 956 49 63 (*1018)

e-mail: science@gosniiga.ru

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

**НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

№ 41

2022

СОДЕРЖАНИЕ

Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

- Разиньков Ф. Ф.** Анализ эксплуатационных повреждений шпангоутов центральной части фюзеляжа вертолётов типа Ми-8, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок 9
- Громов М. С., Степанов В. Н., Арепьев К. А., Костенко А. В., Смирнов А. В.** Уменьшение величины концентрации напряжений в зенкованном отверстии панели съёмной части крыла самолёта Ан-24 путём создания локальной пластической деформации 22
- Степанов В. Н., Арепьев К. А., Громов М. С., Костенко А. В., Смирнов А. В.** Анализ эксплуатационного дефекта съёмной панели отъёмной части крыла самолёта Ан-24 32
- Северин А. В., Носкова Н. В., Фесенко Ю. С.** Перспективы развития технологии цифровой линии передачи данных «диспетчер-пилот» в отечественной гражданской авиации 39
- Поваров О. Ю., Попов Д. П.** Исследование технического состояния и дополнительных методов эксплуатационного контроля обтекателей радиолокационных станций самолётов Ан-124-100 46
- Болелов Э. А., Шалупин С. В., Фридзон М. Б., Губерман И. Б., Рубцов В. Д.** Алгоритм управления техническими параметрами авиационных радиоэлектронных систем 57
- Максименко А. В., Шапкин В. С., Богоявленский А. А.** Научный вестник ГосНИИ ГА как один из источников возникновения и развития отечественной науки о гражданской авиации 69
- Пашенных В. Г., Жогин А. И., Фокина Г. Г.** Требования к полю наблюдения для ОВД в воздушном пространстве Российской Федерации с учётом новых систем наблюдения 82

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, её регионов и городов, организация производства на транспорте

- Егошин С. Ф., Клочков В. В.** Обоснование требований к перспективным самолётам для российских межрегиональных авиалиний на среднесрочную и долгосрочную перспективы 90
- Фридлянд А. А., Низаметдинов Р. Р.** Оценочные показатели и результаты анализа технического совершенства гражданских самолётов по сегментам авиатранспортного рынка 103
- Яблоков А. Ю., Максименко А. В., Шувалова Е. В.** Международный опыт внедрения беспилотных авиационных систем в единое воздушное пространство 114
- Лаврентьев О. Ю.** Внедрение странами ЕС программы АССЗ в качестве основной меры по контролю за безопасностью цепи поставок авиагрузов 125

Интеллектуальные транспортные системы

- Спрысков В. Б., Шувалова Е. В., Кузнецов С. В.** Решение экстремальных задач определения фактического минимального горизонтального интервала между ВС при эшелонировании на пересекающихся курсах по информации системы наблюдения обслуживания воздушного движения 133
- Благоразумов А. К., Черников П. Е., Глухов Г. Е., Сёмин А. В.** Методы обеспечения безопасности веб-приложений 144

**SCIENTIFIC BULLETIN
OF THE STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE
OF CIVIL AVIATION**

№ 41

2022

CONTENTS

Navigation and operation of aircraft

- Razinkov F. F.** Analysis of operational damage to the frames of the central part of the fuselage of Mi-8 helicopters caused by fatigue of the material under the action of vibroacoustic loads 9
- Gromov M. S., Stepanov V. N., Arepyev K. A., Kostenko A. V., Smirnov A. V.** Reducing the stress concentration in the countercountered hole of the panel of the removable part of the wing of the An-24 aircraft due to the creation of local plastic deformation 22
- Stepanov V. N., Arepyev K. A., Gromov M. S., Kostenko A. V., Smirnov A. V.** Analysis of the operational defect of the removable panel of the removable part of the wing of the An-24 aircraft 32
- Severin A. V., Noskova N. V., Fesenko Yu. S.** Prospects for the development of Controller-Pilot Data Link Communications Technology in domestic civil aviation 39
- Povarov O. Yu., Popov D. P.** Investigation of the technical condition and additional methods of operational control of An-124-100 aircraft radome radars 46
- Bolelov E. A., Shalupin S. V., Fridzon M. B., Guberman I. B., Rubtsov V. D.** Algorithm for controlling the technical parameters of aviation radio-electronic systems 57
- Maksimenko A. V., Shapkin V. S., Bogoyavlenskiy A. A.** Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation as one of the sources the emergence and development of domestic science about civil aviation 69
- Pashennykh V. G., Zhogin A. I., Fokina G. G.** Requirements for the field of observation for ATS in the airspace of the Russian Federation, taking into account the new surveillance systems 82

Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport

- Egoshin S. F., Klochkov V. V.** Substantiation of requirements for aircraft of Russian interregional airlines for the medium and long term 90
- Fridlyand A. A., Nizametdinov R. R.** Estimated indicators and results of the analysis of the technical perfection of civil aircraft by segments of the air transport market 103
- Yablokov A. Yu., Maksimenko A. V., Shuvalova E. V.** International experience in the introduction of unmanned aircraft systems into a single airspace 114
- Lavrentyev O. Yu.** EU countries implementation of “EU ACC3 programme” as the main measure of control of aircargo supply chain security 125

Intelligent transport systems

- Spryskov V. B., Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V.** Decision problems of determining the actual minimum horizontal interval between aircrafts when separation on crossing courses using the information of the air traffic service supervision system 133
- Blagorazumov A. K., Chernikov P. E., Glukhov G. E., Semin A. V.** Web application security methods 144

Научная статья

УДК 629.735.015.4:539.433

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ШПАНГОУТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ФЮЗЕЛЯЖА ВЕРТОЛЁТОВ ТИПА МИ-8, ВЫЗВАННЫХ УСТАЛОСТЬЮ МАТЕРИАЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Ф. Ф. РАЗИНЬКОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье приведены основные результаты анализа усталостных повреждений шпангоутов центральной части фюзеляжа (ЦЧФ) вертолётов типа Ми-8. Показано, что после проведения в производстве доработок силовых шпангоутов № 7 и № 10 ЦЧФ, к которым крепится рама главного редуктора, а, соответственно, и вся несущая система вертолёта, наиболее часто повреждения усталостного характера выявляются в шпангоутах № 9 ЦЧФ, для которых разработан бюллетень по устранению выявленных усталостных трещин в условиях ремонтных предприятий. Также большое количество усталостных трещин выявляется в шпангоутах ЦЧФ, сопряжённых с внешними агрегатами или элементами конструкции вертолёта – шпангоутах № 1 ЦЧФ в зоне крепления к нему соединительных фитингов грузовой лебёдки ЛПГ-150 и грузовой стрелы и № 18 ЦЧФ в зоне установки обтекателя антенны АШС-1. По результатам проведённого анализа для повышения долговечности шпангоутов ЦЧФ рекомендовано произвести усиление шпангоутов № 1 и № 18 ЦЧФ в зонах крепления к ним внешних агрегатов и элементов конструкции. Усиление шпангоутов № 9 ЦЧФ между стрингерами №№ 9–12 по обоим бортам вертолёта в соответствии с эксплуатационным бюллетенем рекомендовано проводить для всех неусиленных шпангоутов, а не только для имеющих трещины. Анализ распределения суммарного количества усталостных повреждений шпангоутов по наработке с начала эксплуатации позволил выявить интервалы наработок, при которых в элементах поперечного силового набора каркаса ЦЧФ наблюдается изменение интенсивности образования усталостных трещин. На основании имеющихся статистических данных о наработках вертолёта при выявлении трещин усталостного характера проведена оценка наработки с начала эксплуатации, при которой необходимо начинать периодический контроль с целью выявления таких трещин, и оценка необходимости введения периодического контроля в эксплуатации неусиленных шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8.

Ключевые слова: вертолёт Ми-8, центральная часть фюзеляжа, шпангоут, стрингер, ремонтная накладка, усталостное повреждение, трещина

Для цитирования: *Разиньков Ф. Ф.* Анализ эксплуатационных повреждений шпангоутов центральной части фюзеляжа вертолётов типа Ми-8, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 9–21.

ANALYSIS OF OPERATIONAL DAMAGE TO THE FRAMES OF THE CENTRAL PART OF THE FUSELAGE OF MI-8 HELICOPTERS CAUSED BY FATIGUE OF THE MATERIAL UNDER THE ACTION OF VIBROACOUSTIC LOADS

F. F. RAZINKOV

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

© Ф. Ф. РАЗИНЬКОВ, 2022

Abstract. The article presents the main results of the analysis of fatigue damage to the frames of the central part of the fuselage (CPF) of Mi-8 helicopters. It is shown that after the modifications of the power frames no. 7 and no. 10 of the CPF, to which the frame of the main gearbox is attached, and, accordingly, the entire bearing system of the helicopter, fatigue damage is most often detected in the frames no. 9 of the CPF, for which a bulletin has been developed to eliminate the identified fatigue cracks in the conditions of repair enterprises. In addition, a large number of fatigue cracks are detected in the frames of the CPF, coupled with external aggregates or structural elements of the helicopter. Such are the frames no. 1 of the CPF in the area of attachment to it of the connecting fittings of the cargo winch LPG-150 and the cargo boom, and frames no. 18 of the CPF in the area of installation of the antenna fairing ASHS-1. According to the results of the analysis, in order to increase the durability of the CPF frames, it is recommended to strengthen the frames no. 1 and no. 18 of the CPF in the areas of attachment of external units and structural elements to them. Reinforcement of frames no. 9 of the CPF between stringers no. 9 – no. 12 on the left and right sides of the helicopter in accordance with the operational bulletin is recommended to be carried out for all non-reinforced frames, and not only for those with cracks. Analysis of the distribution of the total amount of fatigue damage to the frames 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 crack formation is observed in the elements of the transverse power set of the CPF frame. Based on the available statistical data on the helicopter's operating time when fatigue cracks are detected, an assessment of the operating time since the beginning of operation has been carried out, at which it is necessary to begin periodic monitoring in order to identify such cracks, and an assessment of the need to introduce periodic monitoring in the operation of non-reinforced frames of the Mi-8 type helicopters has been carried out.

Keywords: Mi-8 helicopter, central part of the fuselage, frame, stringer, repair plate, fatigue damage, crack

For citation: Razinkov F. F., Analysis of operational damage to the frames of the central part of the fuselage of Mi-8 helicopters caused by fatigue of the material under the action of vibroacoustic loads, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 9–21. (In Russ.)

Введение

Шпангоуты центральной части фюзеляжа (ЦЧФ) вертолётов Ми-8 всех типов и модификаций являются основными поперечными силовыми элементами каркаса вертолёт, составляющими грузовую кабину. Конструктивно ЦЧФ одинакова для планеров всех вертолётов модельного ряда Ми-8, Ми-8МТ, Ми-17, Ми-172 и Ми-171 вплоть до Ми-171А2. В связи с этим анализ эксплуатационной повреждаемости шпангоутов ЦЧФ, вызванной усталостью материала под действием виброакустических нагрузок, необходимо проводить для достижения двух важных целей.

Во-первых, для оценки изменения интенсивности выявления повреждений усталостного характера в конструкции ЦЧФ вертолётов типа Ми-8, на основании чего проводится коррекция периодичности осмотров и инструментального контроля силовых элементов конструкции.

Во-вторых, для прогнозирования расположения зон с усталостной повреждаемостью и оценки наработок, при которых такая повреждаемость может быть выявлена в указанных зонах на вертолёт, имеющих одинаковую с ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 конструкцию, но более нагруженных.

В данной статье термин «повреждение» используется применительно к усталостным трещинам, выявленным в объектах исследования.

Объект исследования

Объектом исследования являются шпангоуты ЦЧФ парка вертолётов типа Ми-8, зарегистрированных в Государственном реестре гражданских воздушных судов Российской Федерации.

В работе [1] было продемонстрировано, что повреждение нижних частей шпангоутов ЦЧФ грузовой кабины (под грузовым полом) по внешним признакам происходит под действием нагрузок, сопровождающихся общей и локальной пластической деформацией деталей. Таким образом, трещины в нижних частях шпангоутов обусловлены, в основном, статическими и повторно-статическими нагрузками. В статье рассматриваются повреждения в виде трещин только верхних балок и боковин шпангоутов ЦЧФ.

Цель исследования

Целью исследования является анализ повреждаемости шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 под действием виброакустических нагрузок.

Краткая характеристика объекта исследования

Шпангоуты наряду со стрингерами составляют каркас ЦЧФ, в состав которого входит 23 шпангоута. Шпангоуты № 1 и № 23 являются стыковыми с носовой частью фюзеляжа и хвостовой балкой соответственно. Шпангоуты с № 1 по № 13 составляют поперечный силовой набор каркаса грузовой кабины, шпангоуты с № 13 по № 23 – поперечный силовой набор каркаса заднего отсека (гаргрота) фюзеляжа.

Все шпангоуты, за исключением стыковых, являются составными, включающими в себя верхнюю балку, две боковины и нижнюю часть, входящую в силовой набор грузового пола. Грузовой пол в поперечном направлении ограничен пространством между стрингерами № 23 по левому и правому бортам вертолётa. Боковины и нижние части шпангоутов соединяются фитингами.

Наибольшие нагрузки от внешних сил воспринимают усиленные шпангоуты № 7 и № 10, изготовленные из крупных штампованных заготовок деформируемого алюминиевого сплава АК6. Боковина шпангоута № 7 скреплена гребенчатым соединением с верхней балкой двумя горизонтально распложенными болтами. На места стыка боковин и верхней балки шпангоута № 10 на болтах и заклепках устанавливается усиливающая накладка.

Неусиленные шпангоуты, кроме стыковых, однотипны и имеют в сечении Z-образный профиль. Верхняя и боковые части этих шпангоутов изготовлены из листового алюминиевого сплава Д16АТ путем штамповки и соединены между собой встык накладками, приклепанными к стенкам шпангоутов.

Краткий обзор выявления повреждений усталостного характера в шпангоутах ЦЧФ вертолётов типа Ми-8. Актуальность темы

По мнению Разработчика (АО «НЦВ Миль и Камов») критическим местом по усталостной прочности и долговечности фюзеляжа вертолётов Ми-8 всех типов и модификаций, ограничивающим назначенный ресурс парка вертолётов, является зона между шпангоутами № 3 – № 4 концевой балки (КБ) [2]. Несмотря на это, усиленные шпангоуты № 7 и № 10 ЦЧФ Разработчиком также отнесены к критическим элементам конструкции, для которых рассчитаны критические длины усталостных трещин и интервалы осмотров при техническом обслуживании. В работе [3] на основании результатов стендовых испытаний фюзеляжа и данных об усталостной повреждаемости шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 в эксплуатации расчётно-аналитическим методом было получено, что периодичность контроля зоны соединения верхней балки и боковины силового шпангоута № 10 ЦЧФ, к которому крепятся амортизаторы основных опор шасси и рама главного редуктора, в эксплуатации не должна превышать 68 мин.

Для подтверждения возможности продолжения и завершения полета вертолѐта типа Ми-8 даже с полностью разрушенным в этой зоне шпангоутом № 10 ЦЧФ были проведены дополнительные статические и повторно-статические испытания.

В результате проведѐнных в 1988 году статических испытаний на остаточную прочность было установлено, что фюзеляж вертолѐта Ми-8 с полностью разрушенными шпангоутом № 10 ЦЧФ, лентой и с пропилом в обшивке длиной 1000 мм между шпангоутами № 9 – № 11 ЦЧФ выдерживает без разрушений 100 % эксплуатационных нагрузок III-л (выход из планирования) и II-п (посадка с нераскрученными колѐсами) случаев нагружения. После испытаний на остаточную прочность фюзеляж выдержал 600 циклов нагружения отнулевыми повторно-статическими нагрузками, соответствующими 100 % эксплуатационных нагрузок III-л случая нагружения [4].

Статические и повторно-статические испытания фюзеляжа вертолѐта типа Ми-8 проводились исходя из предположения, что для различных мест конструкции основная повреждаемость определяется разными частями спектра нагружения. Предполагалось, что для хвостовой и концевой балок, а также различных узлов в районе главного редуктора основную повреждаемость вносят многоцикловые нагрузки с частотами 18–50 Гц. Для силовых элементов центральной части фюзеляжа и элементов крепления шасси определяющими являются повторно-статические нагрузки от циклов «земля-воздух-земля» (З-В-З) [5].

Результаты проведѐнных исследований разрушенных верхних балок шпангоутов № 10 ЦЧФ в зонах задних узлов крепления редукторной рамы [1, 6, 7] подтвердили правильность предположения о внесении многоцикловыми нагрузками основной повреждаемости в силовые элементы конструкции фюзеляжа в районе главного редуктора.

Однако исследования разрушенных шпангоутов № 10 ЦЧФ в зонах стыка верхних балок с боковинами под усиливающими накладками, совпадающими с зонами крепления амортизаторов основных опор шасси [6, 8], привели к результатам, противоречащим предположению об определяющей роли повторно-статических нагрузок от цикла З-В-З в повреждении основных силовых элементов ЦЧФ, находящихся в зонах крепления основных опор шасси.

Морфологические особенности поверхностей разрушения, выявленные при всех проведѐнных исследованиях разрушенных усиленных шпангоутов № 10 ЦЧФ, свидетельствуют, что для этих элементов поперечного силового набора каркаса ЦЧФ вертолѐтов Ми-8 всех типов и модификаций основную повреждаемость вносят низкоамплитудные высокочастотные (виброакустические) нагрузки (вибрации).

По этой причине в работе [8] был сделан вывод о том, что результаты проведѐнных повторно-статических испытаний фюзеляжа (цикл З-В-З) не отражают реального спектра нагруженности его элементов.

В сложившейся ситуации особую важность приобретает оценка безопасности конструкции вертолѐта по условиям выносливости на этапе массовой эксплуатации, как это и рекомендовано в работах [9, 10].

Анализ распределения эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала шпангоутов, по зонам центральной части фюзеляжа

Всего за анализируемый период (с 1999 года по настоящее время) в шпангоутах и ремонтных накладках шпангоутов ЦЧФ 117 экз. вертолѐтов типа Ми-8 выявлено и зарегистрировано 172 эксплуатационных повреждения в виде трещин усталостного характера, из них 160 – в шпангоутах. Распределение суммарного количества выявленных в осевом направлении ЦЧФ усталостных трещин в шпангоутах и ремонтных накладках приведено на рис. 1.

Наибольшее количество трещин усталостного характера выявлено в шпангоуте № 9 ЦЧФ. С целью устранения подобных повреждений был разработан и 26.03.1986 введѐн

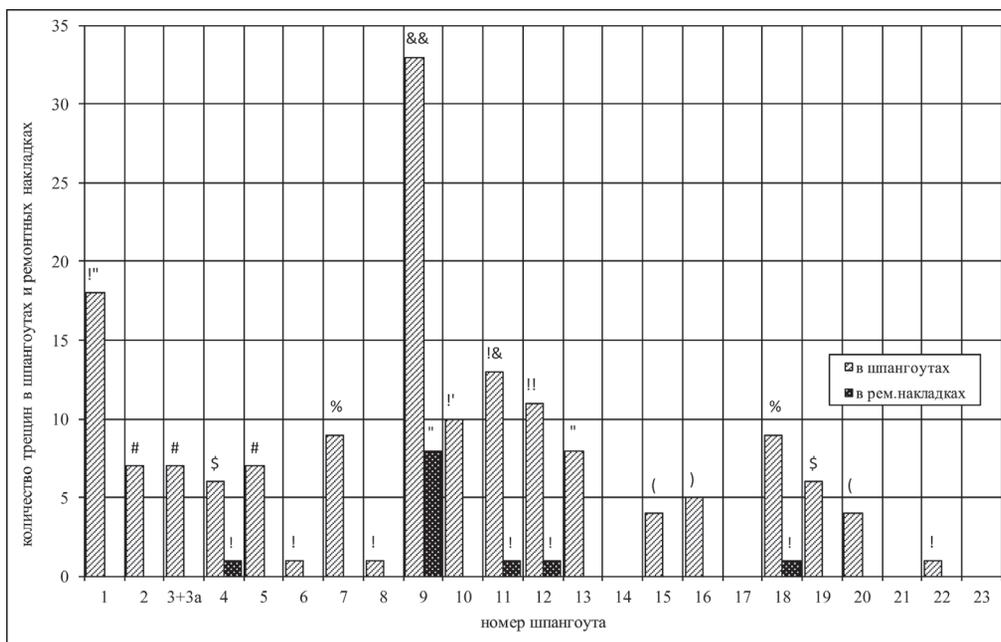


Рис. 1. Гистограмма распределения суммарного количества трещин в шпангоутах и ремонтных накладках шпангоутов в продольном направлении ЦЧФ

бюллетень № М1544-БД-Г «Планер – осмотр и ремонт шпангоута № 9 фюзеляжа». Бюллетень извещает о введении усиления шпангоута при его изготовлении для вертолётов производства Казанского вертолётного завода (ПАО «КВЗ»), начиная с вертолёт с заводским номером 8536. Для вертолётов производства ПАО «КВЗ» с заводскими номерами до номера 8535 и вертолётов Улан-Удэнского авиационного завода (АО «У-УАЗ») с заводскими номерами до номера 98415999 предусмотрен ремонт в условиях ремонтного предприятия шпангоутов № 9 при наличии трещин. Таким образом, данный бюллетень не предусматривал усиление шпангоутов, не имеющих повреждений в виде трещин на вертолётах производства ПАО «КВЗ» (до заводского номера 8535) и АО «У-УАЗ» (до заводского номера 98415999), чем и может объясняться достаточно большое количество трещин, выявляемых в полках и стенках шпангоутов № 9.

Большое количество трещин, выявленных в ремонтных накладках этого шпангоута, установленных на ранее выявленные трещины, свидетельствует о недостаточной эффективности введённого бюллетеня в части усиления шпангоутов с имеющимися трещинами. Вместе с тем, введение усиления шпангоута в условиях производства привело к полному устранению условий образования усталостных трещин в шпангоутах № 9 ЦЧФ (при достигнутых к настоящему времени наработках с начала эксплуатации (СНЭ)) вертолётов типа Ми-8, изготовленных ПАО «КВЗ».

Подобное благоприятное влияние введения доработок на этапе производства, приведшее к существенному уменьшению интенсивности образования трещин, наблюдается и для усиленных шпангоутов № 7 и № 10 ЦЧФ, в которых на начальном этапе эксплуатации выявлялось достаточно большое количество повреждений усталостного характера [5].

Так, для силового шпангоута № 7 ЦЧФ в производстве были ужесточены требования к соблюдению размеров отверстий в проушинах гребенчатых соединений. С целью предотвращения усталостных разрушений шпангоута № 10 ЦЧФ в серийное производство была внедрена улучшенная (прессовая) технология клепки, а также введено усиление полки шпангоута № 10 ЦЧФ в районе крепления накладки 8АТ-0344-00-3: увеличена толщина полок и сняты уклоны полок для исключения дефектов клепки [6].

Однако, как свидетельствует опыт эксплуатации, даже перечисленные меры не исключили разрушений шпангоутов № 10 ЦЧФ в зоне крепления накладки 8АТ-0344-00-3.

Результаты исследований разрушенных в зоне крепления накладки 8АТ-0344-00-3 шпангоутов № 10 ЦЧФ, проведённых специалистами НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА, показали, что такие разрушения связаны с высоким уровнем действующих напряжений в зонах зарождения трещин. Высокий уровень действующих напряжений обусловлен технологией установки указанной усиливающей накладки, в результате чего после сборки узла в шпангоуте остаются отверстия под соединительными заклепками и болтами с непритупленными краями, служащими концентраторами напряжений [6].

Большое количество трещин усталостного характера, выявленных в шпангоуте № 1 ЦЧФ, обусловлено нагрузками от соединительных фитингов, крепящих к шпангоуту грузовую лебёдку ЛПГ-150 и бортовую стрелу в верхнем левом (по полёту) углу шпангоута.

Наличие внешнего присоединенного к шпангоуту № 1 ЦЧФ агрегата обуславливает образование трещин в левой боковине этого шпангоута (рис. 2).

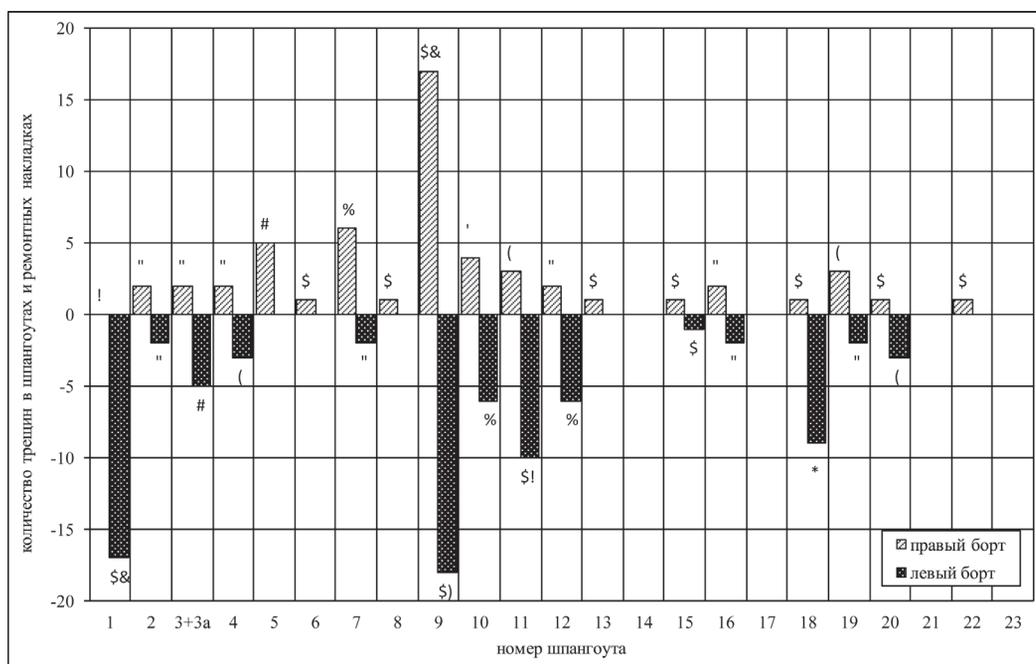


Рис. 2. Гистограмма распределения в продольном направлении ЦЧФ суммарного количества трещин в шпангоутах и ремонтных накладках по правому и левому бортам

В целом в левых боковинах и левых половинах верхних балок шпангоутов ЦЧФ выявляется больше трещин усталостного характера, чем в правых. Так, из 172 трещин, выявленных в верхних балках и боковинах шпангоутов ЦЧФ, 86 трещин выявлено по левому (по полёту) борту вертолётов, 55 – по правому, 5 трещин – в потолочной панели, как в левой, так и правой половинах верхних балок. Положение 26 трещин в шпангоутах ЦЧФ в ведомостях дефектации не указано. Трещины, выявленные в шпангоуте № 9 ЦЧФ и его ремонтных накладках, распределены по левому и правому бортам приблизительно поровну.

Наибольшее количество трещин в шпангоутах задней (гаргротной) части ЦЧФ приходится на шпангоут № 18. Все выявленные трещины обусловлены наличием в верхней части шпангоута между стрингерами №№ 1–2 по левому борту обтекателя антенны АШС-1. К настоящему времени введены два бюллетеня промышленности, направленные на усиление зоны установки обтекателя антенны АШС в задней части фюзеляжа: от 06.12.1984 № М1702-БД-Г

и от 25.03.1993 № М2544-БД-Г. Однако оба эти бюллетеня направлены на устранение трещин, выявленных, в первом случае, в обшивке и усиливающих накладках под обтекатель антенны АШС-1, во втором случае – только в усиливающих накладках, установленных под обтекателем антенны АШС-1 по бюллетеню № М1702-БД-Г. Бюллетеней промышленности, предназначенных для усиления верхней части шпангоута № 18 ЦЧФ, до настоящего времени не выпущено.

В шпангоутах ЦЧФ № 14, № 17 и, что особенно важно, в стыковых (с хвостовой балкой) шпангоутах № 23 за всё время сбора и классификации повреждений (с 1999 года) не выявлено ни одной усталостной трещины.

Распределение суммарного количества трещин в верхних балках и боковинах шпангоутов грузовой кабины фюзеляжа (между шпангоутами № 1 – № 13 ЦЧФ) в окружном направлении приведено на гистограмме рис. 3 и на лепестковой гистограмме рис. 4.

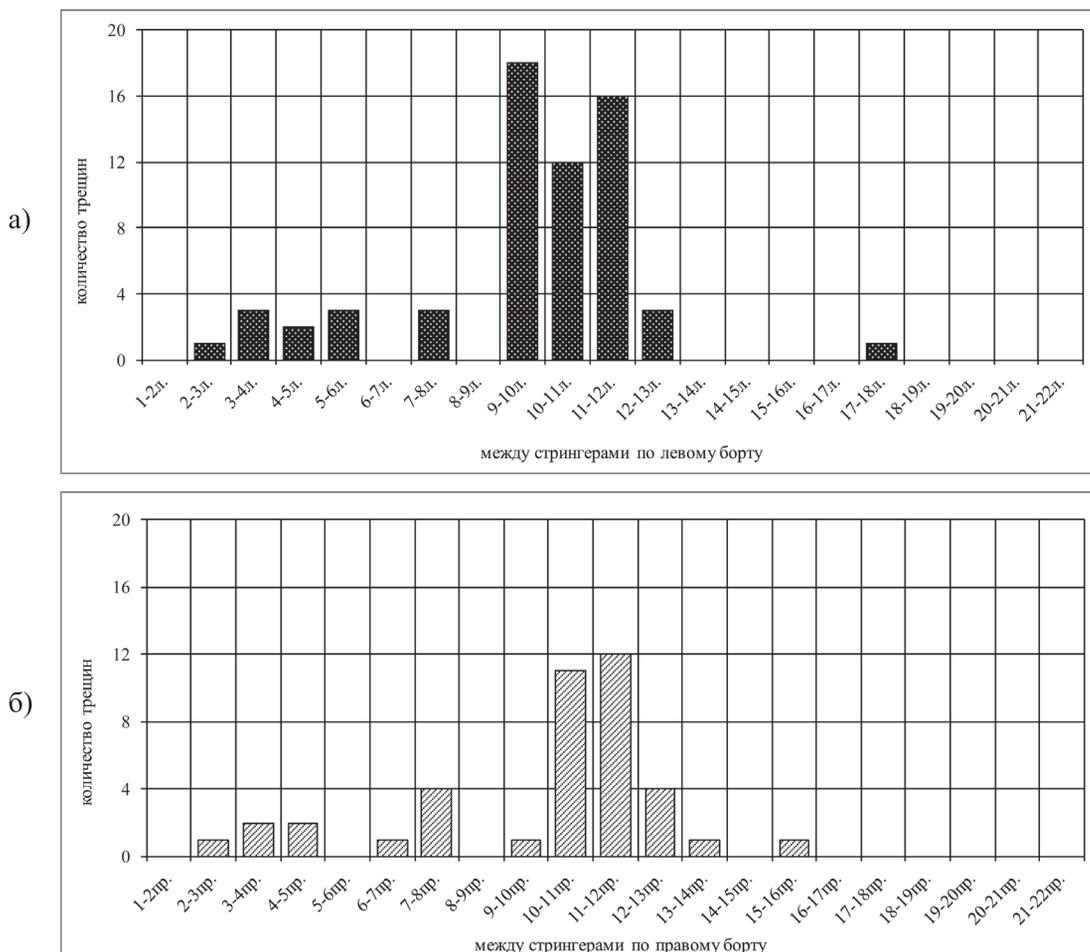


Рис. 3. Гистограмма распределения в окружном направлении суммарного количества трещин в секторах шпангоутов грузовой кабины (между шпангоутами №№ 1–13 ЦЧФ) между стрингерами ЦЧФ: а – по левому борту; б – по правому борту

Наибольшее количество трещин выявлено в секторах шпангоутов между стрингерами № 9 – № 12 по левому борту вертолёта и между стрингерами № 10 – № 12 по правому борту. Все трещины между стрингерами № 9 – № 10 по левому борту приходятся на трещины, выявленные в зоне крепления лебёдки ЛПГ-150 и грузовой стрелы к шпангоуту № 1 ЦЧФ. Остальные трещины, выявленные в шпангоутах грузовой кабины ЦЧФ между стрингерами № 10 – № 12 по левому и правому бортам вертолёта, находятся в зонах соединения верхних балок с боковинами

шпангоутов. Трещины в шпангоутах потолочной и бортовых панелей ниже стрингеров № 12 по правому и левому бортам вертолёта носят единичный характер.

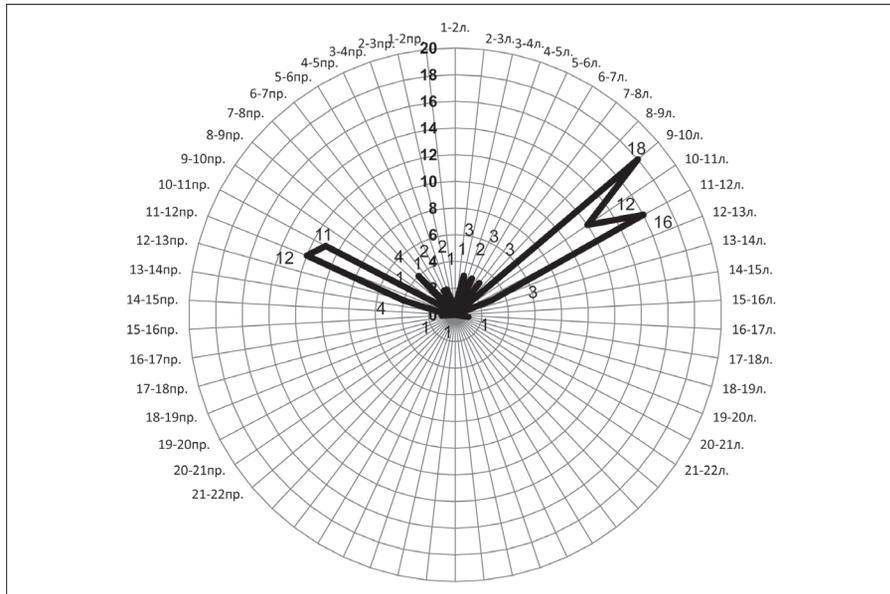


Рис. 4. Лепестковая гистограмма распределения в окружном направлении суммарного количества трещин в секторах шпангоутов грузовой кабины (между шпангоутами № 1 – № 13 ЦЧФ) между стрингерами ЦЧФ (пр. – правый по полёту борт, л. – левый)

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

Распределение общего количества трещин в шпангоутах и ремонтных накладках шпангоутов ЦЧФ по наработке с начала эксплуатации (СНЭ) приведено на рис. 5.

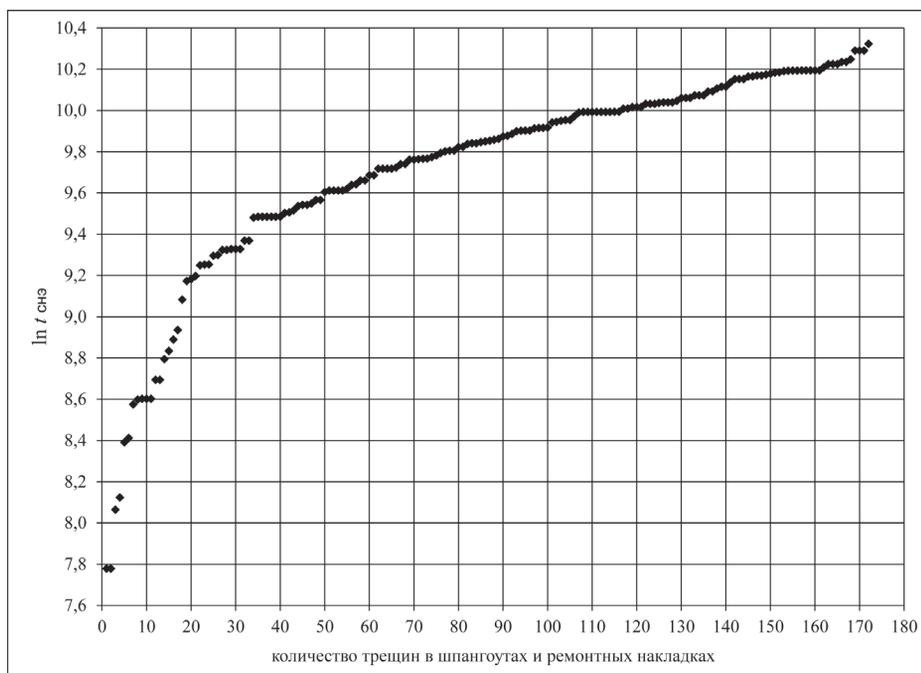


Рис. 5. Точечная гистограмма распределения суммарного количества трещин в шпангоутах (и в их ремонтных накладках) ЦЧФ по логарифму наработки $t_{СНЭ}$, ч

На отдельных участках (до наработки в интервале СНЭ $\approx 13400-14800$ ч ($\ln t_{\text{СНЭ}} \approx 9,5-9,6$)) приведённая гистограмма имеет явно выраженный «ступенчатый» характер, который свидетельствует о резком изменении интенсивности образования трещин в шпангоутах ЦЧФ. Такое изменение может быть связано с изменением напряжённого состояния одного из элементов конструкции планера вертолёта. Подобное явление наблюдалось в концевых и хвостовых балках при изменении напряжённого состояния одного из их элементов [11–14].

Минимальная наработка СНЭ, при которой в шпангоутах ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 выявлены трещины, составляет 2389 ч (вертолёт Ми-8Т RA-24026, зав. номер 10650). При этом трещины одновременно были выявлены в шпангоутах № 7 и № 15 ЦЧФ. Таким образом, начиная с наработки СНЭ приблизительно 2400 ч, усталостные повреждения единичных центральных частей фюзеляжа вертолётов типа Ми-8 по признаку выявления трещин в двух шпангоутах могут характеризоваться как многоэлементные [15].

Анализ мероприятий, направленных на выявление трещин усталостного характера в шпангоутах ЦЧФ вертолётов типа Ми-8

Выявление трещин в шпангоутах ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 осуществляется как в процессе выполнения технического обслуживания с периодичностью, установленной Регламентом технического обслуживания вертолёта, так и в ремонте при наработке вертолёта не более установленного бюллетенем межремонтного ресурса, величина которого в настоящее время составляет 2000 ч. Помимо этого, большое количество трещин в шпангоутах ЦЧФ выявляется при оценке технического состояния вертолёта при проведении работ по определению возможности продолжения эксплуатации вертолётов с увеличенными межремонтными ресурсами (этапами с 2000 до 4500 ч) и (или) сроками службы (этапами с 8 до 12 лет). Указанные работы проводятся в соответствии с эксплуатационным бюллетенем № ТМ3208-БЭ-Г по «Программе исследования технического состояния вертолётов типа Ми-8 и их модификаций с целью выполнения процедуры подтверждения ресурсов и (или) сроков службы в эксплуатационных предприятиях гражданской авиации Российской Федерации» («ИП-Ми-8»).

Регламентом технического обслуживания предусмотрены периодические осмотры усиленных шпангоутов № 7 и № 10 ЦЧФ, как в зонах стыка боковин шпангоутов с верхними балками, так и в зонах крепления редукторной рамы главного редуктора. Помимо этого, в этих же зонах усиленных шпангоутов предусмотрено проведение неразрушающего контроля вихретоковым методом с использованием прибора ТВД-2 по методике, введённой 08.10.1987 Указанием МГА № 23.1.7-121.

Помимо усиленных шпангоутов при проведении периодического технического обслуживания осмотрам подвергаются стыковые шпангоуты № 23 ЦЧФ и шпангоуты № 3 «а» в зонах вырезов под тяги управления и в районе узлов крепления двигателей.

Для остальных шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 осмотры при проведении периодического технического обслуживания не предусмотрены.

Принимая, что усиленные шпангоуты № 7 и № 10 ЦЧФ и стыковой шпангоут № 23 ЦЧФ составляют конструктивно отдельные совокупности, рассмотрим достаточность частоты проведения работ по дефектации остальных (далее – неусиленных) шпангоутов ЦЧФ, проводимых либо при проведении капитального ремонта вертолёта, либо при проведении оценки технического состояния в соответствии с процедурами, предусмотренными Программой «ИП-Ми-8».

Всего за анализируемый период времени зарегистрировано 142 трещины в неусиленных шпангоутах ЦЧФ у 95 экземпляров вертолётов типа Ми-8.

Оценка наработки СНЭ до начала работ по выявлению трещин усталостного характера выполнялась при общепринятом допущении о логарифмически нормальном распределении усталостной долговечности. При этом, несмотря на то, что имеющаяся выборка наработок

до выявления трещин не является строго однородной (наработки связаны с разными или неизвестными длинами трещин), доверительная вероятность принималась равной $\beta = 0,997$.

Выполненная на основе имеющихся статистических данных оценка величины наработки СНЭ, при которой необходимо начинать выполнение дефектации всей совокупности неусиленных шпангоутов ЦЧФ с целью выявления в них усталостных трещин, позволила установить, что такие работы целесообразно проводить при достижении вертолётном наработки равной $t_{\text{СНЭ}} = 3899$ ч.

Расчёт требуемой периодичности проведения осмотров с целью выявления усталостных трещин на начальной стадии их развития (трещин минимальных размеров, выявляемых оптико-визуальным методом контроля) для всей совокупности неусиленных шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 проводился по формуле [16]:

$$t_3 = T_c - \Phi[z]s, \quad (1)$$

где t_3 – требуемая периодичность дефектации, ч;

T_c – средняя наработка до выявления трещины в шпангоуте ЦЧФ, ч;

s – стандартное отклонение наработки до выявления трещины в шпангоуте ЦЧФ,

$\Phi[z]$ – значение нормированной функции Лапласа для аргумента вероятности $P(t)$:

$$P(t) = \Phi\left[\frac{T_c - t}{s}\right], \quad (2)$$

где t – задаваемая периодичность контроля, ч.

Проведённый на основе имеющихся статистических данных расчёт показал, что для зарегистрированных величин наработок до выявления усталостных трещин в совокупности неусиленных шпангоутов ЦЧФ вероятность выявления трещин на ранней стадии их развития $P(t)$ при периодичности проведения осмотров $t = 2000$ ч: $P(t) \approx 0,5335$.

Таким образом, при проведении дефектации неусиленных шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 с периодичностью 2000 ч выявлялось не более 54 % шпангоутов с трещинами усталостного характера на начальном этапе развития. Остальные усталостные трещины за период между осмотрами достигали какого-то определенного размера, вплоть до полного разрушения полки и стенки шпангоута, что неоднократно выявлялось при дефектации неусиленных шпангоутов, как в условиях авиационных ремонтных заводов, так и в эксплуатирующих предприятиях при проведении оценки технического состояния в соответствии с процедурами, предусмотренными Программой «ИП-Ми-8».

Введение дополнительного периодического осмотра неусиленных шпангоутов ЦЧФ даже с максимальной существующей периодичностью (750 ч) позволило бы, как свидетельствует проведённый расчёт, увеличить вероятность выявления трещин на ранней стадии развития до величины $P(t) \approx 0,9505$.

В случае введения такого дополнительного осмотра работы по выявлению усталостных трещин в неусиленных шпангоутах ЦЧФ целесообразно совмещать с выполнением периодического технического обслуживания по форме Ф-10 (через 750 ч), начиная с наработки вертолётов СНЭ равной 3750 ч, наиболее близкой к ранее рассчитанной.

Заключение

По результатам проведённого исследования установлено, что после введения доработок усиленных шпангоутов № 7 и № 10 ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 при их производстве наибольшее количество эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок, выявляется в неусиленных шпангоутах № 1, № 9 (в грузовой кабине) и № 18 ЦЧФ (в гаргроте).

Доработка (усиление) шпангоутов № 9 ЦЧФ при изготовлении привела к полному устранению условий образования в них усталостных трещин (при достигнутых к настоящему времени наработках СНЭ) на вертолётах типа Ми-8, изготовленных ПАО «КВЗ». В то же время, доработка этих же шпангоутов с выявленными в них усталостными трещинами путём усиления установкой ремонтных накладок, проводимая в условиях авиационных ремонтных заводов, оказалась менее эффективной.

Большое количество трещин, выявляемых в шпангоутах № 1 и № 18 ЦЧФ, связано, по всей вероятности, с повышенным напряжённым состоянием шпангоутов в зонах крепления к ним внешних агрегатов: лебёдки ЛПГ-150 и бортовой стрелы в верхнем левом (по полёту) углу шпангоута № 1 ЦЧФ, и обтекателя антенны АШС-1 в верхней части шпангоута № 18 ЦЧФ. Доработок, направленных на устранение условий образования в указанных шпангоутах усталостных трещин вследствие изменения напряжённого состояния, до настоящего времени не проводилось.

Зонами с наибольшим количеством усталостных трещин в шпангоутах грузовой кабины, помимо шпангоута № 1 ЦЧФ, являются секторы шпангоутов № 2 – № 13 ЦЧФ между стрингерами № 10 – № 12 по левому и правому бортам вертолёта, которые совпадают с зонами соединения верхних балок с боковинами шпангоутов.

Периодичность контроля неусиленных шпангоутов ЦЧФ, равная в настоящее время межремонтному ресурсу вертолёта (2000 ч), позволяла выявлять в них усталостные трещины с вероятностью $P(t) \approx 0,5335$.

Для повышения долговечности шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 рекомендуется провести усиление шпангоутов № 1 ЦЧФ в зоне крепления грузовой лебёдки ЛПГ-150 и бортовой стрелы, и № 18 ЦЧФ в зоне крепления обтекателя антенны АШС-1. Усиление шпангоутов № 9 ЦЧФ между стрингерами № 9 – № 12 по левому и правому бортам ЦЧФ вертолёта в соответствии с эксплуатационным бюллетенем № М1544-БЭ-Г рекомендуется проводить для всех неусиленных шпангоутов, а не только для имеющих трещины.

Введение дополнительного осмотра неусиленных шпангоутов ЦЧФ вертолётов типа Ми-8 с периодичностью 750 ч, начиная с наработки вертолётов СНЭ равной 3750 ч, позволит повысить вероятность выявления в них усталостных трещин на ранней стадии их развития до величины $P(t) \approx 0,9505$.

Список источников

1. Сбор и систематизация эксплуатационных данных о повреждениях вертолётных конструкций, обусловленных виброакустическим воздействием. Часть 1. Вертолёты типа Ми-8, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ // Научно-технический отчет о научно-исследовательской работе. ФГУП ГосНИИ ГА. 2020. 290 с.
2. Анализ усталостной прочности, живучести и эксплуатационной нагруженности критического по условиям живучести места конструкции фюзеляжей вертолётов семейства Ми-8 (концевая балка по правому борту в районе третьего шпангоута). Москва: ОАО «МВЗ им. М. Л. Миля», 2001. 45 с.
3. Оценка критических длин, скоростей роста усталостных трещин в элементах конструкции фюзеляжа вертолёта Ми-8 и интервалов между осмотрами. Москва: ОАО «МВЗ им. М. Л. Миля», 1986. 81 с.
4. Анализ результатов испытаний фюзеляжа, хвостовой и килевой балок, опыта эксплуатации и ремонта вертолёта Ми-8. Москва: ОАО «МВЗ им. М. Л. Миля», 1993. 151 с.
5. Технический отчет № 13-17-88 по статическим испытаниям планера изделия «80» на остаточную прочность. Москва: ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», 1988. 84 с.
6. Анализ возможности увеличения межремонтных ресурсов вертолётов типа Ми-8, Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ гражданской авиации Российской Федерации. Отчет № 132/55-МРР-Ми-8/2016. Москва: НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА, 2016. 119 с.
7. Результаты исследования разрушения шпангоута № 7 ЦЧФ вертолёта Ми-8Т RA-25225. Заключение № 132/106-Ми-8Т/18 НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА. 2018. 10 с.

8. Акоюн К. Э., Разиньков Ф. Ф., Трофимов Г. М. Проблемы усталостной долговечности конструкции фюзеляжа вертолётов Ми-8 // Прочность конструкций летательных аппаратов. Труды ЦАГИ. 2017. Выпуск 2764. С. 295–297.
9. Требования к прочности элементов конструкции вертолёта. Отчет № 710. Шифр 019590. ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского. 1971. 99 с.
10. Селихов А. Ф. Основные принципы обеспечения прочности и ресурса вертолётов в СССР // Прочность авиационных конструкций. Труды ЦАГИ. 1998. Выпуск 2631. С. 7–20.
11. Разиньков Ф. Ф., Акоюн К. Э. Анализ эффективности доработок, направленных на предотвращение усталостных повреждений элементов конструкции концевых балок вертолётов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 33. С. 39–49.
12. Разиньков Ф. Ф., Акоюн К. Э. Анализ влияния доработок по эксплуатационным бюллетеням на повреждаемость элементов конструкции концевых балок вертолётов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 35. С. 28–38.
13. Разиньков Ф. Ф. Анализ эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок, шпангоутов хвостовых балок вертолётов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 36. С. 9–19.
14. Разиньков Ф. Ф. Анализ эксплуатационных повреждений, вызванных усталостью материала под действием виброакустических нагрузок, обшивки хвостовых балок вертолётов типа Ми-8 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 37. С. 9–21.
15. Рекомендательный циркуляр РЦ-АП25.571-1А. Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкции. ФГУП «ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского», 2015. 107 с.
16. Выбор метода технической эксплуатации вертолёта типа Ми-8МТ (Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ) и его функциональных систем. Москва: ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», 2010. 34 с.

References

1. Sbor i sistematizatsiya ehkspluatatsionnykh dannyykh o povrezhdeniyakh vertoletnykh konstruksij, obuslovlennykh vibroakusticheskim vozdeystviem. Chast' 1. Vertolety tipa Mi-8, Mi-8MTV-1, Mi-8AMT, Nauchno-tehnicheskij otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote, FGUP GosNII GA publ., 2020, 290 p. (In Russ.)
2. Analiz ustalostnoj prochnosti, zhivuchesti i ehkspluatatsionnoj nagruzhennosti kriticheskogo po usloviyam zhivuchesti mesta konstruksii fyuzelyazhej vertoletov semejstva Mi-8 (kontsevaya balka po pravomu bortu v rajone tret'ego shpangouta), Moscow, OAO "MVZ im. M. L. Milya" publ., 2001, 45 p. (In Russ.)
3. Otsenka kriticheskikh dlin, skorostej rosta ustalostnykh treshchhin v ehlementakh konstruksii fyuzelyazha vertoletov Mi-8 i intervalov mezhdru osmotrami, Moscow, OAO "MVZ im. M. L. Milya" publ., 1986, 81 p. (In Russ.)
4. Analiz rezul'tatov ispytaniy fyuzelyazha, khvostovoj i kilevoj balok, opyta ehkspluatatsii i remonta vertoletov Mi-8, Moscow, OAO "MVZ im. M. L. Milya" publ., 1993, 151 p. (In Russ.)
5. Tekhnicheskij otchet № 13-17-88 po staticheskim ispytaniyam planera izdeliya «80» na ostatochnuyu prochnost', Moscow, OAO "MVZ im. M. L. Milya" publ., 1988, 84 p. (In Russ.)
6. Analiz vozmozhnosti uvelicheniya mezhremontnykh resursov vertoletov tipa Mi-8, Mi-8MTV-1 i Mi-8AMT grazhdanskoj aviatsii Rossijskoj Federatsii, Otchet № 132/55-MRR-Mi-8/2016, Moscow, NC PLGVS GosNII GA publ., 2016, 119 p. (In Russ.)
7. Rezul'taty issledovaniya razrusheniya shpangouta № 7 TsChF vertoletov Mi-8T RA-25225, Zaklyuchenie № 132/106-Mi-8T/18, NC PLG VS GosNII GA publ., 2018, 10 p. (In Russ.)
8. Akopyan K. E., Razin'kov F. F., Trofimov G. M., Problemy ustalostnoj dolgovechnosti konstruksii fyuzelyazha vertoletov Mi-8, *Prochnost' konstruksij letatel'nykh apparatov. Trudy TsAGI*, 2017, vyp. 2764, pp. 295–297. (In Russ.)
9. Trebovaniya k prochnosti ehlementov konstruksii vertoletov, Otchet № 710. Shifr 019590, TsAGI im. prof. N. E. Zhukovskogo publ., 1971, 99 p. (In Russ.)

10. Selikhov A. F., Osnovnye printsiipy obespecheniya prochnosti i resursa vertoletov v SSSR, *Prochnost' avitsionnykh konstruksij. Trudy TsAGI*, 1998, вып. 2631, pp. 7–20. (In Russ.)

11. 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, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 33, pp. 39–49. (In Russ.)

12. 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, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 35, pp. 28–38. (In Russ.)

13. 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, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 36, pp. 9–19. (In Russ.)

14. Razinkov F. F., Analysis of operational damage caused by material fatigue under the influence of vibroacoustic loads, skin of tail beams of Mi-8 helicopters, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 37, pp. 9–21. (In Russ.)

15. Rekomendatel'nyj tsirkulyar RC-AP25.571-1A. Otsenka dopustimosti povrezhdenij i ustalostnoj prochnosti konstruksii, FGUP “TsAGI im. prof. N.E. Zhukovskogo” publ., 2015, 107 p. (In Russ.)

16. Vybor metoda tekhnicheskoy ehkspluatatsii vertoleta tipa Mi-8MT (Mi-8MTV-1, Mi-8AMT) i ego funktsional'nykh system, Moscow, OAO “MVZ im. M. L. Milya” publ., 2010, 34 p. (In Russ.)

Информация об авторе

Рази́нков Фёдор Фёдорович, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, razinkov_ff@ncplg.ru

Author information

Razinkov Fedor F., Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Deputy Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, razinkov_ff@ncplg.ru

*Статья поступила в редакцию 10.11.2022; одобрена после рецензирования 17.11.2022; принята к публикации 25.11.2022.
The article was submitted 10.11.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication 25.11.2022.*

Научная статья

УДК 629.7.015.4: 629.7.021.2

УМЕНЬШЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕНКОВАННОМ ОТВЕРСТИИ ПАНЕЛИ СЪЁМНОЙ ЧАСТИ КРЫЛА САМОЛЁТА АН-24 ПУТЁМ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

М. С. ГРОМОВ¹, В. Н. СТЕПАНОВ^{2,3}, К. А. АРЕПЬЕВ¹, А. В. КОСТЕНКО¹, А. В. СМИРНОВ¹

¹ Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

² Ростовский завод гражданской авиации № 412, Ростов-на-Дону, Россия

³ Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Условием безопасной эксплуатации воздушного судна является ненаступление предельного состояния воздушного судна из-за невосстановимых параметров прочности. За предельное состояние конструкции принимается состояние, при котором конструкция работоспособна при максимальных эксплуатационных нагрузках. Конструкция планера самолёта – это многокомпонентное соединение узлов и агрегатов болтовыми и заклёпочными швами. Каждое соединение является узлом передачи нагрузок и концентратором напряжений. В данной работе исследовано напряжённо-деформированное состояние зенкованного отверстия панели съёмной части крыла (СЧК) самолёта Ан-24, заполненного заклёпкой. Предполагается, что в регулярной зоне сжатой панели между лонжероном и стрингером действующие напряжения составляют 0,55 от предела текучести материала панели. Теоретические расчёты проводились методом сеток с использованием нелинейности материала панели и лонжерона. При заданном уровне напряжений исследование проводилось для различного сочетания углов конусности заклёпок и зенкованного отверстия. По полученным результатам положения и размера зон пластической деформации в зенкованном отверстии выполнены расчёт и сравнение эквивалентных напряжений по пояску зенковки. Представленные результаты свидетельствуют о возможности снижения величины концентрации напряжений в зенкованном отверстии за счёт гарантированной пластической деформации при установке потайной заклёпки.

Ключевые слова: Ан-24, верхняя панель крыла, заклёпочное соединение, зенкованное отверстие, пластическая деформация, прочность

Для цитирования: Громов М. С., Степанов В. Н., Арепьев К. А., Костенко А. В., Смирнов А. В. Уменьшение величины концентрации напряжений в зенкованном отверстии панели съёмной части крыла самолёта Ан-24 путём создания локальной пластической деформации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 22–31.

REDUCING THE STRESS CONCENTRATION IN THE COUNTERCOUNTERED HOLE OF THE PANEL OF THE REMOVABLE PART OF THE WING OF THE AN-24 AIRCRAFT DUE TO THE CREATION OF LOCAL PLASTIC DEFORMATION

M. S. GROMOV¹, V. N. STEPANOV^{2,3}, K. A. AREPYEV¹, A. V. KOSTENKO¹, A. V. SMIRNOV¹

¹ The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

² Rostov Civil Aircraft Factory no. 412, Rostov-on-Don, Russia

³ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. The criterion for the safe operation of an aircraft in terms of fatigue strength and survivability is the condition that the limit state does not occur from the condition of residual strength. The limiting state of the structure is the state in which the structure is operable at maximum operational loads. Airframe design is a multi-component connection at the level of nodes, assemblies and rivet joints. Each connection is a load transfer node and a stress concentrator. In this work, the stress-strain state of a countersinking hole in the panel of the removable part of the wing of the An-24 aircraft filled with a rivet is studied. It is assumed that in the regular zone of the compressed panel between the spar and the stringer, the acting stresses are 0.55 yield stress of the panel material. Theoretical calculations were carried out by the grid method using the nonlinearity of the panel and spar material. At a given stress level, the study was carried out for various combinations of rivet taper angles and a countersink hole. Based on the obtained results of the position and size of plastic deformation zones in a countersink hole, the calculation and comparison of equivalent stresses along the countersink collar were performed. The presented results indicate the possibility of reducing the stress concentration in a countersink hole due to guaranteed plastic deformation when installing a blind rivet.

Keywords: An-24, top wing panel, rivet joint, countersunk hole, plastic deformation, stress-strain state

For citation: Gromov M. S., Stepanov V. N., Arepyev K. A., Kostenko A. V., Smirnov A. V., Reducing the stress concentration in the countercountered hole of the panel of the removable part of the wing of the An-24 aircraft due to the creation of local plastic deformation, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 22–31. (In Russ.)

Введение

Долговечность соединения элементов крыла самолёта, как и всех других силовых элементов планера, зависит от конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, а именно: типа напряжённого состояния и величины напряжений, геометрических параметров и типа соединения, способа и режима создания отверстия под крепёжный элемент, способности соединения сопротивляться фреттинг-коррозии, климатических условий эксплуатации.

Основным элементом сборки силовых авиационных конструкций является заклёпочное соединение, обеспечивающее прочность, живучесть и ресурс планера самолёта. Количество заклёпок в самолёте средней массы составляет около 1 млн штук, трудоёмкость операций по клёпке составляет до 35 % общей трудоёмкости сборки планера самолёта [1, 2]. Заклёпочные соединения до настоящего времени являются оптимальным видом соединения элементов планера самолёта по условиям восприятия и передачи нагрузки, стоимости применяемых материалов, технологичности выполнения. Основной задачей, решаемой заклёпочным соединением, как и болтовым и сварным, является равномерная передача нагрузки с элемента на конструкцию, обеспечение равнопрочности соединяемых элементов. Ослабление сечения соединяемых элементов должно быть минимальным и компенсированным без значительного увеличения концентрации напряжений. Само отверстие под заклёпку является концентратором напряжений: для свободного отверстия коэффициент концентрации напряжений составляет $k = 3,08$ теоретический и $k = 2,3$ по испытаниям контрольных образцов, для заполненного отверстия $k = 2,0$ [3, 4]. Для обеспечения аэродинамических обводов несущих поверхностей крыла и недопустимости выступающих элементов на обтекаемой поверхности, заклёпки крепления обшивки к лонжеронам и стрингерам устанавливаются с потайной головкой. Выступление закладных головок заклёпок на обтекаемом контуре крыла не должно превышать 0,1 мм [5]. При установке потайных заклёпок в панели необходимо выполнять конические отверстия, то есть зенковать отверстия под потайные нормали. Коническое отверстие в несущем элементе планера создает дополнительный концентратор напряжений. Величина и зависимость коэффициента концентрации напряжений

в зенкованном отверстии от соотношения соединяемых пакетов представлены на рис. 1 [6], где K – коэффициент концентрации напряжений, d – диаметр отверстия, H – толщина пакета, h – толщина зенкованного листа.

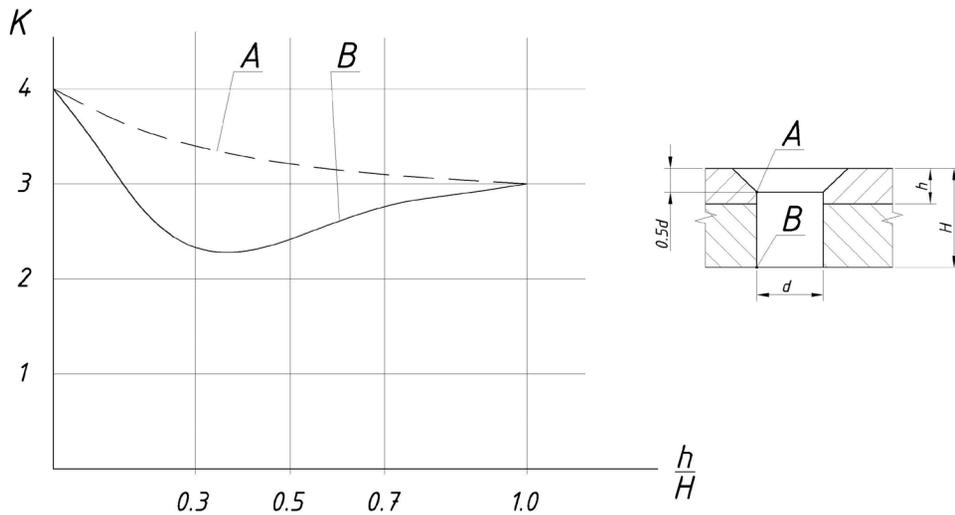


Рис. 1. Коэффициент концентрации напряжений в зависимости от h/H в контрольных точках зенкованного отверстия

Для оценки величины возмущения потока напряжений при циклическом нагружении существует понятие эффективного коэффициента концентрации напряжений – как отношения максимального напряжения в зоне концентратора к напряжению в регулярной, невозмущенной зоне. Для увеличения ресурса детали с концентратором применяются такие методы как повышение качества поверхности, создание сжимающих усилий в отверстии путем постановки нормалей с натягом, упрочнение поверхности методом дорнирования, дробеструйной обработки, обкатки. Для зенкованного отверстия в тонкой обшивке, в котором концентратором напряжений является тонкий пояс, использование перечисленных методов снижения концентрации является проблематичным по технологическим причинам.

В данной работе исследуется напряжённое состояние зенкованного отверстия в зависимости от изменения углов конусности зенкованного отверстия и конуса головки заклёпки на примере участка СЧК самолёта Ан-24 в зоне 7а нервюры крыла (рис. 2).

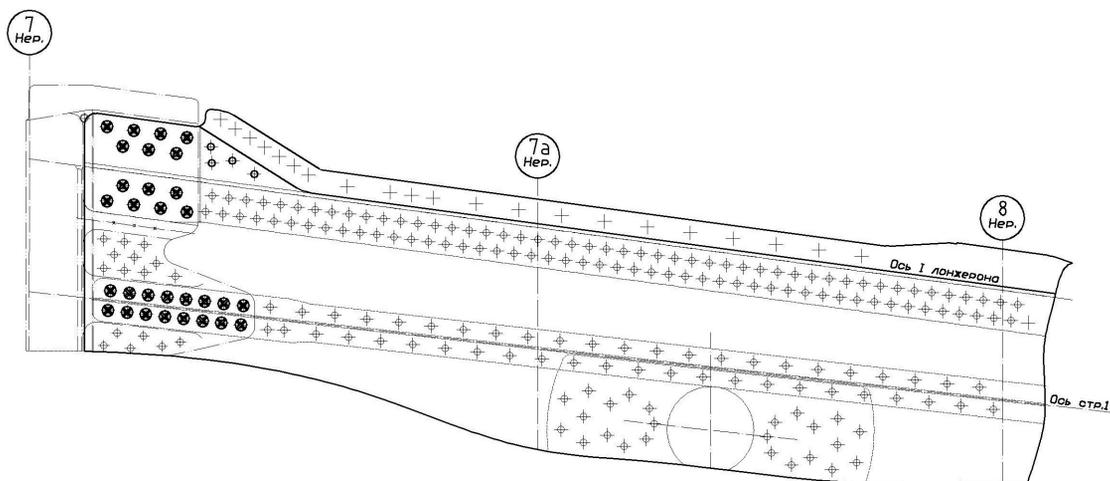


Рис. 2. Участок верхней панели СЧК

Модель участка СЧК (панель и лонжерон) представлена на рис. 3.

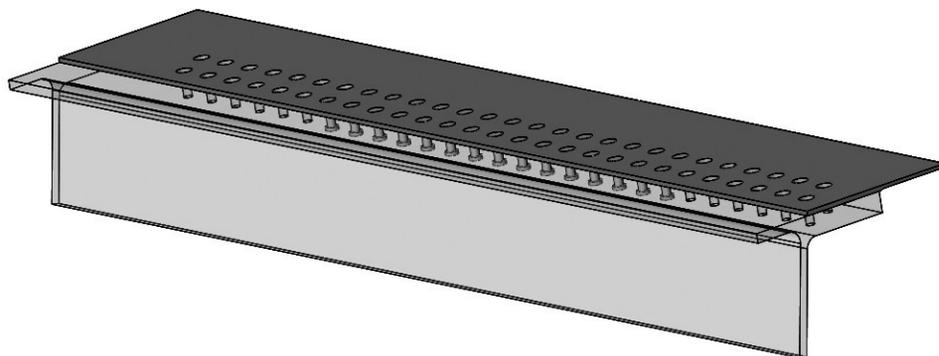


Рис. 3. Модель участка СЧК

Постановка задачи

При выполнении силовых потайных заклёпочных соединений для одиночной клёпки используются заклёпки ОСТ1 34087-80, заклёпки с компенсаторами ОСТ1 34052-78 из материала В65. Допуск угла конусности головки заклёпок соответствует $\pm 1^\circ$. Геометрические параметры заклёпок представлены на рис. 4а. Зенковка отверстий под потайные головки заклёпок регламентируется ПИ-249-2000 «Производственная инструкция. Клёпка металлических конструкций» [7–9]. Геометрический параметр зенковок под потайные головки заклёпок представлен на рис. 4б. Допуск угла конусности зенковки соответствует $\pm 30'$. Суммарный допуск составляет $\pm 1^\circ 30'$.

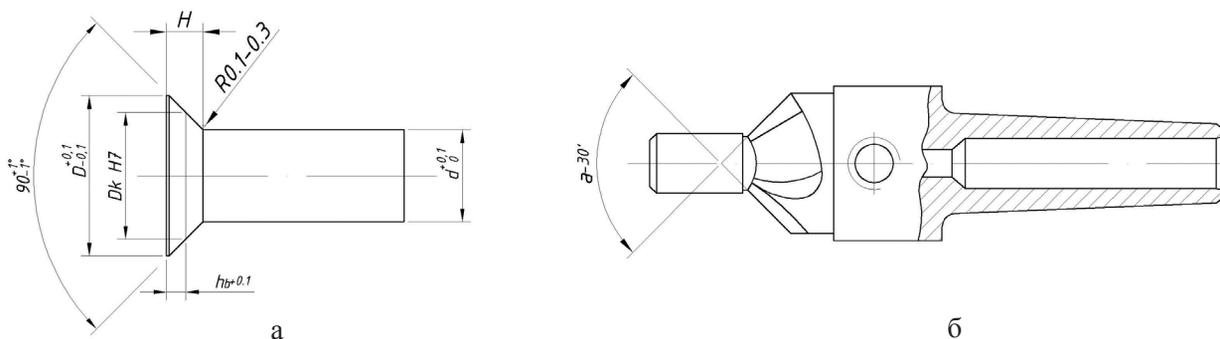


Рис. 4. Параметры потайных заклёпок и зенковки под головки заклёпок (линейные размеры и отклонения в мм):

а – геометрические параметры потайных заклёпок; б – геометрические параметры зенковки под головки потайных заклёпок

С заданными полями допусков на конусность заклёпки и зенкованного отверстия их контакт при постановке происходит в зоне диаметра D_k и выше, без учёта заполнения отверстия при пластической деформации заклёпки (рис. 5).

В процессе формообразования замыкающей головки заклёпки, как при прямом, так и при обратном методе клёпки, заполнение посадочного отверстия происходит только в зоне замыкающей головки. При использовании заклёпок с компенсаторами на закладной головке и максимальным расхождением углов конусности, пластическая деформация не доходит до точки А (рис. 1), то есть, наибольший концентратор зенкованного отверстия не упрочняется (рис. 6) [10].

Применение инструмента для зенкования отверстий под потайные заклёпки с гарантированным углом конусности более угла конусности головки заклёпки позволило бы создать на пояске конуса контролируемую пластическую деформацию и снижение концентратора напряжения.

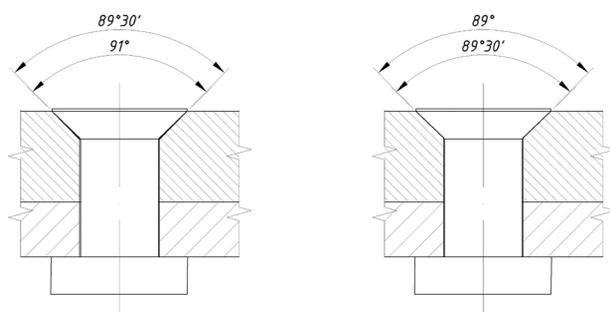


Рис. 5. Варианты сопряжения заклёпки и зенкованного отверстия

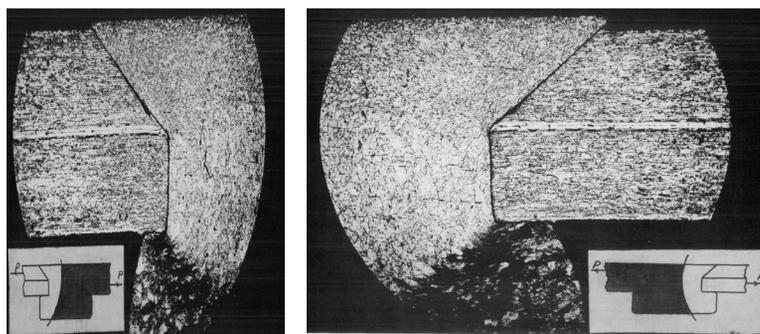


Рис. 6. Сечение по сформированному заклёпочному соединению

Целями исследования являлись определение зон наибольших напряжений в зенкованном отверстии панели при максимальном допуске расхождения углов конусности заклёпки и отверстия, определение достаточного угла конусности отверстия для создания зоны пластической деформации на пояске зенковки.

Выбор метода исследования

Для оценки параметров напряжённого состояния панели в зоне концентрации напряжений применяется математический аппарат гипотез пластической деформации и гипотез упрочнения материала с применением средств конечно-элементного анализа [11–14].

Условие наступления пластичности Треска-Сен-Венана, при равенстве одного или двух уравнений системы:

$$\begin{cases} 2|\tau_{12}| = |\sigma_1 - \sigma_2| \leq \sigma_\tau; \\ 2|\tau_{23}| = |\sigma_2 - \sigma_3| \leq \sigma_\tau; \\ 2|\tau_{31}| = |\sigma_3 - \sigma_1| \leq \sigma_\tau. \end{cases}$$

Гипотеза пластичности Треска-Сен-Венана предполагает, что касательное напряжение достигло некоторого предельного значения, свойственного данному материалу, вне зависимости от вида напряжённого состояния.

Условие наступления пластичности Губера-Мизеса (условие постоянства интенсивности напряжений):

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + 6(\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2)} = \sigma_\tau.$$

где σ и τ – компоненты нормальных и касательных напряжений соответственно; σ_τ – предел текучести.

Условие пластичности Губера-Мизеса учитывает вклад среднего главного напряжения на условие перехода упругой деформации в пластическую.

В представлении Генки условие пластичности Губера-Мизеса:

$$W_{\phi} = \frac{1+\mu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2].$$

где W_{ϕ} – упругая энергия изменения формы.

Деформационная гипотеза упрочнения:

$$\sigma_i = g_1(\varepsilon_i) \varepsilon_i.$$

где $g_1(\varepsilon_i)$ – функция, характерная для материала и не зависящая от вида напряжённого состояния, модуль пластичности.

Энергетическая гипотеза упрочнения:

$$q = \int \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}^n,$$

где q – удельная работа пластической деформации; $d\varepsilon_{ij}^n$ – интенсивность приращения пластической деформации.

$$d\varepsilon_{ij}^n = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(d\varepsilon_1^n - d\varepsilon_{12}^n)^2 + (d\varepsilon_{12}^n - d\varepsilon_{13}^n)^2 + (d\varepsilon_{13}^n - d\varepsilon_{12}^n)^2 + \frac{3}{2} [(d\gamma_{12}^n)^2 + (d\gamma_{23}^n)^2 + (d\gamma_{31}^n)^2]}.$$

Уравнения равновесия, уравнения состояния, уравнения связи компонентов скорости течения с компонентами тензора скорости деформации при соответствующих граничных условиях дают систему дифференциальных уравнений для определения напряжённого и деформированного состояния исследуемой среды.

Решение задачи

В расчётную схему участка панели СЧК самолёта Ан-24 вошли: верхний пояс переднего лонжерона, участок верхней, сжатой химфрезерованной панели (рис. 3), крепёжные элементы.

В регулярной части панели граничными условиями созданы эквивалентные напряжения в 150 МПа. В исследуемую зону введены девять заклёпок с контактом по всем сопрягаемым поверхностям: заклёпка-панель, заклёпка-лонжерон, лонжерон-панель. В исследовании использованы следующие параметры материалов: материал панели и лонжерона – Д16чАТ с модулем упругости $E = 69,5$ ГПа, пределом прочности $\sigma_b = 435$ МПа, пределом текучести $\sigma_{0,2} = 280$ МПа, коэффициентом Пуассона $\mu = 0,3$; материал заклёпки – В65 с пределом прочности на срез $\tau_{cp} = 245$ МПа, модулем упругости $E = 71$ ГПа [15–17]. Толщина панели по лонжерону 2 мм, диаметр тела потайных заклёпок 3,5 мм. Величина натяга в заклёпочных соединениях создана средствами конечно-элементного анализа (Bolt Preload) из условия осевого усилия в стержне заклёпки соответствующего 0,2 % от τ_{cp} материала В65.

Анализ производился для трёх геометрических вариантов сопряжения конусной части заклёпки и конусной части отверстия: первый вариант – угол зенковки 90° , угол заклёпки $90^\circ 30'$; второй вариант – угол зенковки 91° , угол заклёпки $89^\circ 30'$; третий вариант – угол зенковки 91° , угол заклёпки 89° . Расчёт проводился исходя из упруго-пластического поведения материала панели и заклёпки с кусочно-линейной аппроксимацией методом конечно-элементного анализа [18–19]. По результатам расчётов проводился анализ зон, подверженных пластической деформации, по глубине и объёму.

Результаты расчётов представлены на рис. 7–10.

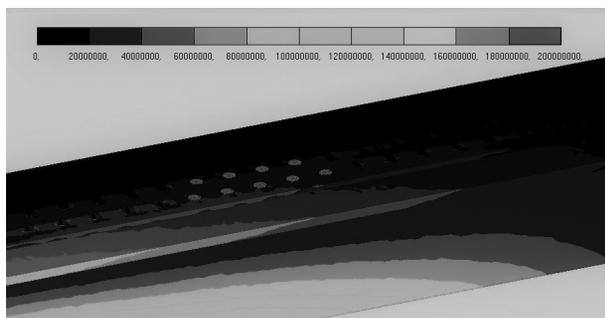


Рис. 7. Напряжённо-деформированное состояние верхней панели СЧК. Напряжения по Мизесу, Па

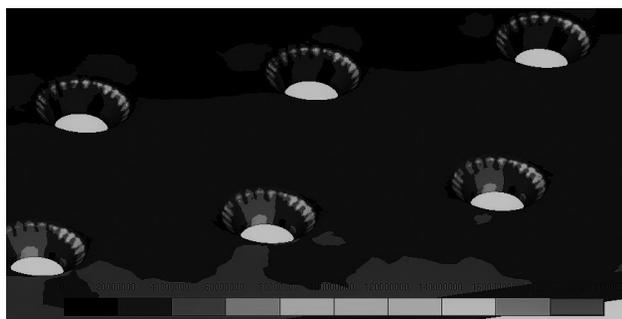


Рис. 8. Напряжённо-деформированное состояние зенкованного отверстия при первом варианте конусного сопряжения. Напряжения по Мизесу, Па

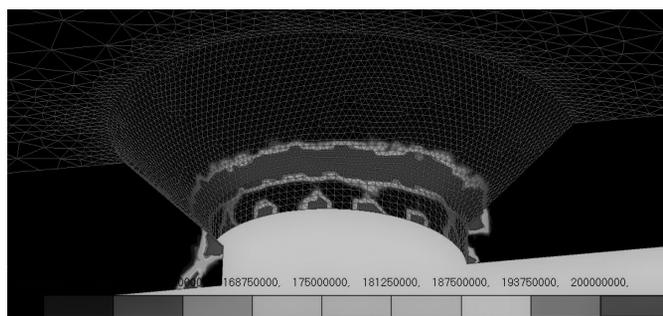


Рис. 9. Напряжённо-деформированное состояние зенкованного отверстия при втором варианте конусного сопряжения. Напряжения по Мизесу, Па

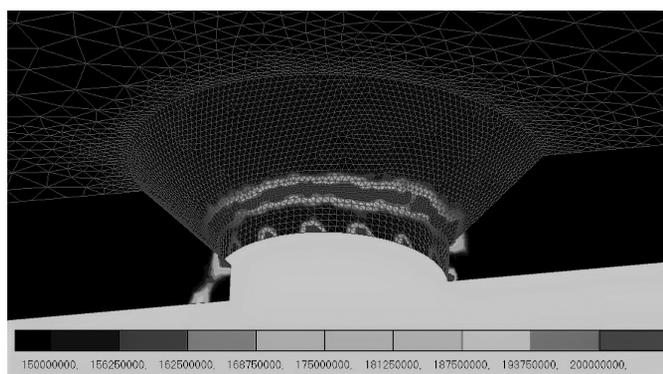


Рис. 10. Напряжённо-деформированное состояние зенкованного отверстия при третьем варианте конусного сопряжения. Напряжения по Мизесу, Па

Обсуждение и оценка полученных результатов

При установке заклёпок в зенкованное отверстие со стандартными полями допусков поясок зенкованного отверстия, главный концентратор напряжений, не упрочняется.

1. При установке заклёпок в зенкованное отверстие с увеличенным углом конусности до $91^{\circ}30'$ по пояску зенкованного отверстия создается зона пластической деформации глубиной до 0,25 мм и объёмом в $0,7030 \text{ мм}^3$. Величина радиальной упругой деформации 0,0038 мм.

2. При установке заклёпок в зенкованное отверстие с увеличенным расхождением углов конусности до 2° по пояску зенкованного отверстия создается зона пластической деформации глубиной до 0,35 мм и объёмом в $1,5552 \text{ мм}^3$. Величина радиальной упругой деформации 0,0062 мм.

Линейные и объёмные параметры деформации определялись из условия размера сетки в зоне пояска зенковки 0,15 мм.

Заключение

Проведён конечно-элементный анализ верхней панели крыла, собранной на заклёпках с потайной головкой. Получены напряжения и деформации в зенкованных отверстиях под головки потайных заклёпок. При шероховатости отверстия под заклёпку Rz 40 и зенковки Rz 20 (обеспечивается инструментом) [8] и конусности в пределах допуска [7–8], узкий поясок создает концентратор напряжений $k = 3,0$ и становится источником трещин. Величина визуально контролируемой микротрещины составляет 0,2 мм [20] и глубина пластической деформации в 0,3 мм (второй вариант конусного сопряжения) вполне достаточна для снижения возможности образования трещин на пояске зенковки.

Список источников

1. Современные технологии авиастроения / Под общей ред. д.т.н. А. Г. Братухина, д.т.н. Ю. Л. Иванова. М.: Машиностроение. 1999. 832 с.
2. Горбунов М. Н. Основы технологии производства самолётов. М.: Машиностроение, 1976. 260 с.
3. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений. М.: Мир, 1977. 301 с.
4. Савин Г. Н. Распределение напряжений около отверстий. Киев, Наукова думка, 1968. 887 с.
5. Кузьмин В. Ф. Обеспечение требований к аэродинамическим обводам самолета в авиационном производстве. М.: Машиностроение, 2002. 272 с.
6. Игнатушкин В. А. Инженерные методы определения долговечности в элементах стыков по напряжению на кромке отверстия. М.: ММЗ «Опыт», 1988. 170 с.
7. ОСТ1 34087-80. Отраслевая нормаль. Заклёпки с потайной головкой 90° . Конструкция и размеры. 14 с.
8. ПИ-249-2000. Производственная инструкция. Клёпка металлических конструкций. ОАО «НИАТ», 2000. 152 с.
9. Гребенников А. Г., Дмитренко Д. Ю., Мяслица А. К., Хмелик Д. В. Анализ влияния геометрических параметров модифицированного зенкованного отверстия и угла конусности компенсатора потайной заклёпки АНУ0348 на характеристики локального НДС элементов незагруженного потайного заклёпочного соединения. НАУ им. Жуковского, Открытые информационные технологии. № 52, 2011. С. 5–23.
10. Darnley M. Howard, Frank C. Smith, NASA Technical Note 2709. Fatigue and static tests of flush-riveted joints, Washington, 1952, 39 p.
11. Серенсен С. В., Козаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчёт деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. Под ред. С. В. Серенсена. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.

12. Саргсян А. Е. Сопротивление материалов, теория упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчётов. Учебник для вузов. 2-е изд. испр. и доп. М.: Высшая школа, 2000. 286 с.
13. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Иосилевич Г. Б. Расчёт на прочность деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.
14. Биргер И. А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.
15. ОСТ1 34104-80. Заклёпки. Технические условия. 44 с.
16. ГОСТ 14838-78. Проволока из алюминия и алюминиевых сплавов для холодной высадки. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1999. 11 с.
17. Авиационные материалы. Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы / Под общей ред. д.т.н. Р. Е. Шалина. М.: ОНТИ. 1982. 627 с.
18. Басов К. А. Ansys. Справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005. 640 с.
19. Рудаков К. Н. Femap 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. Киев: КПИ. 2011. 317 с.
20. Степнов М. Н., Гуацинтов Е. В. Усталость лёгких конструкционных сплавов. / Под ред. С. В. Серенсена. М.: Машиностроение, 1973. 320 с.

References

1. *Modern technologies of aircraft manufacturing*, ed. by A. G. Bratukhin, Yu. L. Ivanov, Moscow, Mashinostroenie publ., 1999, 832 p. (In Russ.)
2. Gorbunov M. N., *Osnovy tekhnologii proizvodstva samoletov* [Fundamentals of aircraft manufacturing technology], Moscow, Mashinostroenie publ., 1976, 260 p. (In Russ.)
3. Peterson P., Stress concentration coefficients, trans. from English, Moscow, Mir publ., 1977, 301 p. (In Russ.)
4. Savin G. N., *Raspredelenie napryazhenij okolo otverstij* [Distribution of stresses around holes], Kiev, Naukova dumka publ., 1968, 891 p. (In Russ.)
5. Kuzmin V. F., *Obespechenie trebovanij k aehrodinamicheskim obvodam samoleta v aviatsionnom proizvodstve*, Moscow, Mashinostroenie publ., 2002, 272 p. (In Russ.)
6. Ignatushkin V. A., *Inzhenernye metody opredeleniya dolgovechnosti v ehlementakh stykov po napryazheniyu na kromke otverstiya* [Engineering methods for determining durability in joint elements by stress at the hole edge], Moscow, MMZ "Opyt" publ., 1988, 170 p. (In Russ.)
7. OST1 34087-80, *Zaklepki s potajnoj golovkoj 90°*. *Konstruktsiya i razmery*, 14 p. (In Russ.)
8. PI-249-2000, *Proizvodstvennaya instruktsiya. Klepka metallicheskih konstruktsij*, OAO NIAT publ., 2000, 152 p. (In Russ.)
9. Grebennikov A. G., Dmitrenko D. Yu., Myalitsa A. K., Khmelik D. V., Analysis of the influence of the geometric parameters of the modified countersink hole and the taper angle of the ANU0348 blind rivet compensator on the characteristics of the local stress-strain state of the elements of an unloaded countersunk rivet joint, *NAU im. Zhukovsky Open Information Technologies*, 2011, no. 52, pp. 5–23. (In Russ.)
10. Darnley M. Howard, Frank C. Smith, NASA Technical Note 2709. Fatigue and static tests of flush-riveted joints, Washington, 1952, 39 p.
11. Serensen S. V., Kogaev V. P., Shneiderovich R. M., *Nesushchaya sposobnost` i raschet detalej mashin na prochnost`. Rukovodstvo i spravocnoe posobie* [Bearing capacity and calculation of machine parts for strength. Guide and reference guide], 3rd ed., revised and supplemented, Moscow, Mashinostroenie publ., 1975, 488 p. (In Russ.)
12. Sargsyan A. E., *Soprotivlenie materialov, teoriya uprugosti i plastichnosti. Osnovy teorii s primerami raschetov, uchebnik dlya vuzov* [Strength of materials, theory of elasticity and plasticity. Fundamentals of theory with examples of calculations. Textbook for high schools], ed. 2, revised and supplemented, Moscow, Vysshaya shkola publ., 2000, 286 p. (In Russ.)
13. Birger I. A., Shorr B. F., Iosilevich G. B., *Raschet na prochnost` detalej mashin, spravocnik* [Strength calculation of machine parts, handbook], Moscow, Mashinostroenie publ., 1993, 640 p. (In Russ.)

14. Birger I. A., *Ostatochnye napryazheniya [Residual Stresses]*, Moscow, Mashgiz publ., 1963, 232 p. (In Russ.)
15. OST1 34104-80, *Zaklepki. Tekhnicheskie usloviya*, 44 p. (In Russ.)
16. GOST 14838-78, *Wire of aluminum and aluminum alloys for cold upsetting. Specifications*, Moscow, Izdatel'stvo standartov publ., 1999, 11 p. (In Russ.)
17. *Aviatsionnye materialy, tom 4, Alyuminievye i berillievye splavy*, ed. Doctor of Technical Sciences R. E. Shalin, Moscow, ONTI publ., 1982, 627 p. (In Russ.)
18. Basov K. A., *Ansys. Spravochnik pol'zovatelya [Ansys. User guide]*, Moscow, DMK Press publ., 2005, 640 p. (In Russ.)
19. Rudakov K. N., *Femap 10.2.0. Geometricheskoe i konechno-ehlementnoe modelirovanie konstruksij [Femap 10.2.0. Geometric and finite element modeling of structures]*, Kiev, KPI publ., 2011, 317 p. (In Russ.)
20. Stepnov M. N., Giatsintov E. V., *Ustalost` legkikh konstruksionnykh splavov [Fatigue of light structural alloys]*, ed. S. V. Sorensen, Moscow, Mashinostroenie publ., 1973, 320 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Громов Михаил Степанович, кандидат технических наук, главный конструктор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, gosniiga@gosniiga.ru

Степанов Валентин Николаевич, инженер-конструктор, Ростовский завод гражданской авиации № 412; старший преподаватель, Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, st_fem@bk.ru

Арепьев Кирилл Анатольевич, заместитель начальника отдела – эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, group138_an@ncplg.ru

Костенко Андрей Викторович, ведущий инженер-конструктор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, jestynshik@yandex.ru

Смирнов Андрей Витальевич, ведущий инженер-конструктор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, 2017_asm@mail.ru

Authors information

Gromov Mikhail S., Candidate of Sciences (Engineering), Chief Designer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, gromov@ncplg.ru

Stepanov Valentin N., Design Engineer, Rostov Civil Aircraft Factory no. 412, Senior Lecturer, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, st_fem@bk.ru

Arepyev Kirill A., Deputy Head of Department – Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, group138_an@ncplg.ru

Kostenko Angrey V., Leading Design Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, jestynshik@yandex.ru

Smirnov Angrey V., Leading Design Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, 2017_asm@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.10.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 08.12.2022.
The article was submitted 07.10.2022; approved after reviewing 30.11.2022; accepted for publication 08.12.2022.

Научная статья

УДК 629.7.015.4: 629.7.021.2

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ДЕФЕКТА СЪЁМНОЙ ПАНЕЛИ ОТЪЁМНОЙ ЧАСТИ КРЫЛА САМОЛЁТА АН-24

В. Н. СТЕПАНОВ^{1,2}, К. А. АРЕПЬЕВ³, М. С. ГРОМОВ³, А. В. КОСТЕНКО³, А. В. СМИРНОВ³

¹ Ростовский завод гражданской авиации № 412, Ростов-на-Дону, Россия

² Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

³ Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. До 1990 года парк самолётов Ан-24, Ан-26, Ан-30 насчитывал более 1000 единиц. Капитальный ремонт парка осуществлялся на трёх ремонтных заводах гражданской авиации по отработке межремонтного ресурса в среднем каждые 3,5 года. При такой периодичности ремонта основной вклад в систему поддержания лётной годности обеспечивался квалифицированным персоналом заводов с участием представительств ОКБ имени О.К. Антонова на каждом заводе. После 1990 года резкое падение спроса на авиаперевозки привело к сокращению численности парка, уменьшению производственного налёта и переходу к эксплуатации по календарному сроку службы. Эти обстоятельства в конечном итоге привели к закрытию заводов, которые были акционерными обществами. С учётом реальных возможностей организаций по техническому обслуживанию было организовано, с периодичностью 1,5–2 года эксплуатации, выполнение программы исследования технического состояния каждого самолёта с участием разработчика и с выдачей конкретных рекомендаций по устранению выявленных дефектов. В настоящее время в авиапредприятиях гражданской авиации эксплуатируется более 100 самолётов Ан-24, Ан-26, Ан-30. Самолёты базируются, в основном, в Сибирском регионе и полностью могут быть заменены лишь к 2030 году. В статье проводится анализ выявленного в процессе выполнения программы исследования технического состояния дефекта на верхней съёмной панели отъёмной части крыла (ОЧК) самолёта Ан-24. Дефект связан с неаккуратным выполнением работ по демонтажу съёмной панели ОЧК.

Ключевые слова: самолёт Ан-24, панель крыла, надрез зенкованного отверстия, дефект, зона стыка, усталостная прочность

Для цитирования: Степанов В. Н., Арепьев К. А., Громов М. С., Костенко А. В., Смирнов А. В. Анализ эксплуатационного дефекта съёмной панели отъёмной части крыла самолёта Ан-24 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 32–38.

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL DEFECT OF THE REMOVABLE PANEL OF THE REMOVABLE PART OF THE WING OF THE AN-24 AIRCRAFT

V. N. STEPANOV^{1,2}, K. A. AREPYEV³, M. S. GROMOV³, A. V. KOSTENKO³, A. V. SMIRNOV³

¹ Rostov Civil Aircraft Factory no. 412, Rostov-on-Don, Russia

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

³ The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. Until 1990, the fleet of An-24, An-26, An-30 aircraft numbered more than 1,000 units. The overhaul of the fleet was carried out at three civil aviation repair plants to work out the inter-repair resource in an

average of 3.5 years. With such a periodicity of repairs, the main contribution to the airworthiness maintenance system was provided by qualified personnel of factories with the participation of representative offices of the O. K. Antonov Design Bureau at each plant. After 1990, a sharp drop in demand for air transportation led to a reduction in the number of the fleet, a decrease in production flight time and the transition to operation according to the calendar service life. These circumstances eventually led to the closure of factories that were joint stock companies. Taking into account the real capabilities of maintenance organizations, it was organized, with a periodicity of 1.5–2 years of operation, the implementation of a program to study the technical condition of each aircraft with the participation of the developer and with the issuance of specific recommendations for the elimination of identified defects. Currently, more than 100 An-24, An-26, and An-30 aircraft are operated in civil aviation enterprises. The aircraft are based mainly in the Siberian region and can be completely replaced only by 2030. The article analyzes the identified defect during the implementation of the technical condition research program, introduced by the operating organization, on the upper removable panel of the detachable part of the wing) of the An-24 aircraft.

Keywords: An-24 aircraft, wing panel, countersink hole notch, defect, joint area, fatigue strength

For citation: Stepanov V. N., Arepyev K. A., Gromov M. S., Kostenko A. V., Smirnov A. V., Analysis of the operational defect of the removable panel of the removable part of the wing of the An-24 aircraft, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 32–38. (In Russ.)

Введение

В статье рассматривается дефект, выявленный при очередном исследовании технического состояния самолёта Ан-24. При дефектации верхних панелей отъёмной части крыла (ОЧК) по стыковочному шву съёмной панели были обнаружены многочисленные подрезы отверстий стыковочных болтов, рис. 1. Болты по стыкам съёмной панели стрингера 3 и 7 выполнены с потайной головкой «под крест» (нормаль 334АН-5), специалисты эксплуатационного подразделения, не сумев вывернуть корродированные болты, нарезали шлицы на головках болтов, а заодно и на панели ОЧК. Минимальный диаметр и толщина выпускаемого промышленностью абразивного круга составляет 38x1 мм.

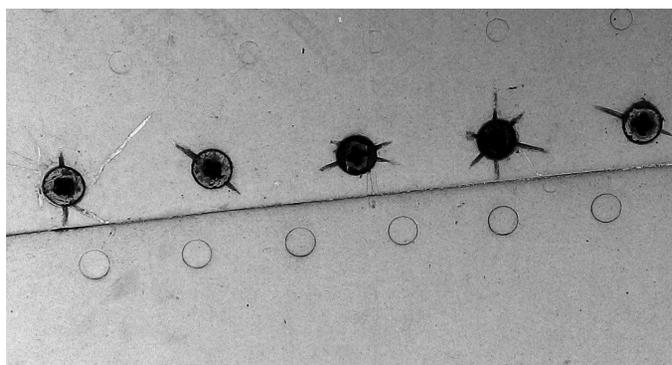


Рис. 1. Дефект на съёмной панели ОЧК самолёта Ан-24

Конструкция стыкового шва съёмной панели ОЧК выполнена не безупречно, а именно: в конструкции стыка заложена перезенковка отверстия, рис. 2. Толщина панели в зоне стыка 2 мм, между панелью и стрингером установлены два слоя тикооловой ленты (общей толщиной 2 мм), высота головки болта 334АН-5 составляет 2,5 мм.

В результате к уже созданному конструктивно концентратору напряжений на кромке зенкованного отверстия добавлен комплекс концентраторов-подрезов от двух до шести на одно отверстие шириной 1 мм.

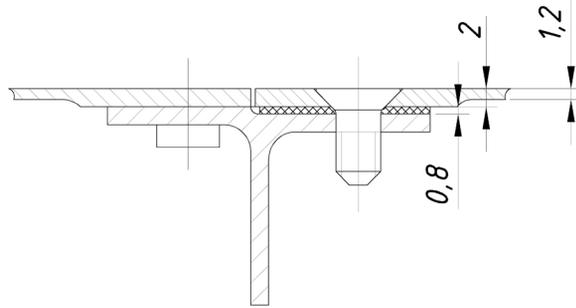


Рис. 2. Крепление съёмной панели ОЧК самолёта Ан-24 (плавающая гайка условно не показана)

В статье приводятся результаты исследования и количественная оценка повреждения панели ОЧК.

Постановка задачи

Для решения задачи была создана модель участка ОЧК – участок несъёмной панели с двумя стрингерами и участок съёмной панели с поддерживающим стрингером, рис. 3. Заклёпочное соединение по несъёмной панели и стыковочному стрингеру смоделировано пятью заклёпками и балочными элементами. К заклёпкам приложена нагрузка «затяжки» из условия $0,2\tau_{cp}$ от материала заклёпки В95 ($\tau_{cp} = 245$ МПа) при диаметре заклёпки 4 мм [1, 2]. Стыковой шов смоделирован шестью болтами и балочными элементами. К болтам приложено усилие затяжки в 9,8 кН (ОСТ 1 00017-89 [3]) при диаметре болтов 5 мм. Дефекты смоделированы подрезами на двух отверстиях, рис. 4. Оценка состояния панели проводилась из условия нагружения, приближенного к циклу полёта земля-воздух-земля (З-В-З) с максимальным и минимальным напряжениями в регулярной сжатой зоне панели в 150 МПа и 45 МПа, соответственно.

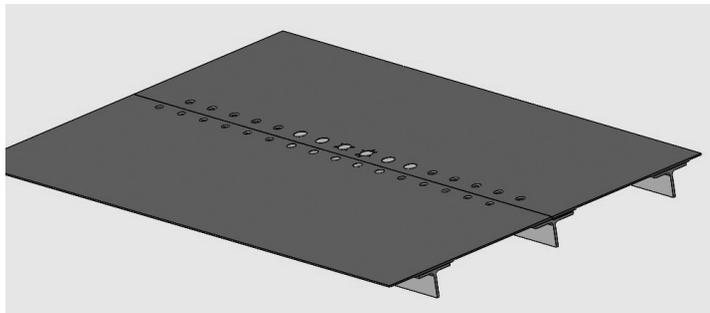


Рис. 3. Модель участка ОЧК

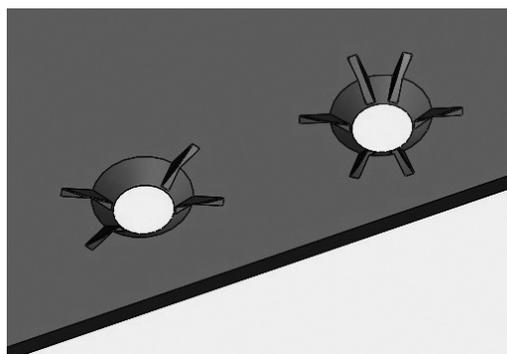


Рис. 4. Модель дефектов съёмной панели ОЧК

Выбор метода исследования

Математический аппарат оценки прочности основан на критерии интенсивности напряжений (критерий Губера-Мизеса [4, 5]), условие прочности при котором выражается как:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_i < \sigma_B,$$

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)},$$

где: $\sigma_{\text{экв}}$ – эквивалентное напряжение, действие которого равноопасно как для простого состояния растяжения-сжатия, так и для сложного напряжённого состояния; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ – нормальные и касательные напряжения.

Условие усталостной прочности для интенсивности приведенных напряжений [4, 5]:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 2 \left(\frac{\sigma_{-1}^0}{\tau_{-1}^0} \right)^2 (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}.$$

С учётом приведения асимметричного цикла к симметричному:

$$\sigma_x = \sigma_x^a + \Psi_{\sigma Д} \sigma_x^m; \sigma_y = \sigma_y^a + \Psi_{\sigma Д} \sigma_y^m; \sigma_z = \sigma_z^a + \Psi_{\sigma Д} \sigma_z^m;$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xy}^a + \Psi_{\tau Д} \tau_{xy}^m; \tau_{yz} = \tau_{yz}^a + \Psi_{\tau Д} \tau_{yz}^m; \tau_{zx} = \tau_{zx}^a + \Psi_{\tau Д} \tau_{zx}^m,$$

где средние напряжения переменного цикла:

$$\sigma^m = \frac{1}{2}(\sigma^{\max} + \sigma^{\min}); \tau^m = \frac{1}{2}(\tau^{\max} + \tau^{\min});$$

амплитудные напряжения переменного цикла:

$$\sigma^a = \frac{1}{2}(\sigma^{\max} - \sigma^{\min}); \tau^a = \frac{1}{2}(\tau^{\max} - \tau^{\min});$$

$\Psi_{iД}$ – коэффициенты, учитывающие снижение механических свойств материала в зависимости от отношения наибольшего габаритного размера детали к размеру гладкого испытательного образца.

Коэффициенты запаса прочности цикловой усталости по нормальным и касательным напряжениям:

$$n_{-1\sigma} = \frac{\sigma_{-1Д}}{\sigma_{\text{экв}}}; n_{-1\tau} = \frac{\tau_{-1Д}}{\sigma_{\text{экв}}}.$$

Обобщенный коэффициент запаса прочности:

$$n = \frac{n_{-1\sigma} n_{-1\tau}}{\sqrt{n_{-1\sigma}^2 + n_{-1\tau}^2}}.$$

Уравнения позволяют соотнести запасы прочности по сопротивлению усталости изделия к выносливости гладкого лабораторного образца.

Решение задачи

Расчётная схема участка панели ОЧК самолёта Ан-24 состоит из верхних панелей, несъёмной и съёмной с подкрепляющими стрингерами и крепёжными элементами, рис. 3. Расчёт про-

водился для двух случаев нагружения: 1) в регулярной части панели созданы эквивалентные напряжения в 45 МПа; 2) в регулярной части панели созданы эквивалентные напряжения в 150 МПа. Параметры материалов панели и стрингера: Д16чАТ с пределом прочности $\sigma_b = 435$ МПа, пределом текучести $\sigma_{0,2} = 280$ МПа, модулем упругости $E = 69,5$ ГПа, коэффициентом Пуассона $\mu = 0,3$ [6]. Заклёпки – В65 с пределом прочности на срез $\tau_{ср} = 245$ МПа, модулем упругости $E = 71$ ГПа. Болт 334А-5 – 30ХГСА с пределом прочности $\sigma_b = 1200$ МПа, модулем упругости $E = 215$ ГПа. Для обеспечения сходимости статического расчета тикооловая лента МХПТУ 1393-50 заменена ПВХ толщиной 0,8 мм (по обжтому пакету) с модулем упругости $E = 2,7$ ГПа. Толщина панели по стрингеру 2 мм, диаметр тела заклёпок 4 мм, диаметр тела болтов 5 мм.

В результате расчётов в зонах зенкованных отверстий были проанализированы запасы прочности для восьми элементов сеточной модели. Величины нормальных и касательных напряжений по каждому контрольному элементу сняты для двух видов нагружения [7, 8]. Полученные результаты расчётов сведены в таблицу, напряжённно-деформированное состояние съёмной панели с дефектами представлены на рис. 5 и 6, положение контрольных элементов в зенкованном отверстии с дефектом показано на рис. 7.

Эквивалентные напряжения и коэффициенты запаса по усталостной прочности в контрольных элементах панели с дефектом

Параметр	Номер элемента, позиции на рис. 7							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{эКВ}$, МПа	35,07	34,46	31,63	30,26	33,98	39,12	47,61	42,26
$n_{-1\sigma}$	1,15	1,17	1,28	1,33	1,19	1,03	0,85	0,95
$n_{-1\tau}$	1,00	1,03	1,12	1,17	1,04	0,9	0,74	0,84
n	0,76	0,77	0,84	0,88	0,78	0,68	0,56	0,63

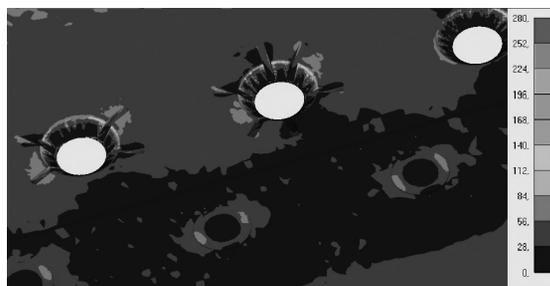


Рис. 5. Напряжённно-деформированное состояние съёмной панели ОЧК при варианте нагружения 1. Напряжения по Мизесу, МПа

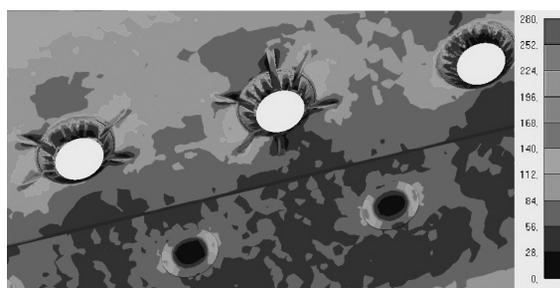


Рис. 6. Напряжённно-деформированное состояние съёмной панели ОЧК при варианте нагружения 2. Напряжения по Мизесу, МПа

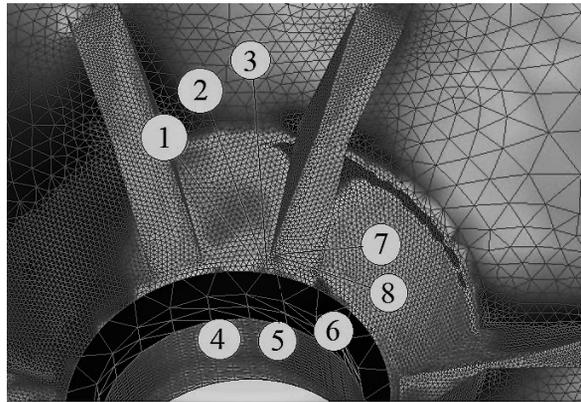


Рис. 7. Положение контрольных элементов панели (размер сетки по зенковке 0,1 мм)

Обсуждение и оценка полученных результатов

1. В конструкции крепления съёмной панели ОЧК самолёта Ан-24 внесен весьма существенный концентратор напряжений – перезенкованное отверстие.

2. Коэффициент запаса по усталостной прочности должен быть не менее 1,5–2,5 [5], среднее значение запаса по надрезу составляет 0,62.

Заключение

При расчётной амплитуде и средних значениях напряжений надрезы в зенкованном отверстии вносят существенный вклад в снижение усталостной прочности. Снижение прочности в зоне подреза составляет 22,6 % от критических значений на кромке перезенкованного отверстия.

Список источников

1. ОСТ 1 34087-80. Отраслевой стандарт. Заклёпки с потайной головкой 90°. Конструкция и размеры. 14 с.
2. ГОСТ 14838-78. Проволока из алюминия и алюминиевых сплавов для холодной высадки. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1979. 12 с.
3. ОСТ 1 00017-89. Авиационный стандарт. Моменты затяжки болтов, винтов и шпилек. Общие требования. 24 с.
4. Биргер И. А., Шор Б. Ф., Иосилевичи Г. Б. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. Москва: Машиностроение, 1993. 940 с.
5. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчет деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник. Москва: Машиностроение, 1985. 224 с.
6. Авиационные материалы. Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы / Под общей ред. д.т.н. Р. Е. Шалина. Москва: ОНТИ, 1982. 627 с.
7. Басов К. А. Ansys. Справочник пользователя. Москва: ДМК Пресс, 2005. 640 с.
8. Рудаков К. Н. Femap 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. Киев: КПИ, 2011. 317 с.

References

1. OST 1 34087-80. Otrasleyvoj standart. Zaklepki s potajnoj golovkoj 90°. Konstruktsiya i razmery, 14 p. (In Russ.)

2. GOST 14838-78. Wire of aluminum and aluminum alloys for cold upsetting Specifications, Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1979, 12 p. (In Russ.)
3. OST 1 00017-89. Aviatsionnyj standart. Momenty zatyazhki boltov, vintov i shpilek. Obshchie trebovaniya, 24 p. (In Russ.)
4. Birger I. A., Shorr B. F., Iosilevich G. B., *Raschet na prochnost' detalej mashin, Spravochnik [Strength calculation of machine parts: Handbook]*, Moscow, Mashinostroenie Publ., 1993, 640 p. (In Russ.)
5. Kogaev V. P., Makhutov N. A., Gusenkov A. P., *Raschet detalej mashin i konstruksij na prochnost' i dolgovechnost', Spravochnik [Calculation of machine parts and structures for strength and durability: a Handbook]*, Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 224 p. (In Russ.)
6. Aviatsionnye materialy. Tom 4. Alyuminievye i berillievye splavy [Aviation materials, vol. 4, Aluminum and beryllium alloys], Moscow, ONTI Publ., 1982, 627 p. (In Russ.)
7. Basov K. A., *Ansys. Spravochnik pol'zovatelya [Ansys. User guide]*, Moscow, DMK Press Publ., 2005, 640 p. (In Russ.)
8. Rudakov K. N., *Femap 10.2.0. Geometricheskoe i konechno-ehlementnoe modelirovanie konstruksij [Femap 10.2.0. Geometric and finite element modeling of structures]*, Kiev, KPI Publ., 2011, 317 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Степанов Валентин Николаевич, инженер-конструктор, Ростовский завод гражданской авиации № 412; старший преподаватель, Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия, st_fem@bk.ru

Арепьев Кирилл Анатольевич, заместитель начальника отдела – эксперт, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, group138_an@ncplg.ru

Громов Михаил Степанович, кандидат технических наук, главный конструктор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, gosniiga@gosniiga.ru.

Костенко Андрей Викторович, ведущий инженер-конструктор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, jestynshik@yandex.ru

Смирнов Андрей Витальевич, ведущий инженер-конструктор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, 2017_asm@mail.ru

Authors information

Stepanov Valentin N., Design Engineer, Rostov Civil Aircraft Factory № 412, Senior lecturer, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, st_fem@bk.ru

Arepyev Kirill A., Deputy Head of Department – Expert, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, group138_an@ncplg.ru

Gromov Mikhail S., Candidate of Sciences (Engineering), Chief Designer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, gromov@ncplg.ru

Kostenko Angrey V., Leading Design Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, jestynshik@yandex.ru

Smirnov Angrey V., Leading Design Engineer, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, 2017_asm@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.10.2022; одобрена после рецензирования 26.11.2022; принята к публикации 02.12.2022.

The article was submitted 06.10.2022; approved after reviewing 26.11.2022; accepted for publication 02.12.2022.

Научная статья
УДК 621.396.933

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ «ДИСПЕТЧЕР-ПИЛОТ» В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А. В. СЕВЕРИН, Н. В. НОСКОВА, Ю. С. ФЕСЕНКО

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается технология ДПЛПД/CPDLC – цифровая линия передачи данных «диспетчер-пилот» как перспективная технология, способная заменить традиционную речевую связь между диспетчером управления воздушным движением и экипажем воздушного судна (ВС). Дополнение голосовой связи визуальным отображением передаваемой информации может существенно снизить нагрузку на взаимодействующих участников процесса управления воздушным движением и в целом положительно отразиться на безопасности воздушного движения в отечественной гражданской авиации. Приведён анализ практики использования ДПЛПД в России и в мире. Проведена оценка перспектив развития ДПЛПД в России и гармонизации развития автоматизированных систем организации воздушного движения (ОрВД), сетей и средств авиационной электросвязи и авионики ВС. Отмечены проблемные вопросы внедрения ДПЛПД в части развития технологий наземных сетей. Представлены предложения по развитию наземной инфраструктуры сети авиационной электросвязи для реализации технологии ДПЛПД.

Ключевые слова: гражданская авиация, воздушное судно, управление воздушным движением, линии передачи данных, сети авиационной электросвязи, обслуживание воздушного движения технологии передачи данных, сообщения «диспетчер-пилот»

Для цитирования: Северин А. В., Носкова Н. В., Фесенко Ю. С. Перспективы развития технологии цифровой линии передачи данных «диспетчер-пилот» в отечественной гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 39–45.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CONTROLLER-PILOT DATA LINK COMMUNICATIONS TECHNOLOGY IN DOMESTIC CIVIL AVIATION

A. V. SEVERIN, N. V. NOSKOVA, YU. S. FESENKO

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the CPDLC technology – Controller-Pilot Data Link Communications, as a promising technology that can replace the traditional voice communication between the air traffic controller and the aircraft crew. Supplementing voice communication with a visual display of transmitted information can significantly reduce the burden on the interacting participants in the air traffic control process and can positively affect air traffic safety in Russian Federation. An analysis of the CPDLC practice in Russia and in the world is given. An assessment of the prospects for the development of CPDLC in Russia and harmonization of the development of automated ATM systems, networks of aviation telecommunications and aircraft avionics was

carried out. The problematic issues of the implementation of the CPDLC in terms of the development of terrestrial network technologies are noted. Proposals on the terrestrial infrastructure of the aeronautical telecommunication network for the implementation of the CPDLC technology are presented.

Keywords: civil aviation, aircraft, air traffic control, data link communications, aeronautical telecommunication networks, air traffic maintenance, data transmission technologies, controller-pilot messages

For citation: Severin A. V., Noskova N. V., Fesenko Yu. S., Prospects for the development of Controller-Pilot Data Link Communications Technology in domestic civil aviation, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 39–45. (In Russ.)

Введение

В настоящее время средства голосовой радиосвязи являются основным способом обмена информацией между экипажем воздушного судна (ВС) и диспетчером управления воздушным движением (УВД). В перспективных системах авиационной электросвязи, согласно опубликованным ИКАО планам развития аэронавигационной системы, предполагается активно использовать цифровые линии передачи данных (ЛПД), обеспечивающие обмен сообщениями между экипажем и диспетчером с отображением соответствующей информации на дисплеях диспетчеров и пилотов [1]. Дополнение голосовой связи визуальным отображением передаваемой информации может существенно снизить нагрузку на взаимодействующих участников процесса УВД.

Применение технологии ДПЛПД/CPDLC – линии передачи данных «диспетчер-пилот» (Controller-Pilot Data Link Communications), теоретически позволяет полностью заменить обмен речевыми посылками между экипажем ВС и диспетчерами УВД, т. к. помимо набора сообщений, соответствующего правилам речевого обмена диспетчера и пилота, позволяет передавать произвольный текст [2].

Применение ДПЛПД способно расширить спектр функций (функционал) взаимодействия за счёт возможности экипажа запрашивать разрешения и получать различную информацию, необходимую для выполнения полёта в смежных по направлению полёта зонах обслуживания воздушного движения (ОВД). Обмен текстовыми сообщениями между диспетчерами и пилотами по цифровой ЛПД позволяет снизить загрузку каналов речевой связи за счёт сокращения временных затрат на выполнение рутинных операций, а визуальное отображение на дисплеях передаваемой информации исключает ошибки вербального восприятия. Это в свою очередь позволяет повысить уровень безопасности полётов за счёт существенного снижения вероятности ошибки и возникновения недопонимания между диспетчером и экипажем ВС.

На текущем этапе технологическое оснащение наземной связной инфраструктуры в Российской Федерации существенно отстаёт от оснащения ВС и центров ОВД ЕС ОрВД (Единой системы организации воздушного движения) в отношении развития технологий ДПЛПД. Этот дисбаланс не позволяет широко развивать сервисы, связанные с цифровыми ЛПД для взаимодействия диспетчера и пилота.

Более 90 % ВС, осуществляющих полёты над территорией нашей страны в районах, где требуется оснащение сервисами ДПЛПД, оборудованы аппаратурой цифровой передачи данных. Также и центры ОВД, в которых целесообразно начинать реализацию внедрения технологий ДПЛПД, уже оснащены автоматизированными системами 5-го уровня (в терминологии ФАП-297 [3]), которые полностью поддерживают эту технологию. Так, аэродромные командные диспетчерские пункты (АКДП) основных аэропортов Москвы Внуково, Домодедово и Шереметьево прошли модернизацию оборудования средств автоматизации УВД как основной, так и резервной систем ОрВД. Эти АКДП готовы к внедрению технологий обеспечения аэродромных сервисов ДПЛПД, таких как DCL (Departure Clearance via Datalink), D-TAXI, (Digital taxi), D-ATIS (Digital automatic terminal information service). Научно-методическое

сопровождение приёмочных и эксплуатационных испытаний этих объектов осуществлялось сотрудниками ГосНИИ ГА.

В 2021 году региональный центр ОВД в Санкт-Петербурге также прошел приёмочные и эксплуатационные испытания с участием ГосНИИ ГА и введен в эксплуатацию на технической основе автоматизированной системы ОрВД, обеспечивающей поддержку технологии ДПЛПД. Для этого центра характерна разнохарактерная архитектура зоны ответственности, включающая океанические секторы ОВД, где особенно актуально применение цифровых ЛПД в связи со сложностями обеспечения качественной речевой связью удаленных районов.

Отечественная практика применения технологии ДПЛПД

В Российской Федерации имеется положительный опыт эксплуатации системы ДПЛПД в океаническом районе. В связи с тем, что традиционная высокочастотная радиосвязь обладает существенными недостатками, связанными с нестабильностью распространения радиоволн и повышенной чувствительностью к влиянию помех различного характера, существенно затрудняющих ведение переговоров диспетчерского персонала с экипажем ВС, ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» было принято решение о внедрении в Магаданском районном центре ЕС ОрВД новой цифровой технологии связи «диспетчер-пилот» для оптимизации услуг предоставления аэронавигационного обслуживания океанического сектора и удаленных районов.

Первоначально реализация технологии ДПЛПД в Российской Федерации осуществлялась в Магаданском районном центре на базе оборудования компании «ARINC» (США), установленного в 1998 году. Впоследствии функционал ДПЛПД дорабатывался при обновлении комплекса средств автоматизации УВД (КСА УВД), хотя технология «ARINC» по-прежнему оставалась базовой. В 2010 году в Магаданском районном центре (РЦ) ЕС ОрВД проведена работа по замене аппаратной части комплекса технических средств ДПЛПД на оборудование российского производства, в рамках которой было организовано сопряжение между сетью «ARINC» и КСА УВД.

В настоящее время в Магаданском РЦ ЕС ОрВД реализована функция ДПЛПД по автоматизации процесса динамического изменения маршрута в полёте (DARP). Это позволяет принять план с борта ВС по ЛПД, в автоматическом режиме сформировать сообщение FPL (AFIL) и направить его в Главный центр ЕС ОрВД. В дальнейшем, при поступлении разрешения на использование воздушного пространства (PLN), диспетчер по ДПЛПД в формализованном виде отправляет подтверждение на борт ВС. Экипаж ВС после получения и проверки полученных данных заводит запрошенный маршрут в бортовую навигационную систему нажатием одной кнопки. Применение процедуры динамического изменения маршрута в полёте может быть особенно актуально наряду с передачей сообщений о наблюдаемом облаке вулканического пепла (AIREP/PIREP), что также опробовано в Магаданском РЦ, как наиболее подверженном таким внешним факторам влияния центре ЕС ОрВД.

Кроме того в Магаданском центре ОВД реализована передача на борт метеоданных ФГБУ «Авиаметтелеком» Росгидромета. Экипажи ВС с любой точки маршрута имеют возможность по ДПЛПД запросить у диспетчера РЦ Магадан любую необходимую метеорологическую информацию по маршруту полёта ВС, запасным аэродромам и аэродрому назначения и получить её в текстовой форме (код METAR, TAF, SPECI), без искажений. При этом экипаж освобождается от необходимости прослушивания ВЧ-каналов связи, что исключает возможность возникновения ошибок, связанных с восприятием голосовых сообщений. Аналогично до экипажей ВС доводятся сведения о фактическом или ожидаемом возникновении особых явлений погоды по маршруту полёта (SIGMET) и другая необходимая информация.

Таким образом, применение технологии ДПЛПД в Магаданском РЦ ЕС ОрВД позволяет осуществлять обмен стандартными сообщениями, командами, а также дополнительной или нестандартной информацией в текстовом формате с экипажами ВС с отображением истории

обмена на экране ДПЛПД, осуществлять передачу управления в автоматическом режиме. В свою очередь экипаж ВС имеет возможность изменить маршрут в процессе полёта, подав с борта ВС представленный план полёта посредством ЛПД. Внедрение этой системы позволило применять минимальные интервалы продольного эшелонирования (60 км) в воздушном пространстве, где отсутствуют традиционные средства наблюдения ОВД.

Международная практика внедрения услуг на основе ДПЛПД уже имеет продолжительную историю развития и широкую сферу применения. Например, внедрение сервисов ДПЛПД в воздушном пространстве государств-участников Евроконтроля начато в 2014 году с воздушных трасс. В соответствии с Регламентом по внедрениям Еврокомиссии, эксплуатанты ВС обязаны обеспечить наличие бортового оборудования, поддерживающего использование технологии ДПЛПД на всех ВС, выполняющих полёты по правилам полётов по приборам выше эшелона FL285, начиная с февраля 2020 года. В США развитие технологии ДПЛПД началось с предоставления услуг передачи данных на аэродромах, а в настоящее время происходит активное внедрение ДПЛПД в верхнем воздушном пространстве.

Подходы к внедрению ДПЛПД на объектах ОВД

В целом, на большинстве объектов ОВД внедрение ДПЛПД способно повысить качество ОВД даже за счёт внедрения сервисов ограниченного обмена информацией между диспетчером и пилотом, например, автоматизированной передачи метеорологической информации и данных службы автоматической передачи информации в районе аэродрома – automatic terminal information service (АТИС).

В аэродромных центрах внедрение услуги передачи разрешения Departure Clearance (DCL) обеспечивает возможности по автоматической передаче маршрута по плану полёта, начальной и запрашиваемой высотам, а также назначение кода ответчика и частоты радиоканала вылета.

Согласно данным по международной практике, использование услуги DCL уже сейчас продемонстрировало свою экономическую эффективность и позволяет органам ОВД обслуживать большее количество ВС, сократить задержки полётов, убрать неоднозначности понимания разрешений, переданных по каналам голосовой радиосвязи, т. к. все разрешения отображаются на дисплее в кабине экипажа ВС. Эти преимущества создают предпосылки для снижения общих эксплуатационных затрат пользователей воздушного пространства.

Дальнейшее развитие сервисов по выдаче в автоматизированном режиме диспетчерских разрешений по эшелонированию, инструкций по векторению, значений предельной скорости, изменению маршрута, передаче ограничений обеспечит дополнительные преимущества системе менеджмента качества ОВД.

Технические аспекты развития ДПЛПД в отечественной практике

Существующая в Российской Федерации инфраструктура систем радиосвязи не в полной мере удовлетворяет среднесрочным перспективам развития ЕС ОрВД с точки зрения организации процесса укрупнения объектов ОВД, расширения зон покрытия и повышения пропускной способности за счёт внедрения новых технологий передачи данных. Для удовлетворения потребностей развития ЕС ОрВД в отношении наращивания пропускной способности и развития каналов связи, а также обеспечения связи в удалённых районах следует развивать комплексную стратегию по реорганизации системы радиосвязи. Основой для такого развития может стать построение сети авиационной телекоммуникационной сети – Aeronautical Telecommunication Network (ATN) национального масштаба, на базе которой наращивание функционала связи «диспетчер-пилот» выглядит перспективнее, чем развитие подобных технологий независимо, на различных объектах ЕС ОрВД. Сеть ATN представляет собой аппаратно-программную структуру

взаимосвязанных подсетей, включающую наземные и бортовые подсети, взаимодействующие между собой по каналам передачи данных, связанных с помощью коммутаторов (роутеров) [4].

Для полноценного предоставления сервиса ДПЛПД провайдером аэронавигационных услуг должны быть реализованы приложения по обмену данными между органами ОВД (AIDC, OLDI), обеспечивающие обмен информацией УВД между объектами ЕС ОрВД, что также оптимальным образом обеспечивается в случае построения сети ATN. С точки зрения развития ДПЛПД это позволит реализовать такие функции УВД, как уведомление о ВС, приближающихся к границе зоны ответственности объекта ЕС ОрВД, координация условий пересечения границы, передача управления. Перспективная сеть позволит поддерживать как уже существующие и оказываемые в настоящее время услуги ДПЛПД (формата FANS-1/A, ATN-B1, ATN-B2), так и вновь появляющиеся.

Как показывает международная практика развития технических средств ДПЛПД, внедрение технологии ДПЛПД в отечественную практику целесообразно начинать с построения сети ATN, что обеспечит базу для предоставления современных услуг цифровой связи в текущем периоде и позволит широко развивать услуги ДПЛПД в перспективе. В целом, развертывание полномасштабной сети ATN позволит удовлетворить требования провайдера аэронавигационных услуг и пользователей воздушного пространства в части организации унифицированного технического средства безопасной и экономически эффективной передачи данных.

Подходы к построению технической инфраструктуры ДПЛПД

В большинстве случаев для организации радиоканалов связи физического уровня целесообразно развивать сеть цифровых станций VDL-2. При этом технические средства ДПЛПД смогут обеспечивать обработку информации, поступившей от внешних систем по стандартным информационным протоколам (например, ARINC-620 и ARINC-622) через сеть ATN, посредством станций VDL-2 [5]. Развертывание станций VDL-2 следует начинать на трассах районов прохождения основных потоков воздушного движения и зонах основных аэродромов высокой интенсивности.

В настоящее время наиболее экономически оправданным представляется развитие цифровой связи в ВЧ-диапазоне, в первую очередь для обеспечения связи над полярными районами, которые не охвачены действием спутниковых систем. Поэтому практику использования технологии ВЧ-связи (HF DL) в РЦ Магадан можно рассматривать в качестве альтернативы спутниковым системам связи для применения в удаленных и океанических секторах. При этом развитие сети ATN с применением шлюзов для объединения разных технологий ДПЛПД предопределяет создание единой связной инфраструктуры, включающей, в том числе, применение подобных станций ВЧ-связи (HF DL).

Достаточно перспективным для развития услуг ДПЛПД представляется подход при организации сети ATN с применением шлюзов, не ограничивающий приоритеты внедрения в зависимости от особенности принадлежности объекта ОВД – аэродромного или трассового. Такой подход позволяет развивать услуги ДПЛПД независимо от регионального расположения и перечня приложений. Так, например, на отдельных аэродромах можно будет организовывать услугу DCL на базе VDL-2, в то время как в трассовом воздушном пространстве альтернативные технологии FANS – на базе спутниковой связи.

Учитывая перспективы развития средств ДПЛПД целесообразно начать с построения сети ATN/IPS, которая является наиболее современной и превосходит другие сети по ряду функциональных показателей. При этом сети ATN/IPS способны взаимодействовать со станциями VDL-2 без дополнительных средств коммутации [6]. При внедрении система связи ATN будет обеспечивать организацию сетевых услуг передачи данных, удовлетворяющих уже разработанным и апробированным за рубежом требованиям аэронавигационных видов применения [7]. Следует

также учесть, что на основных этапах внедрения сети ATN потребуется организация и проведение испытаний, сертификации связного и коммутационного оборудования.

На начальном этапе внедрения сервис ДПЛПД можно воспринимать в качестве резервного для традиционной речевой связи. Такой подход не окажет существенного влияния на безопасность воздушного движения в период адаптации новой технологии, так как, например, при отказе средств ДПЛПД диспетчер и пилот смогут оперативно связаться с помощью действующих речевых средств связи.

В целом, внедрение технологии ДПЛПД сопряжено с рядом ограничений, которые требуют проработки на уровне органов исполнительной власти, национального провайдера услуг ОВД, смежных ведомств, пользователей воздушного пространства и других заинтересованных сторон. Для решения этой задачи потребуется доработка нормативных документов, регламентирующих внедрение и использование цифровых ЛПД.

Заключение

Авторами обоснован подход к внедрению и определены перспективы развития технологии цифровой линии передачи данных «диспетчер-пилот» в отечественной гражданской авиации.

В соответствии с рекомендациями ИКАО [2, 9] для полноценного предоставления услуги ДПЛПД в автоматизированных системах ОрВД должны быть реализованы сервисы по обмену данными между органами ОВД, обеспечивающие обмен информацией УВД между центрами ОВД, включая уведомление о ВС, приближающихся к границе района полётной информации, координацию условий пересечения границы и передачу управления.

С учётом текущего положения в развитии инфраструктуры наземных авиационных сетей и систем развитие технологии ДПЛПД в отечественной гражданской авиации целесообразно начинать с построения авиационной сети ATN и создания национального провайдера услуг ДПЛПД.

Для внедрения услуг ДПЛПД потребуется существенная проработка вопросов актуализации нормативной правовой базы, решение вопросов с кибербезопасностью этой технологии. Национальному провайдеру аэронавигационных услуг потребуется проведение оценки безопасности полётов при внедрении новых систем и средств с учетом оценки влияния ДПЛПД на загрузку диспетчера УВД [8].

Список источников

1. ИКАО Doc 9750. Глобальный аэронавигационный план. Издание пятое. 2016.
2. ИКАО Doc 9694. Руководство по применению линий передачи данных в целях обслуживания воздушного движения. Части 1, 7. Издание второе. 1999. ИКАО. 256 с.
3. Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь». В Приказе Министерства транспорта Российской Федерации от 20 октября 2014 года № 297.
4. ИКАО Doc 9739. Комплексное руководство по сети авиационной электросвязи (ATN). Издание первое. 2000.
5. ИКАО Doc 9776. Руководство по ОВЧ-линии цифровой передачи данных (VDL) режима 2. Издание второе. 2015.
6. ИКАО Doc 9896. Руководство по сети авиационной электросвязи (ATN), использующей стандарты и протоколы пакета протоколов Интернет (IPS). Издание второе. 2015.
7. ИКАО Doc 9880. «Руководство по детальным техническим характеристикам сети авиационной электросвязи (ATN) с использованием стандартов и протоколов ISO/OSI. Издание первое. 2010.
8. Федеральные авиационные правила «Организация воздушного движения в Российской Федерации». В Приказе Министерства транспорта Российской Федерации от 25 ноября 2011 года № 293.

9. ИКАО Doc 9804. «Руководство по коммутации и сигнализации в речевой связи «земля – земля» при обслуживании воздушного движения». Издание первое. 2002.

References

1. ICAO, Global Air Navigation Plan, 5th ed., 2016.
2. ICAO Doc 9694. Manual of Air Traffic Services Data Link Applications, 2nd ed., 1999, ICAO, 212 p.
3. Federal`nye aviatsionnye pravila “Radiotekhnicheskoe obespechenie poletov vozdushnykh sudov I aviatsionnaya ehlektrosvyaz”. (In Russ.)
4. ICAO Doc 9739, Comprehensive Aeronautical Telecommunication Network (ATN) Manual, 1st ed., 2000.
5. ICAO Doc 9776, Manual on VHF Digital Link (VDL) Mode 2, 2nd ed., 2015.
6. ICAO Doc 9896, Aeronautical Telecommunication Network (ATN), Manual for the ATN using IPS Standards and Protocols, 2nd ed., 2015.
7. ICAO Doc 9880, Manual on Detailed Technical specifications for the aeronautical Telecommunication Network (ATN) using ISO/OSI, 1st ed., 2010.
8. Federal`nye aviatsionnye pravila “Organizatsiya vozdushnogo dvizheniya v Rossijskoj Federatsii”. (In Russ.)
9. ICAO Doc 9804, Manual on Air Traffic Services (ATS) Ground-Ground Voice Switching and Signaling, 1st ed., 2002.

Информация об авторах

Северин Антон Викторович, начальник сектора, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, severin@atminst.ru

Носкова Наталия Васильевна, старший научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, noskova@atminst.ru

Фесенко Юлия Сергеевна, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, fes.julia@gmail.com

Authors information

Severin Anton V., Head of Sector, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, severin@atminst.ru

Noskova Nataliya V., Senior Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, noskova@atminst.ru

Fesenko Yuliya S., Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, fes.julia@gmail.com

Статья поступила в редакцию 28.09.2022; одобрена после рецензирования 23.11.2022; принята к публикации 29.11.2022.

The article was submitted 28.09.2022; approved after reviewing 23.11.2022; accepted for publication 29.11.2022.

Научная статья

УДК [629.735.015.4:620.193]:629.735.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБТЕКАТЕЛЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ САМОЛЁТОВ АН-124-100

О. Ю. ПОВАРОВ, Д. П. ПОПОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Составной частью работ по поддержанию лётной годности на этапе эксплуатации авиационной техники является мониторинг технического состояния и условий эксплуатации воздушных судов (ВС). Мониторинг технического состояния конструкции осуществляется путем анализа получаемых от эксплуатантов и из организаций технического обслуживания данных о дефектах, выявленных в процессе эксплуатации и при проведении углубленных исследований технического состояния конкретного экземпляра. Оценка технического состояния конструкции и своевременное выявление дефектов в процессе эксплуатации, их устранение, последующий анализ и внедрение мероприятий на экземпляре ВС и при необходимости на всём парке являются составляющими процесса мониторинга технического состояния. ГосНИИ ГА выполнена работа по анализу данных о техническом состоянии конструкции обтекателей радиолокационных станций (РЛС) парка самолётов Ан-124-100, эксплуатирующихся в отечественной гражданской авиации. В статье представлены основные результаты анализа, а также предварительные результаты исследований на образцах обтекателей РЛС.

Ключевые слова: самолёт Ан-124-100, эксплуатация авиационной техники, срок службы, обтекатель РЛС, техническое состояние, техническое обслуживание, мониторинг, исследование

Для цитирования: Поваров О. Ю., Попов Д. П. Исследование технического состояния и дополнительных методов эксплуатационного контроля обтекателей радиолокационных станций самолётов Ан-124-100 // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 46–56.

INVESTIGATION OF THE TECHNICAL CONDITION AND ADDITIONAL METHODS OF OPERATIONAL CONTROL OF AN-124-100 AIRCRAFT RADOME RADARS

O. YU. POVAROV, D. P. POPOV

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. Monitoring technical state and operating conditions of aircraft is the component part of the works on the maintenance of airworthiness in the stage of the operation of aircraft. Monitoring the technical state of construction is accomplished via the analysis of the obtained from operators and from the maintenance organizations data about the defects, revealed in the process of operation and with conducting of the thorough studies of the technical state of concrete copy. The estimation of the technical state of construction and timely development in the process of operating the defects, their elimination, the subsequent analysis and the introduction of measures on the instance aircraft and on entire park are if necessary the components of the

process of monitoring technical state. GosNII GA performed work on the analysis of data on the technical condition of the radome radars An-124-100 aircraft operating in the domestic civil aviation. The article presents the main results of the analysis of studies of the technical condition radome radars of the An-124-100 aircraft, performed with the participation of specialists of the GosNII GA, as well preliminary results of studies on radome radars.

Keywords: aircraft An-124-100, operation, the period of service, the radome radars, technical state, maintenance, monitoring, a research

For citation: Povarov O. Yu, Popov D. P., Investigation of the technical condition and additional methods of operational control of An-124-100 aircraft radome radars, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 46–56. (In Russ.)

Введение

В соответствии с требованиями Авиационных правил Часть 25 «Нормы лётной годности самолётов транспортной категории» (пункт 25.571) и Рекомендательным циркуляром РЦ-АП25.571-1А «Оценка допустимости повреждений и усталостной прочности конструкции» учёт опыта эксплуатации парка самолётов является необходимым элементом работ по обоснованию возможности и условий увеличения допустимых в эксплуатации наработок (ресурсов и сроков службы).

Одним из ограничений лётной годности самолёта Ан-124-100 и его модификаций является поэтапная отработка назначенного срока службы обтекателем РЛС. Данное условие введено в раздел 005 «Ресурсы и сроки службы» Руководства по технической эксплуатации (РЭ) самолёта Ан-124-100 [1]. При этом увеличение назначенных сроков службы составных частей обтекателя РЛС необходимо выполнять поэтапно для каждого экземпляра самолёта при достижении обтекателем РЛС срока службы 10 лет, 13 лет и далее через каждые 12 месяцев на основании положительных результатов исследования его технического состояния в объёме Типовой программы № 401.06.ОБ-2010 [2], согласно которой работы по оценке технического состояния обтекателя РЛС выполняет Разработчик самолёта при участии специалистов эксплуатирующего предприятия и ФГУП ГосНИИ ГА. За период с 2010 года по август 2022 года было выполнено более 70 исследований обтекателей РЛС на 12 экземплярах самолётов Ан-124-100 ООО «Авиакомпания Волга-Днепр».

Общие сведения о конструкции обтекателя РЛС

В процессе проектирования составных частей обтекателя РЛС решался комплекс вопросов, включая обеспечение их прочности, жесткости и минимизации потерь высокочастотной энергии в рабочем диапазоне частот и в необходимом диапазоне углов для обеих поляризаций высокочастотного электромагнитного поля. Такой подход продиктовал использование неметаллических радиопрозрачных композиционных конструкций, а именно: трёхслойной для обтекателя верхнего и пятислойной для обтекателя нижнего и створок с низким уровнем расчётных напряжений и, как следствие, с повышенными запасами прочности.

Уникальность конструкции обтекателя РЛС заключается не только в больших размерах его составных частей (рис. 1), но и в использовании ячеистого (не сотового) заполнителя между обшивками.

Обтекатель РЛС состоит (рис. 1) из верхнего обтекателя (ВВ), нижнего обтекателя (НВ) обтекателей и двух створок (НС). На рис. 2 приведены структуры стенок ВВ (а), НВ и НС (б), которые представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из тонких стеклопластиковых обшивок 1, перегородок 3 и заполнителя ячеистого типа 2.

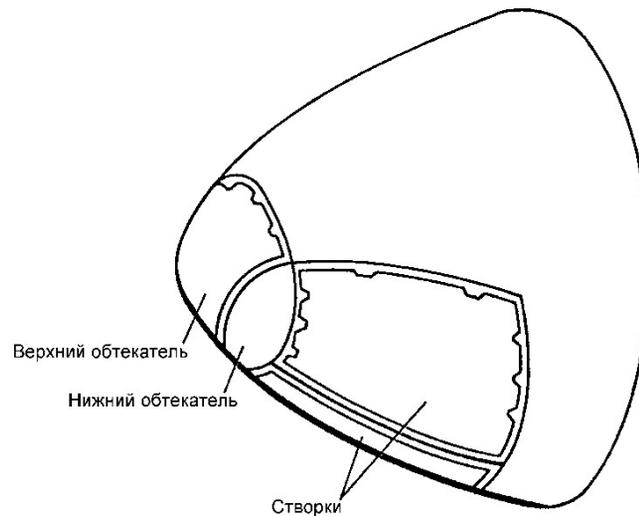


Рис. 1. Общий вид обтекателя РЛС

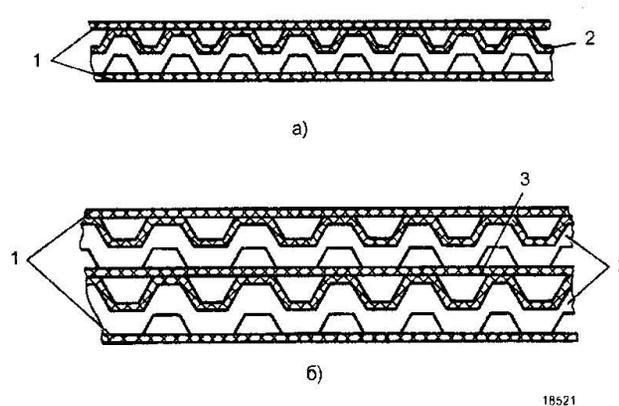


Рис. 2. Структура стенок составных частей обтекателя РЛС

Обшивки и ячеистый наполнитель выполнены из стеклоткани типа Т-10 на связующем (смоляная пропитка) 5-211Б и собираются в пакет на клее ВК-51.

Для обеспечения продувки внутренних полостей горячим воздухом в обтекателе предусмотрены специальные гнезда, закрываемые снаружи пробками. Изнутри обтекателя гнезда закрыты коллекторами (воздуховодами) коробчатого типа, обеспечивающими подвод воздуха непосредственно во внутренние полости через вентиляционные отверстия.

Для предупреждения образования застойных зон влаги и предупреждения обледенения внутренней поверхности в обтекателе предусмотрены шестнадцать дренажных отверстий $\varnothing 6$ мм.

Ресурсы и сроки службы обтекателя РЛС и анализ действующей эксплуатационной документации (ЭД)

Согласно табл. 2 раздела 005 РЭ [1] назначенный ресурс всех составных частей обтекателя РЛС составляет 32000 лётных часов, назначенный срок службы его составных частей – ВВ и НВ составляет 25 лет, НС – 30 лет.

Данные величины ресурса и срока службы установлены на основании заключений [3, 4]. Согласно данным заключениям в многослойной конструкции обтекателя РЛС «слабым звеном» по характеристикам механической прочности, подверженности старению и снижению этих

характеристик под влиянием переменных нагрузок и климатического воздействия, является клеевое соединение обшивки с наполнителем.

В связи с этим основным методом контроля конструкции обтекателя РЛС установлен акустический контроль методом свободных колебаний. Разработана и введена в раздел 053.51.05 действующей ЭД технологическая карта (ТК) № 603 «Проверка состояния обтекателя РЛС акустическим методом свободных колебаний». В технологической карте № 602 «Осмотр обтекателя РЛС» установлены размеры допустимых (допускаемых к эксплуатации без устранения) повреждений вида «отслоение обшивок от наполнителя»:

- для ВВ – 200 см² одиночного очага, 500 см² – суммарная площадь очагов отслоений;
- для НВ – 150 см² одиночного очага, 250 см² – суммарная площадь очагов отслоений;
- для обтекателей створок НСл, НСпр – 350 см² одиночного очага, 600 см² – суммарная площадь очагов отслоений.

При регламентированном превышении указанных значений отслоений выполняется типовой ремонт согласно ТК 801 раздела 053.51.01 ЭД: участок ячеистого наполнителя в месте дефекта вырезается со стороны внутренней обшивки и заменяется сотовым наполнителем, имеющем увеличенную площадь приклеивания к обшивке, устанавливаются ремонтные накладки на обшивку. При дальнейшем превышении площадей отслоений решение об условиях дальнейшей эксплуатации (в т. ч. возможности нетипового ремонта) принимает Разработчик самолёта.

Существует еще одна технологическая карта № 606 «Проверка состояния обтекателя РЛС акустическими методами контроля», которая предусматривает проведение контроля с помощью импедансного дефектоскопа ИД-91М. Работы по ней выполняются только в случае обнаружения предполагаемых отслоений обшивки от наполнителя согласно ТК № 603.

Требования действующей ЭД [5, 6] по осмотру и контролю обтекателя РЛС обобщены в таблице.

Перечень задач по осмотру и контролю обтекателя РЛС

№ ТК раздела 053.51.05	Наименование ТК	Пункт регламента, периодичность	Примечание
ТК 601	Осмотр внутренних дренажных отверстий	4.053.37, 500 л.ч./6 мес.	
ТК 602	Осмотр обтекателя РЛС	4.053.40, 500 л.ч./6 мес.	Осмотр выполняется снаружи и изнутри
ТК 603	Проверка состояния обтекателя РЛС акустическим методом свободных колебаний	3.053.02, форма 5Б (250 л.ч.) 4.053.39а, 500 л.ч./6 мес.	
ТК 604	Проверка соответствия потерь СВЧ мощности в обтекателе РЛС после ремонта	-	После выполнения ремонта (только для самолётов, не оборудованных RDR-400)
ТК 605	Проверка состояния обтекателя РЛС после ремонта акустическим импедансным методом с помощью импедансного дефектоскопа ИД-91М	-	После выполнения ремонта
ТК 606	Проверка состояния обтекателя РЛС акустическими методами контроля	4.053.42, 1000 л.ч./12 мес.	При отсутствии дефектов совпадает с ТК 603
ТК 801	Ремонт обтекателя РЛС	В случае обнаружения дефектов	

Результаты исследований по типовой программе № 401.06.ОБ-2010

Типовая программа № 401.06.ОБ-2010 предусматривает следующие работы:

- проверка паспортов обтекателей, самолётной пономерной технической документации с целью выявления особенностей эксплуатации обтекателей (доработки, ремонты, перестановки, попадание в особые случаи эксплуатации);
- внешний осмотр обтекателей, включающий осмотр дренажных отверстий, внутренних полостей обтекателей, узлов крепления обтекателей к конструкции самолёта;
- определение по поверхностям обтекателей мест отслоений обшивки от ячеистого заполнителя (или от сотового в местах выполненных ремонтов);
- осмотр шин молниезащиты.

Работы проводятся комиссией в составе представителей Разработчика самолёта, сертификационных центров и эксплуатанта. Результатом работ является «Акт оценки технического состояния обтекателя РЛС...». Типовая программа № 401.06.ОБ-2010 не предусматривает каких-либо новых методов исследования и оценки технического состояния обтекателя РЛС. Она лишь позволяет объединить все существующие ТК по контролю технического состояния обтекателя РЛС и на основе имеющегося опыта эксплуатации принять решение о допуске обтекателя конкретного самолёта к отработке очередного этапа назначенного срока службы.

В основу данной статьи легли результаты исследования более 70 обтекателей РЛС по типовой программе № 401.06.ОБ-2010. В процессе анализа этих материалов установлено, что повторяющимися дефектами обтекателей РЛС являются (в скобках приведен процент повторяемости по упоминанию в актах):

- отслоения обшивки от ячеистого заполнителя (80 %);
- отслоения, сколы внешнего слоя лакокрасочного покрытия (ЛКП) на переднем и нижнем обтекателях (33 %);
- отслоения, сколы внешнего слоя ЛКП на обтекателях створках (20 %);
- пробоины (до 5x5 мм) наружной обшивки на верхнем и нижнем передних обтекателях (10 %);
- очаги поверхностной коррозии на шинах молниезащиты (10 %);
- обрывы лент молниезащиты (после доработки по бюллетеню № 710-БУ-Г по замене шин молниезащиты на сегментные) (5 %).

В данной статье основное внимание уделено наиболее массовым дефектам – отслоениям обшивки обтекателей от ячеистого заполнителя.

Отслоением является нарушение клеевого соединения между склеенными ранее обшивкой и заполнителем. Оно может иметь локальный характер, в пределах ограниченной зоны, либо означать полную потерю клеевого соединения между склеенными частями по всей поверхности.

Согласно Заключениям [3, 4] причинами появления такого типа дефекта может являться следующее:

- брак и наличие скрытых дефектов, допущенные при изготовлении (плохие адгезионные свойства, непроклеи поверхностей);
- наличие влаги в конструкции, которое может привести к образованию льда в процессе эксплуатации;
- воздействие вибраций;
- ухудшение свойств клея, вызванное его старением;
- механическое воздействие на конструкцию (удар).

Для анализа авторами взяты данные по отслоениям обшивки, содержащиеся в актах оценки технического состояния обтекателей РЛС, установленных на самолётах Ан-124-100 ООО «Авиакомпания Волга-Днепр». Проанализировано изменение технического состояния каждого обтекателя РЛС по мере увеличения календарного срока службы, причём анализ вёлся по каждой

составной части обтекателя отдельно, проведено сравнение состояния обтекателей РЛС на парке самолётов с одинаковыми сроками службы, выполнен анализ ремонтов конструкции обтекателей. В результате для данной статьи выбраны несколько основных результатов анализа. Для наибольшей информативности нижеприведенные результаты основаны на текущем состоянии обтекателей с разными сроками службы. Например, выполнено сравнение среднего количества отслоений по составным частям обтекателя (рис. 3), сравнение суммарных площадей отслоений (рис. 4), количество ремонтов обшивок (рис. 5).

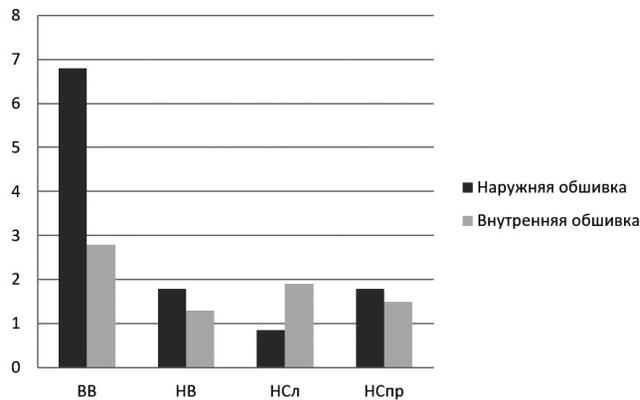


Рис. 3. Среднее количество отслоений по составным частям обтекателя РЛС

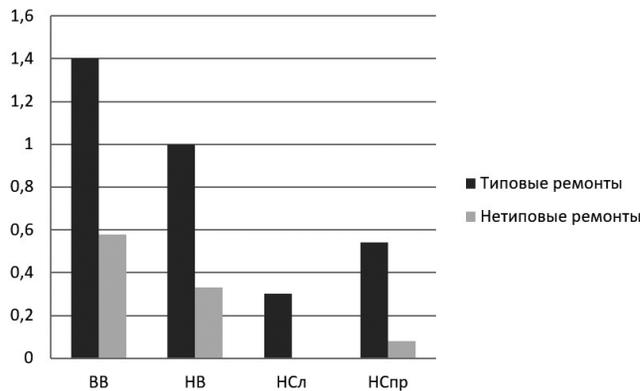


Рис. 4. Суммарные площади отслоений (см²) по составным частям обтекателя РЛС

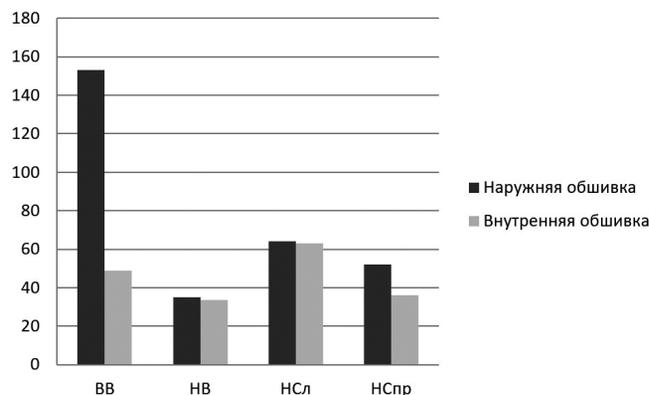


Рис. 5. Среднее количество ремонтов по составным частям обтекателя РЛС

На рис. 3–5 видно, что наиболее повреждаемым элементом является ВВ.

По ВВ выполнено статистическое исследование значений площадей отслоений в зависимости от срока службы обтекателей (рис. 6).

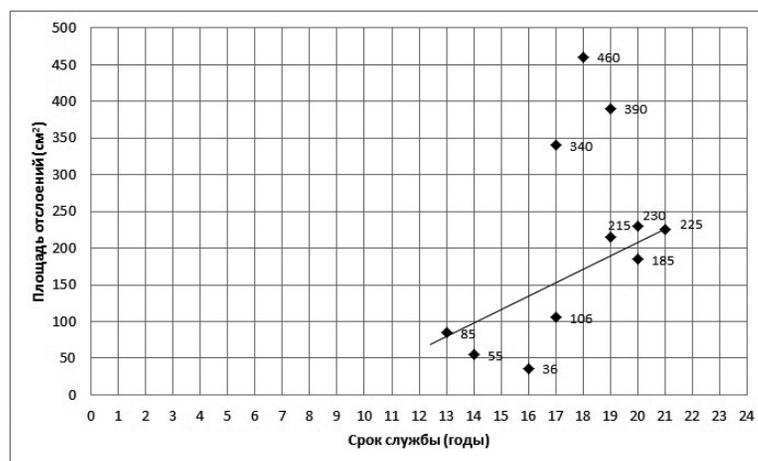


Рис. 6. Зависимость суммарных площадей отслоений ВВ от срока службы

Из рис. 6 видно, что все эксплуатируемые ВВ имеют срок службы от 13 лет до 21 года, прослеживается тенденция к увеличению площади отслоений по мере увеличения срока службы. При превышении предельных значений суммарных отслоений в эксплуатации выполняется ремонт обтекателя. Так, на 10 из 12 эксплуатирующихся ВВ выполнены 17 ремонтов, из них 7 нетиповых. Вместе с тем, суммарные площади отслоений в настоящее время поддерживаются в пределах допусков, определённых действующей ЭД (для ВВ это до 500 см²).

Для остальных составных частей обтекателя (НВ, НСл, НСпр) ситуация лучше: с меньшими величинами суммарных отслоений по обшивкам, меньшим количеством ремонтов.

В целом по результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- повреждаемость составных частей обтекателя различна, в частности для ВВ она примерно в три раза выше, чем для НС;
- существующая тенденция к расширению площадей отслоения по мере увеличения срока службы нивелируется введенными в ЭД технологическими процедурами и в отдельных случаях внедренными Разработчиком корректирующими мероприятиями (ремонтами).

Анализ опыта эксплуатации

26.05.2020 самолёт Ан-124-100 RA-82077 при выполнении захода на посадку в сложных метеоусловиях при обходе очагов грозовой активности непреднамеренно в течение 10–15 с попал в зону осадков. Экипаж отмечал шум, наблюдал вспышки молний по сторонам с последующим хлопком. Параметры работы двигателей и систем – без отклонений. Посадка выполнена благополучно. На послеполётном осмотре обнаружено повреждение обтекателя РЛС в носовой части ВС (рис. 7).

Обнаружены и другие повреждения составных частей обтекателя РЛС. Обтекатель РЛС ремонту не подлежит. Срок службы обтекателя на момент авиационного события составлял 16 лет 2 месяца.

Важно отметить то, что в результате повреждения не произошли разрушение и отрыв составных частей обтекателя в полёте. Других повреждений планера ВС не зафиксировано. Из данного авиационного события можно сделать вывод о надёжности конструкции обтекателя РЛС и обеспечении приемлемого уровня отказобезопасности при его эксплуатации.

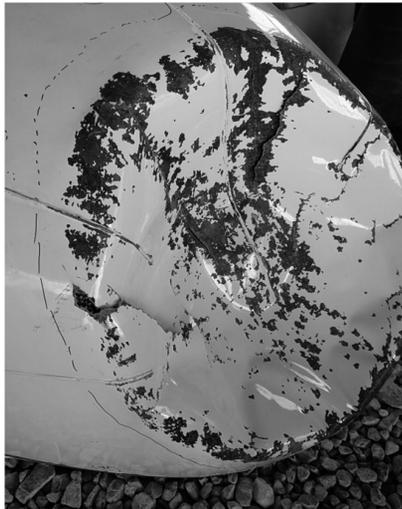


Рис. 7. Самолёт Ан-124-100 RA-82077. Повреждение (деформация, потеря устойчивости, трещины) верхнего обтекателя в результате попадания в зону осадков в полёте 26.05.2020 (фото сделано авторами)

Других инцидентов и авиационных происшествий в эксплуатации (в полёте) с обтекателями РЛС на самолётах Ан-124-100 ООО «Авиакомпания Волга-Днепр» не зафиксировано.

Экспериментальные исследования

В 2016 году по заявке эксплуатирующего предприятия силами специалистов ГосНИИ ГА выполнено исследование технического состояния обтекателя РЛС самолёта Ан-124-100 RA-82042 в объёме типовой программы № 401.06.ОБ-2010. Одновременно был выполнен контроль отслоений обшивки обтекателя РЛС с применением тепловизионного метода с участием специалистов ООО «НУЦ» «Качество», предоставившего также для работы тепловизор НЕК ТН 7800 и технологию работы с ним. По результатам работ оформлен акт [7]. При контроле использовался активный метод с применением нагрева конструкции обшивок обтекателей специальными лампами и промышленным феном. Результаты контроля задокументированы в термограммах, по которым можно определить зоны ремонта, контуры ячеистого заполнителя, а также дефекты, обнаруженные акустическим методом. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при проведении дальнейших исследований, например, на образцах с специально введенными дефектами, технология тепловизионного контроля может быть доработана и адаптирована для условий эксплуатации самолёта Ан-124-100.

В продолжение вышеуказанного исследования в 2016 году эксплуатирующим предприятием было подготовлено и согласовано с НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА техническое задание (ТЗ) [8] на разработку методических рекомендаций и технологических карт по комплексному неразрушающему контролю обтекателя РЛС самолёта Ан-124-100 в условиях его эксплуатации. Согласно ТЗ институт должен был выполнить следующие работы:

- разработка методических рекомендаций по комплексному неразрушающему контролю (НК) обтекателя РЛС самолётов типа Ан-124-100 в условиях эксплуатации с применением дополнительных методов контроля (импедансного и тепловизионного) для определения объёма ремонта обтекателя РЛС или его замены;
- сравнение результатов исследований обтекателей РЛС, выполненных по типовой программе № 401.06.ОБ-2010 и альтернативными методами;
- выбор оптимальных (с точки зрения цена-качество) методов НК конструкции обтекателя РЛС самолётов Ан-124-100.

Был заключён договор, выполнены начальные этапы работ:

- отбор фрагментов образцов из дефектных обтекателей РЛС;
- подготовка выбранных образцов конструкции обтекателя РЛС, нанесение на образцы искусственных повреждений (дефектов), выполнение на образцах типовых ремонтов;
- проведение работ по контролю дефектных образцов РЛС тепловым и импедансным методами.

Работы проводились на базе ГосНИИ ГА и НПО «Кропус» (Ногинск) при участии специалистов отдела неразрушающего контроля ГосНИИ ГА и НПО «Кропус». Участниками работ была продемонстрирована принципиальная возможность обнаружения эксплуатационных дефектов ячеистой конструкции обтекателей РЛС при применении импедансного и теплового методов НК, а также запланированы дальнейшие исследования с целью разработки новых ТК контроля в рамках указанных методов.

При проведении исследований вопросы метрологического обеспечения не рассматривались, что не исключает возникновение метрологических рисков негативных ситуаций [9] в процессе применения дополнительных методов контроля (тепловизионного и импедансного) обтекателя РЛС самолётов Ан-124-100. В случае продолжения начатых исследований необходимо уделить внимание вопросам оценки метрологических характеристик указанных методов с использованием разработанных в ГосНИИ ГА применительно для НК в авиационной деятельности методических подходов и организационных основ [10].

Заключение

Техническое состояние обтекателей РЛС самолётов Ан-124-100, эксплуатирующихся в отечественных авиакомпаниях, по результатам проведённого авторами исследования можно охарактеризовать как удовлетворительное. Поэтапная отработка назначенного срока службы обтекателями РЛС с применением типовой программы № 401.06.ОБ-2010 обеспечивает сохранение лётной годности самолёта Ан-124-100.

Выполненные ГосНИИ ГА совместно с НПО «Кропус» начальные работы по разработке методических рекомендаций и технологических карт по дополнительным методам контроля обтекателя РЛС самолёта Ан-124-100 подтвердили возможность оценки технического состояния ячеистых конструкций самолётов в эксплуатации, в том числе с применением импедансного и теплового методов, и их результаты могут быть использованы при разработке технологических карт Регламентов технического обслуживания для аналогичных конструкций авиационной техники.

Список источников

1. Самолёт Ан-124-100. Руководство по технической эксплуатации. 1.4001.0000.000.000 РЭЭ. 2002. С. 12–14.
2. Типовая программа исследования технического состояния обтекателей РЛС самолёта Ан-124-100 и его модификаций с целью увеличения назначенного срока службы. 401.06.ОБ-2010. ГП «Антонов» – НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА. 2010. С. 1–4.
3. Заключение № 124-100-123-2010 об установлении назначенного срока службы 25 лет в пределах назначенного ресурса 24000 лётных часов составным частям обтекателя РЛС – обтекателям верхнему и нижнему самолётов Ан-124-100 и модификаций по условиям прочности конструкции при длительной эксплуатации. ГП «Антонов» – ФГУП «ЦАГИ» – НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА. 2010.
4. Заключение № 124-100-134-2010 об установлении назначенного ресурса 32000 лётных часов всем составным частям обтекателя РЛС и срока службы 30 лет его составным частям – обтекателям створкам самолётов Ан-124-100 и модификаций по условиям прочности конструкции при длительной эксплуатации. ГП «Антонов» – ФГУП «ЦАГИ» – НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА. 2010.

5. Самолёт Ан-124-100. Руководство по технической эксплуатации. 1.4001.0000.000.000 РЭЗ. 2002.
6. Самолёт Ан-124-100. Регламент технического обслуживания. 1.4001.000.000.000РО. 2003.
7. Акт оценки технического состояния обтекателя РЛС самолёта Ан-124-100 № RA-82042. НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА. 07.09.2016. С. 1–17.
8. Техническое задание на выполнение работ по «Разработке методических рекомендаций и технологических карт по комплексному неразрушающему контролю обтекателя РЛС самолёта Ан-124-100 в условиях его эксплуатации». НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА. Утверждено 28.12.2016. С. 1–6.
9. 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. <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>
10. Богоявленский А. А., Ермолаева О. Л. Метрологическое обеспечение работ по неразрушающему контролю и диагностированию авиационной техники / Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 175(1). С. 154–157.

References

1. Aircraft An-124-100. Aircraft Maintenance Manual. 1.4001.0000.000.000 RE9, 2002, pp 12–14. (In Russ.)
2. Typical program of the analysis of the technical state of the radome radars An-124-100 aircraft, 401.06. ОБ-2010, GP “Antonov”, GosNII GA, 2010, pp. 1–4. (In Russ.)
3. Conclusion № 124-100-123-2010 on the establishment of the assigned service life of 25 years within the assigned resource of 24000 flight hours of the components of the radome radars – the upper and lower fairing of An-124-100 aircraft and modifications according of the conditions of structural strength during long-time operation, GP “Antonov”, FGUP TsAGI, GosNII GA, 2010. (In Russ.)
4. Conclusion № 124-100-134-2010 on the establishment of the assigned resource 32000 flight hours for all components of the radome radars and service life of 30 years of the components of the radome radars – the fairing door of An-124-100 aircraft and modifications according of the conditions of structural strength during long-time operation, GP “Antonov”, FGUP TsAGI, GosNII GA, 2010. (In Russ.)
5. Aircraft An-124-100. Aircraft Maintenance Manual. 1.4001.0000.000.000 RE3, 2002. (In Russ.)
6. Aircraft An-124-100. Maintenance Schedule. 1.4001.000.000.000RO, 2003. (In Russ.)
7. Act of assessment of the technical condition of the radome radars of the An-124-100 No. RA-82042, NC PLGVS GosNII GA, 07/09/2010, pp 1–17. (In Russ.)
8. Terms of reference for the performance of work on “The development of guidelines and technological maps for complex non-destructive testing of the radome radars An-124-100 aircraft in the conditions of the operation”, Operator, GosNII GA, Approved 12/28/2016, pp 1–6. (In Russ.)
9. Bogojavlenskiy A. A., Bokov A. E., *The world of measurement*, 2013, no. 10, С. 3–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.35400/1813-8667-2013-10-3-7>
10. Bogojavlenskij A. A., Ermolaeva O. L., Metrologicheskoe obespechenie rabot po nerazrushajushhemu kontrolju i diagnostirovaniju aviacionnoj tehniky, *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2012, no. 175(1), pp. 154–157. (In Russ.)

Информация об авторах

Поваров Олег Юрьевич, начальник группы, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, rovarov_ou@ncplg.ru

Попов Денис Павлович, научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, porov_dp@ncplg.ru

Authors information

Povarov Oleg Yu., Head of Group, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, povarov_oy@ncplg.ru

Popov Denis P., Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, popov_dp@ncplg.ru

*Статья поступила в редакцию 04.10.2022; одобрена после рецензирования 23.11.2022; принята к публикации 29.11.2022.
The article was submitted 04.10.2022; approved after reviewing 23.11.2022; accepted for publication 29.11.2022.*

Научная статья
УДК 629.7.058

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ АВИАЦИОННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Э. А. БОЛЕЛОВ¹, С. В. ШАЛУПИН¹, М. Б. ФРИДЗОН², И. Б. ГУБЕРМАН², В. Д. РУБЦОВ²

¹ *Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия*

² *Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия*

Аннотация. Появление принципиально новых технических решений при разработке и совершенствовании бортовых систем воздушных судов и средств радиотехнического обеспечения полётов привело к коренным изменениям в архитектуре современных радиоэлектронных систем. Новые технические принципы построения радиоэлектронных систем, их интеграция и многофункциональность, усложнение и появление новых взаимосвязей между элементами системы привели к появлению современных бортовых пилотажно-навигационных комплексов и средств радиотехнического обеспечения полётов, в котором радиоэлектронные системы играют решающую роль. В свою очередь, существующие методы и технические средства контроля, диагностирования и управления техническим состоянием не в полной мере учитывают эти особенности и поэтому не позволяют в максимальной степени использовать потенциальные характеристики систем. Анализ радиоэлектронной системы как объекта управления техническим состоянием позволяет говорить о возможности разбиения сложной задачи управления техническим состоянием в воздухе и на земле на ряд частных подзадач, которые включают задачу управления техническими параметрами элемента радиоэлектронной системы. В статье представлено решение задачи синтеза алгоритма управления техническим состоянием радиоэлектронной системы путём управления техническими параметрами элемента системы. При решении использованы методы теории оптимального управления, проанализированы статистические характеристики результатов управления. Предложен вариант синтеза алгоритма управления техническими параметрами элемента, который обеспечивает отсутствие систематической ошибки в конечном результате управления, минимальное значение показателя качества управления и высокую вероятность безотказной работы элемента в момент окончания управления.

Ключевые слова: гражданская авиация, воздушное судно, техническое состояние, показатель качества управления, оптимальное управление, систематическая ошибка, радиоэлектронная система, технический параметр

Для цитирования: *Болелов Э. А., Шалупин С. В., Фридзон М. Б., Губерман И. Б., Рубцов В. Д. Алгоритм управления техническими параметрами авиационных радиоэлектронных систем // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 57–68.*

ALGORITHM FOR CONTROLLING THE TECHNICAL PARAMETERS OF AVIATION RADIO-ELECTRONIC SYSTEMS

E. A. BOLELOV¹, S. V. SHALUPIN¹, M. B. FRIDZON², I. B. GUBERMAN², V. D. RUBTSOV²

¹ *Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

² *The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia*

Abstract. The emergence of fundamentally new technical solutions in the development and improvement of aircraft onboard systems and flight radio equipment has led to fundamental changes in the architecture of modern electronic systems. New technical principles for the construction of radio-electronic systems, their integration and multifunctionality, the complexity and emergence of new relationships between the elements of the system have led to the emergence of modern airborne flight navigation systems and flight radio equipment, in which radio-electronic systems play a crucial role. In turn, the existing methods and technical means of monitoring, diagnosing and managing the technical condition do not fully take into account these features and therefore do not allow the maximum use of the potential characteristics of the systems. The analysis of the radio-electronic system as an object of technical condition control allows us to talk about the possibility of dividing the complex task of controlling the technical condition in the air and on the ground into a number of particular subtasks, which include the task of controlling the technical parameters of the element of the radio-electronic system. The article presents a solution to the problem of synthesis of an algorithm for controlling the technical condition of a radio-electronic system by controlling the technical parameters of a system element. The methods of optimal control theory were used in the solution, the statistical characteristics of the control results were analyzed. A variant of the synthesis of the control algorithm for the technical parameters of the element is proposed, which ensures the absence of a systematic error in the final result of control, the minimum value of the control quality indicator and a high probability of trouble-free operation of the element at the end of control.

Keywords: civil aviation, aircraft, technical condition, control quality indicator, optimal control, systematic error, radio electronic system, technical parameter

For citation: Bolelov E. A., Shalupin S. V., Fridzon M. B., Guberman I. B., Rubtsov V. D., Algorithm for controlling the technical parameters of aviation radio-electronic systems, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 57–68. (In Russ.)

Введение

Радиоэлектронные системы (РЭС) гражданской авиации представлены достаточно широко. Это наземные средства радиотехнического обеспечения полётов и авиационной электросвязи, бортовые РЭС устройства пилотажно-навигационных комплексов воздушных судов. Анализ принципов построения современных РЭС позволяет характеризовать последние как отдельный класс сложных технических систем. Сложные технические системы состоят из множества функционально взаимосвязанных элементов, причем каждый из элементов РЭС может быть резервирован или сам по себе иметь сложную структуру. Техническое состояние элемента РЭС определяется по некоторой совокупности технических параметров. Такими параметрами являются мощность и несущая частота излучения передатчика, ток магнетрона, токи кристаллов высокочастотных диодов, глубина модуляции, чувствительность приёмника, коэффициент усиления приёмного тракта, другие технические параметры. Управление техническим состоянием элемента РЭС может осуществляться путём замены отказавшего элемента на работоспособный (в случае наличия структурной избыточности) или путём управления значением технического параметра элемента РЭС.

Актуальной является задача разработки алгоритма управления значением технического параметра элемента РЭС. В работе приводится постановка задачи и синтез алгоритма управления значением технического параметра элемента РЭС.

Постановка задачи

Пусть техническое состояние (ТС) элемента РЭС, изменяющееся под воздействием внешних факторов и процессов старения случайным образом, определяется значениями технического параметра $k(t)$. Для каждого технического параметра можно указать его номинальное значение k_n , соответствующее идеальным условиям функционирования. Степень отличия значения технического параметра от его номинального значения оценивается выражением

$$\Delta k(t) = k(t) - k_n. \quad (1)$$

Между случайным значением технического параметра $k(t)$ и $\Delta k(t)$ существует взаимная однозначная связь, поэтому качество функционирования отдельного элемента РЭС может оцениваться как непосредственно значениями технического параметра $k(t)$, так и отклонением его от номинального значения $\Delta k(t)$ [1, 2].

Применительно к РЭС обычно полагают, что $\Delta k(t)$ в выражении (1) в каждый момент времени имеет гауссовское распределение и его изменение во времени аппроксимируется линейным стохастическим дифференциальным уравнением вида [2]

$$\Delta \dot{k}(t) + \alpha \Delta k(t) = \rho n(t), \quad (2)$$

в котором α, ρ – постоянные известные коэффициенты; $n(t)$ – реализация независимого случайного процесса $\{n(t)\}$ – белого гауссовского шума с математическим ожиданием $M\{n(t)\} = 0$ и корреляционной функцией

$$K_n(t_1, t_2) = \frac{N_n}{2} \delta(t_1 - t_2), \quad (3)$$

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0; \\ 0, & t \neq 0, \end{cases}$$

где N_n – постоянная известная интенсивность шума $\delta(t)$ – функция Дирака. Начальные условия – случайные гауссовские, с математическим ожиданием $m_{\Delta}(t_0) = m_{\Delta 0}$ и дисперсией $\sigma_{\Delta}^2(t_0) = \sigma_{\Delta 0}^2$.

Для значений $\Delta k(t)$ устанавливается область допустимых значений $[k_1, k_2]$, позволяющая судить о наличии $\Delta k(t) \notin [k_1, k_2]$ или отсутствии $\Delta k(t) \in [k_1, k_2]$ отказа по техническому параметру $k(t)$.

В фиксированный момент времени производится контроль значения $\Delta k(t)$. Если $\Delta k(t) \in [k_1, k_2]$, то никаких действий по управлению ТС не производится. Если $\Delta k(t) \notin [k_1, k_2]$, то фиксируется отказ по параметру $k(t)$, производится управление ТС элемента РЭС путём управления значением $\Delta k(t)$ к нулю на интервале времени $[t_0, t_k]$ за счет введения в уравнение (2) функции управления $u_k(t) \in (-\infty, \infty)$

$$\Delta \dot{k}(t) + \alpha \Delta k(t) = \theta u_k(t) + \{n(t)\} \rho n(t), \quad (4)$$

где θ – постоянный известный коэффициент.

Оценка значения $\Delta k(t)$ происходит на основании результатов контроля. Модель наблюдения на входе средства контроля может быть представлена в виде [1, 3]

$$y(t) = \Delta k(t) + \xi(t), \quad (5)$$

где $\xi(t)$ – ошибки контроля в виде реализации независимого случайного процесса – белого гауссовского шума с $M\{\xi(t)\} = 0$ и интенсивностью N_{ξ} .

Показатель, характеризующий качество функционирования системы управления, должен учитывать степень достижения конечной цели управления, т. е. погрешность технического параметра в конечный момент времени управления $\Delta k(t_k)$, а также затраты, связанные с процессом управления. На практике чаще всего используются аддитивные квадратичные функционалы [4]

$$J = Q \Delta k^2(t_k) + \int_{t_0}^{t_k} L^{-1} u_k^2(t) dt, \quad (6)$$

где L и Q – известные постоянные коэффициенты соответствующей размерности. В дальнейшем, не нарушая общности рассуждений, положим L и Q равными единице.

Функционал (6) является случайной скалярной величиной, что объясняется случайным характером изменения значений ошибки контроля технического параметра $\Delta k(t)$ и функции управления $u_k(t)$. Однако показатель, характеризующий качество функционирования системы управления, должен быть детерминированным, поэтому значения функционала (6) необходимо усреднить

$$M\{J(\cdot)\} = M\left\{\Delta k^2(t_k) + \int_{t_0}^{t_k} u_k^2(t) dt\right\}. \quad (7)$$

Таким образом, постановка задачи управления ТС элемента РЭС сводится к следующему. Располагая априорными сведениями о процессе изменения во времени значения $\Delta k(t)$ (1)–(4), наблюдением (5) и статистическими характеристиками случайных процессов, входящих в эти уравнения, требуется определить функцию управления $u_k(t)$ в соответствии с критерием

$$M\{J(\cdot)\} \rightarrow \min_{u_k(t) \in U_H}, \quad (8)$$

обеспечивающим минимальную ошибку в конечном результате управления и минимальные затраты на управление на множестве управлений U_H .

Анализ статистических характеристик результатов управления

Если воспользоваться методами синтеза оптимального управления [5], то решение данной задачи сводится к определению:

1) математической модели элемента оценивания в виде фильтра Калмана

$$\dot{\Delta k}^*(t) + \left[\alpha + \frac{2\sigma^2(t)}{N_\xi} \right] \Delta k^*(t) = \frac{2\sigma^2(t)}{N_\xi} y(t) + \theta u_k(t), \quad (9)$$

который формирует оценку отклонения технического параметра от номинального значения $\Delta k^*(t)$ по критерию минимума математического ожидания квадратичной функции потерь

$$M\left\{\left[\Delta k(t) - \Delta k^*(t)\right]^2\right\} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Переменные коэффициенты фильтра (9) зависят от дисперсии ошибки оценивания $\sigma^2(t)$, которая удовлетворяет дифференциальному уравнению типа Риккати

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}^2(t) + 2\alpha\sigma^2(t) + \frac{2\sigma^4(t)}{N_\xi} &= \frac{\rho^2 N_n}{2}, \\ \sigma^2(0) &= \sigma_{\Delta 0}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

и не зависит от функции управления $u_k(t)$.

2) математической модели элемента управления в виде линейного соотношения

$$u_k(t) = -\theta \Lambda(t) \Delta k^*(t), \quad (12)$$

которое обеспечивает управление значением ошибки технического параметра по результатам оценивания. Функция $\Lambda(t)$, $t \in [t_0, t_k]$, в выражении (12) является решением дифференциального уравнения

$$\begin{aligned} \dot{\Lambda}(t) &= 2\alpha\Lambda(t) + \theta^2 \Lambda^2(t), \\ \Lambda(t_k) &= 1 \end{aligned} \quad (13)$$

и так же, как (11), не зависит от $u_k(t)$.

Считается, что синтезированная таким методом система управления является оптимальной, т. е. в ней достигается минимальная величина показателя (7). При синтезе системы в данном случае наряду с критерием (8) применяется критерий качества оценивания (10). С помощью критерия (10) определяются тип и параметры модели фильтра Калмана (9)–(11).

Интуитивно предполагается, что чем меньше ошибка оценивания отклонения технического параметра от номинального значения, тем выше качество работы системы управления ТС элемента РЭС. Однако, использование при синтезе системы управления двух критериев, минимизация которых осуществляется на пересекающихся множествах (множество значений $\Delta k(t)$), в первую очередь, ставит вопрос о согласованности этих критериев между собой [6, 7]. Если они согласованы, то применение одного из них является излишним. Если же они не согласованы, то достижение минимума возможно только одним из них. В данной задаче критерий (10) достигает минимума, поэтому следует ожидать, что критерий (7) не примет минимального значения. Для проверки этих предположений необходимо определить значение показателей (7) и (11) и провести анализ влияния статистических характеристик результатов управления на значение показателей (7) и (11).

Выбранный показатель (7), характеризующий качество функционирования системы управления ТС элемента РЭС аддитивен, а его составляющие являются гауссовскими случайными величинами [8]. Известно, что в гауссовском распределении математическое ожидание и дисперсия являются независимыми статистическими характеристиками. Используя свойство аддитивности показателя качества управления (7), его можно представить в виде суммы

$$M\{J(\cdot)\} = m_{\Delta}^2(t_k) + \sigma_{\Delta}^2(t_k) + \int_{t_0}^{t_k} [m_u^2(t) + \sigma_u^2(t)] dt, \quad (14)$$

где $m_{\Delta}(t_k)$ – математическое ожидание отклонения технического параметра от номинального значения $\Delta k(t_k)$, которое имеет смысл систематической ошибки технического параметра в момент окончания управления, $\sigma_{\Delta}^2(t_k)$ – дисперсия конечного результата управления; $m_u(t)$, $\sigma_u^2(t)$ – математическое ожидание и дисперсия управления, определяющие затраты на управление. Соотношение (14) можно также получить, используя методику [9].

Определим значение каждой статистической характеристики и, используя выражение (14), проведем анализ влияния каждой статистической характеристики на показатель качества системы управления ТС элемента РЭС.

В начале определим значение систематической ошибки технического параметра в момент времени окончания управления $m_{\Delta}(t_k)$ и значение интегрального слагаемого, характеризующего затраты на управление, обусловленные математическим ожиданием управления $m_u(t)$.

Решение дифференциального уравнения (13)

$$\Lambda(t) = \left[\left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha(t_k - t)} - \frac{\theta^2}{2\alpha} \right]^{-1}$$

полностью определяет математическую модель элемента управления (12)

$$u_k(t) = -\theta \left[\left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha(t_k - t)} - \frac{\theta^2}{2\alpha} \right]^{-1} \Delta k^*(t).$$

В результате функционирование синтезированной системы управления ТС элемента РЭС будет описываться системой двух дифференциальных уравнений и линейным соотношением для управления

$$\left. \begin{aligned} \Delta \dot{k}(t) + \alpha \Delta k(t) &= \theta u_k(t) + \rho n(t); \\ \Delta \dot{k}^*(t) + \beta(t) \Delta k^*(t) &= \gamma(t) [\Delta k(t) + \xi(t)] + \theta u_k(t), \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$u_k(t) = -\theta \left[\left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha(t_k - t)} - \frac{\theta^2}{2\alpha} \right]^{-1} \Delta k^*(t),$$

где

$$\beta(t) = \alpha + \frac{2\sigma^2(t)}{N_\xi}; \quad \gamma(t) = \frac{2\sigma^2(t)}{N_\xi}, \quad (16)$$

с начальными условиями $m_\Delta(t_0) = m_{\Delta 0}$, $\sigma_\Delta^2(t_0) = \sigma_{\Delta 0}^2$ и для математического ожидания и дисперсии оценки отклонения технического параметра от номинального значения $m_{\Delta^*}(t_0) = m_{\Delta 0}$, $\sigma_{\Delta^*}^2(t_0) = \sigma_{\Delta 0}^2$.

Для определения $m_\Delta(t)$ и $m_u(t)$, входящих в (14), необходимо от левых и правых частей (17) найти математические ожидания и отыскать решение полученной системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \dot{m}_\Delta(t) + \alpha m_\Delta(t) &= \theta m_u(t); \\ \dot{m}_{\Delta^*}(t) + \beta(t) m_{\Delta^*}(t) &= \gamma(t) m_\Delta(t) + \theta m_u(t); \\ m_u(t) &= -\theta \left[\left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha(t_k - t)} - \frac{\theta^2}{2\alpha} \right]^{-1} m_{\Delta^*}(t). \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Используя свойство несмещенности оценки $\Delta k^*(t)$ на выходе фильтра Калмана, когда $m_{\Delta^*}(t_0) = m_\Delta(t)$, получаем эквивалентную (17) систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \dot{m}_\Delta(t) + \alpha m_\Delta(t) &= \theta m_u(t); \\ m_u(t) &= -\theta \left[\left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha(t_k - t)} - \frac{\theta^2}{2\alpha} \right]^{-1} m_\Delta(t), \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

с начальным условием $m_\Delta(t_0) = m_{\Delta 0}$.

Решение системы (18)

$$\begin{aligned} m_\Delta(t) &= \frac{m_{\Delta 0} e^{\alpha t}}{\left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha t_k} - \frac{\theta^2}{2\alpha}} \left\{ \left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha(t_k - t)} - \frac{\theta^2}{2\alpha} \right\}, \\ m_u(t) &= -\frac{\theta m_{\Delta 0} e^{\alpha t}}{\left(\frac{\theta^2}{2\alpha} + 1 \right) e^{2\alpha t_k} - \frac{\theta^2}{2\alpha}} \end{aligned}$$

определяет слагаемые показателя (14), обусловленные $m_\Delta(t)$ и $m_u(t)$.

Для определения слагаемых показателя (14), обусловленных дисперсией текущего отклонения технического параметра от номинального значения $\sigma_\Delta^2(t)$ и дисперсией управления $\sigma_u^2(t)$, поступим следующим образом. Дисперсия текущего отклонения технического параметра от номинального значения $\sigma_u^2(t)$ и дисперсия оценки $\sigma_{\Delta^*}^2(t)$ согласно (15) удовлетворяют дифференциальному матричному уравнению

$$\begin{aligned} \left| \begin{array}{cc} \dot{\sigma}_\Delta^2(t) & \dot{K}_{\Delta\Delta^*}(t) \\ \dot{K}_{\Delta\Delta^*}(t) & \dot{\sigma}_{\Delta^*}^2(t) \end{array} \right| &= \left| \begin{array}{cc} -\alpha & -\theta^2 \Lambda(t) \\ \gamma(t) & -\beta(t) - \theta^2 \Lambda(t) \end{array} \right| \left| \begin{array}{cc} \sigma_\Delta^2(t) & K_{\Delta\Delta^*}(t) \\ K_{\Delta\Delta^*}(t) & \sigma_{\Delta^*}^2(t) \end{array} \right| + \\ + \left| \begin{array}{cc} \sigma_\Delta^2(t) & K_{\Delta\Delta^*}(t) \\ K_{\Delta\Delta^*}(t) & \sigma_{\Delta^*}^2(t) \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{cc} -\alpha & \gamma(t) \\ -\theta^2 \Lambda(t) & -\beta(t) - \theta^2 \Lambda(t) \end{array} \right| + \left| \begin{array}{cc} \frac{\rho^2 N_n}{2} & 0 \\ 0 & \frac{\gamma^2 N_\xi}{2} \end{array} \right|, \end{aligned} \quad (19)$$

в котором $K_{\Delta\Delta^*}(t)$ – взаимный корреляционный момент $\Delta k(t)$ и $\Delta k^*(t)$ с начальными условиями $\sigma_\Delta^2(t_0) = \sigma_{\Delta 0}^2$, $\sigma_{\Delta^*}^2(t_0) = \sigma_{\Delta^* 0}^2$, $K_{\Delta\Delta^*}(t_0) = K_{\Delta\Delta^* 0}$.

Дисперсия управления $\sigma_u^2(t)$, в соответствии с соотношением (12), определяется как

$$\sigma_u^2(t) = \theta^2 \Lambda^2(t) \sigma_{\Delta^*}^2(t), \tag{20}$$

где $\Lambda(t)$ удовлетворяет (13). Решение дифференциального матричного уравнения (19) определяет значения $\sigma_{\Delta}^2(t)$ и $\sigma_{\Delta^*}^2(t)$, а выражение (23) позволяет определить значение $\sigma_u^2(t)$.

Следовательно, показатель качества системы управления ТС элемента РЭС становится полностью известным.

Для исследования согласованности критериев качества был проведен анализ зависимости показателя качества оценивания (11) и показателя качества управления (14) от значений коэффициентов фильтра β и γ путем проведения численного эксперимента. При $t_k = 5$ коэффициенты фильтра варьировались в интервалах $\beta \in [0, 1; 4]$, $\gamma \in [0, 1; 3]$ так, чтобы выполнялось равенство $\beta = \gamma + 1$, обеспечивающее несмещенность оценки, и вычислялись значения показателя качества оценивания (11) и показателя качества управления (14).

На рис. 1 приведены зависимости значений показателя качества оценивания (11) $\sigma^2(\beta, \gamma)$ и показателя качества управления (14) $M\{J(\beta, \gamma)\}$. С уменьшением значений коэффициентов β и γ относительно $\beta = 3, \gamma = 2$ значение показателя качества управления $M\{J(\beta, \gamma)\}$ убывает и достигает минимума, в точке, соответствующей значениям коэффициентов $\beta \approx 1,5, \gamma \approx 0,5$, равного $M\{J(\beta, \gamma)\} \approx 1,65$. Значение показателя качества оценивания $\sigma^2(\beta, \gamma)$ наоборот возрастает и в точке, соответствующей значениям коэффициентов $\beta \approx 1,5, \gamma \approx 0,5$, достигает величины $\sigma^2(\beta, \gamma) \approx 1,4$.

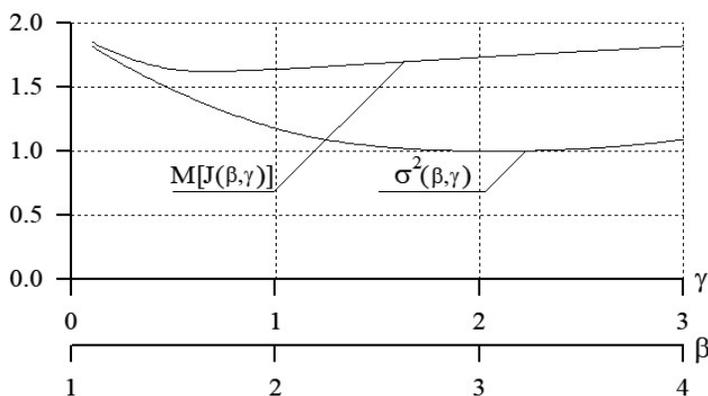


Рис. 1. Результаты исследования согласованности критериев качества оценивания и управления

Зависимости представленные на рис. 1 подтверждают предположение о несогласованности критериев качества оценивания и управления. Из представленных зависимостей видно, что уменьшение значение показателя качества управления связано с уменьшением затрат на управление, которые обусловлены дисперсией управления $\sigma_u^2(t)$. Вместе с тем, по-прежнему будет существовать смещение $m_{\Delta}(t_k) \neq 0$, порождающее систематическую погрешность в конечном результате управления.

Наличие систематической ошибки технического параметра в конечном результате управления приводит к уменьшению вероятности пребывания технического параметра в поле допуска

$$P\{\Delta k(t_k) \in [k_1, k_2]\} = \int_{k_1}^{k_2} W(\Delta k, t_k) d\Delta k(t_k),$$

где $W(\Delta k, t_k)$ – плотность вероятности отклонения технического параметра от номинального значения.

Смещение конечного результата управления можно исключить, если в постановке задачи задать граничное условие $m_{\Delta}(t_k) = 0$. Тогда модель фильтра (9), величина минимума критерия

качества оценивания и математическая модель элемента управления останутся прежними, изменится лишь вид функции $\Lambda(t)$, которая в данной постановке задачи определяется выражением

$$\Lambda(t) = \frac{2\alpha}{\theta^2 [e^{2\alpha(t_k-t)} - 1]} \quad (21)$$

В силу задания граничного условия $m_{\Delta}(t_k) = 0$ в функционале (14) значение $m_{\Delta}^2(t_k) = 0$, т. е. смещение будет отсутствовать для любого момента времени t_k .

Затраты на управление, обусловленные $m_u(t)$, равны

$$F_1(t_k) = \int_0^{t_k} m_u^2(t) dt = \frac{2\alpha m_{\Delta 0}^2}{\theta^2 [e^{2\alpha t_k} - 1]} \quad (22)$$

Дисперсии $\sigma_{\Delta}^2(t)$, $\sigma_u^2(t)$ удовлетворяют уравнению (19) и соотношению (20), в которых $\Lambda(t)$ определяется выражением (21).

В системе управления ТС элемента РЭС наличие систематической ошибки конечного результата управления не позволяет увеличить вероятность пребывания технического параметра в поле допуска. Однако при этом обеспечивается минимум показателя качества управления. Устранение систематической ошибки в конечном результате управления за счет введения в постановку задачи граничного условия $m_{\Delta}(t_k) = 0$ приводит к неограниченному возрастанию значения показателя качества управления, и при этом вероятность пребывания технического параметра в поле допуска $P\{\Delta k(t_k) \in [k_1, k_2]\} \rightarrow 0$, т. к. $\sigma_{\Delta}^2(t) \rightarrow \infty$.

Для устранения этого эффекта в работе предлагается вариант синтеза системы управления ТС элемента РЭС, обеспечивающий меньшее значение показателя (14) при отсутствии систематической ошибки в конечном результате управления.

Алгоритм управления значением технического параметра радиоэлектронной системы

Принципиальное отличие предлагаемого варианта синтеза системы управления ТС элемента РЭС от рассмотренного выше заключается в следующем.

1. Используется только показатель качества (14), при условии, что $m_{\Delta}(t_k) = 0$, т. е. решается однокритериальная задача оптимизации.

2. Неформализованным способом выбирается тип и количество неизвестных параметров модели элемента оценивания в виде фильтра описываемого, например, линейным дифференциальным уравнением первого порядка

$$\Delta \dot{k}^*(t) + \beta_{\phi} \Delta k^*(t) = \gamma_{\phi} y(t),$$

где β_{ϕ} и γ_{ϕ} – неизвестные постоянные коэффициенты фильтра. Начальные условия гауссовские с математическим ожиданием $m_{\Delta^*}(t_0) = m_{\Delta^*0}$ и дисперсией $\sigma_{\Delta^*}^2(t_0) = \sigma_{\Delta^*0}^2$.

Ясно, что неформализованный выбор того или иного типа и количества неизвестных коэффициентов (постоянных или переменных) математической модели фильтра является достаточно широким. Однако широта такого выбора открывает большие возможности в применении различных моделей фильтров, особенно в плане решения прикладных задач.

Представление критерия (13) в форме (14) позволяет перейти к постановке детерминированной задачи синтеза оптимальной системы управления, которая формулируется следующим образом.

Требуется определить математическое ожидание $m_u(t)$ и дисперсию $\sigma_u^2(t)$ оптимального управления $u_k(t)$ и значения коэффициентов β_{ϕ} и γ_{ϕ} , доставляющие минимум функционалу

$$M\{J(\cdot)\} = m_{\Delta}^2(t_k) + \sigma_{\Delta}^2(t_k) + \int_0^{t_k} [m_u^2(t) + \sigma_u^2(t)] dt \rightarrow \min_{\{m_u(t), \sigma_u^2(t)\}}, \quad (23)$$

с уравнениями связей

$$\Delta \dot{k}(t) + \alpha \Delta k(t) = \theta u_k(t) + \rho n(t); \Delta \dot{k}^*(t) + \beta_\phi \Delta k^*(t) = \gamma_\phi y(t),$$

с известными начальными условиями $m_\Delta(t_0) = m_{\Delta 0}$, $m_{\Delta^*}(t_0) = m_{\Delta^* 0}$, $\sigma_\Delta^2(t_0) = \sigma_{\Delta 0}^2$, $\sigma_{\Delta^*}^2(t_0) = \sigma_{\Delta^* 0}^2$ и заданным граничным $m_\Delta(t_k) = 0$ условием.

На основе свойства независимости математического ожидания и дисперсии гауссовского распределения сформулированную задачу можно корректно «разделить» на две оптимизационные задачи.

В первой задаче требуется определить математическое ожидание управления $m_u(t)$, доставляющее минимум функционалу

$$M\{J(\cdot)\} = \int_0^{t_k} m_u^2(t) dt \rightarrow \min_{\{m_u(t)\}}$$

с уравнениями связей

$$\dot{m}_\Delta(t) + \alpha m_\Delta(t) = \theta m_u(t); \dot{m}_{\Delta^*}(t) + \beta_\phi m_{\Delta^*}(t) = \gamma_\phi m_\Delta(t),$$

с начальными условиями $m_\Delta(t_0) = m_{\Delta 0}$, $m_{\Delta^*}(t_0) = m_{\Delta^* 0}$ и граничным условием $m_\Delta(t_k) = 0$.

Решение данной задачи проводилось методами теории оптимального управления и результат представлен выражениями

$$m_\Delta(t) = m_{\Delta 0} e^{-\alpha t} \left(1 - \frac{1 - e^{2\alpha t}}{1 - e^{2\alpha t_k}} \right), \tag{24}$$

$$m_{\Delta^*}(t) = m_{\Delta 0} e^{-\beta_\phi t} \left(1 - \frac{\gamma_\phi (1 - e^{(\beta_\phi - \alpha)t})}{\beta_\phi - \alpha} \left[1 - \frac{1 - e^{2\alpha t}}{1 - e^{2\alpha t_k}} \right] \right), \tag{25}$$

$$m_u(t) = -\frac{2\alpha m_{\Delta 0}}{\theta(e^{2\alpha t_k} - 1)} e^{-\alpha t}. \tag{26}$$

Выражения (24), (25) свидетельствуют о несмещённости конечного результата управления $m_\Delta(t_k) = 0$, а выражение (26) позволяет определить минимальное значение (22), которое не зависит от значений β_ϕ и γ_ϕ .

Далее определяется зависимость $m_u(t)$ от $m_{\Delta^*}(t)$:

$$m_u(t) = -\frac{2\alpha e^{\alpha t}}{\theta(e^{2\alpha t_k} - 1)} \left\{ e^{-\beta_\phi t} \left(1 - \frac{\gamma_\phi (1 - e^{(\beta_\phi - \alpha)t})}{\beta_\phi - \alpha} \left[1 - \frac{1 - e^{2\alpha t}}{1 - e^{2\alpha t_k}} \right] \right) \right\}^{-1} m_{\Delta^*}(t),$$

которая является линейной функцией $m_{\Delta^*}(t)$.

Так как зависимость между значениями $m_u(t)$ и $m_{\Delta^*}(t)$ является линейной, то переход к линейной зависимости между мгновенными величинами $u_k(t)$ и $\Delta k^*(t)$ будет правомерным, т. е. функционирование системы управления ТС элемента РЭС будет описываться системой дифференциальных уравнений и линейным соотношением для управления

$$\begin{cases} \Delta \dot{k}(t) + \alpha \Delta k(t) = \theta u_k(t) + \rho n(t); \\ \Delta \dot{k}^*(t) + \beta_\phi \Delta k^*(t) = \gamma_\phi y(t); \\ u_k(t) = -\Lambda(t) \Delta k^*(t), \end{cases}$$

где

$$\Lambda(t) = -\frac{2\alpha e^{\alpha t}}{\theta(e^{2\alpha t_k} - 1)} \left\{ e^{-\beta_\phi t} \left(1 - \frac{\gamma_\phi (1 - e^{(\beta_\phi - \alpha)t})}{\beta_\phi - \alpha} \left[1 - \frac{1 - e^{2\alpha t}}{1 - e^{2\alpha t_k}} \right] \right) \right\}^{-1}.$$

Для нахождения неизвестных коэффициентов β_Φ и γ_Φ решается вторая оптимизационная задача

$$M\{J_2(\beta_\Phi, \gamma_\Phi)\} = \sigma_\Delta^2(t_k, \beta_\Phi, \gamma_\Phi) + \int_0^{t_k} \sigma_u^2(t_k, \beta_\Phi, \gamma_\Phi) dt \rightarrow \min_{\{\beta_\Phi, \gamma_\Phi\}}$$

на множествах $\beta_\Phi \geq 0$ (условие устойчивости) и $\gamma_\Phi \in (-\infty; \infty)$ значений коэффициентов.

На рис. 2 представлено численное решение задачи (23).

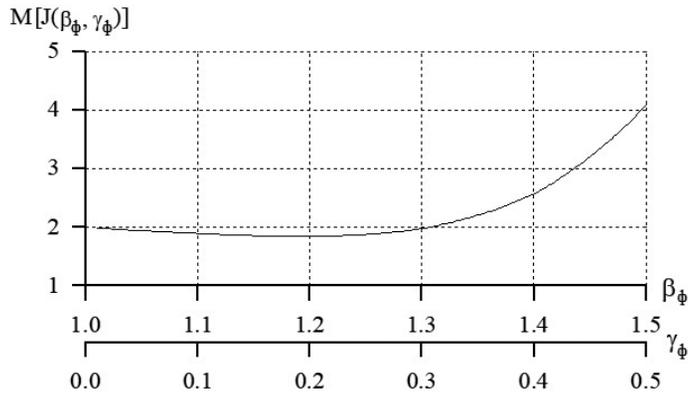


Рис. 2. Результаты расчёта показателя качества управления

Анализ полученной зависимости позволяет сделать выводы о том, что предлагаемый вариант синтеза системы управления ТС элемента авиационной РЭС:

- позволит устранить систематическую погрешность в конечном результате управления при минимальных затратах на него, что позволит повысить вероятность пребывания технического параметра в поле допуска;

- обеспечит увеличение значения дисперсии конечного результата управления, что является причиной уменьшения вероятности пребывания технического параметра в поле допуска. По этой же причине в предложенном варианте синтеза системы управления несколько увеличивается значение показателя качества управления.

Заключение

Предлагаемый вариант синтеза алгоритма управления значениями технического параметра авиационной РЭС отличается следующими признаками:

- неформализованным образом выбирается тип и количество неизвестных коэффициентов фильтра;

- при решении задачи синтеза используется только показатель качества управления, т. е. решается однокритериальная задача оптимизации.

Неформализованный выбор типа и количества неизвестных коэффициентов является достаточно широким. Однако, широта такого выбора открывает большие возможности в применении различных моделей фильтров, особенно в плане решения прикладных задач управления техническим состоянием авиационной РЭС путем изменения значений ее технических параметров.

Список источников

1. Буравлев А. И. и др. Управление техническим состоянием динамических систем / Под общ. ред. И. Е. Казакова. Москва: Машиностроение, 1995. 240 с.
2. Герцбах И. Б., Кордонский Х. Б. Модели отказов. Москва: Сов. радио, 1966. 166 с.
3. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации. Москва: Радио и связь, 1985. 344 с.

4. Богуславский И. А. Прикладные задачи фильтрации и управления. Москва: Наука, 1983. 400 с.
5. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория оптимального управления: Пер. с англ. /Под ред. Б.С. Разумихина. Москва: Наука, 1969. 118 с.
6. Болелов Э. А., Кузьмин А. Б., Шишкин В. Ю. Синтез квазиоптимального алгоритма управления техническим состоянием радиоэлектронных систем // Радиотехника, 2007. № 2. С. 14–18.
7. Болелов Э. А., Скогорева К. К. Вариант синтеза бортовой системы контроля и диагностирования пилотажно-навигационного комплекса // Научный вестник МГТУ ГА, 2006. № 99. С. 25–31.
8. Гришин Ю. П., Казаринов В. М. Динамические системы устойчивые к отказам. Москва: Радио и связь, 1985. 176 с.
9. Параев Ю. И. Введение в статистическую динамику процессов управления и фильтрации. Москва: Сов. радио, 1976. 184 с.

References

1. Buravlev A. I., *Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem dinamicheskikh sistem [Management of the technical condition of dynamic systems]*, Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995, 240 p. (In Russ.)
2. Gertsbakh I. B., Kordonskij Kh. B., *Modeli otkazov [Failure models]*, Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1966, 166 p. (In Russ.)
3. Yarlykov M. S., *Statisticheskaya teoriya radionavigatsii [Statistical theory of radio navigation]*, Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1985, 344 p. (In Russ.)
4. Boguslavskij I. A., *Prikladnye zadachi fil'tratsii i upravleniya [Applied filtering and control tasks]*, Moscow, Nauka Publ., 1983, 400 p. (In Russ.)
5. Bellman R., Kalaba R., *Dinamicheskoe programmirovaniye i sovremennaya teoriya optimal'nogo upravleniya [Dynamic programming and modern theory of optimal control]*, Moscow, Nauka Publ., 1969, 118 p. (In Russ.)
6. Bolelov E. A., Kuz'min A. B., Shishkin V. Yu., *Sintez kvazioptimal'nogo algoritma upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem radioelektronnykh sistem, Radiotekhnika*, 2007, no. 2, pp. 14–18. (In Russ.)
7. Bolelov E. A., Skogoreva K. K., *Variantsintezabortovoj sistemy kontrolya i diagnostirovaniya pilotazhno-navigacionnogo kompleksa, Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2006, no. 99, pp. 25–31. (In Russ.)
8. Grishin Yu. P., Kazarinov V. M., *Dinamicheskie sistemy ustojchivye k otkazam [Dynamic systems resistant to failures]*, Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1985, 176 p. (In Russ.)
9. Paraev Yu. I., *Vvedenie v statisticheskuyu dinamiku protsessov upravleniya i fil'tratsii [Introduction to the statistical dynamics of control and filtration processes]* Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1976, 184 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Болелов Эдуард Анатольевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, e.bolelov@mstuca.aero

Шалупин Степан Владимирович, соискатель кафедры, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия, step13w@mail.ru

Фридзон Марк Борисович, доктор технических наук, доцент, специалист, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Губерман Игорь Борисович, кандидат технических наук, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, guberman@mail.ru

Рубцов Виталий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, главный специалист, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Authors information

Bolelov Eduard A., Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Head of the Department, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, e.bolelov@mstuca.aero

Shalupin Stepan V., Candidate of the Department, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, step13w@mail.ru

Fridzon Mark B., Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Specialist, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Guberman Igor B., Candidate of Sciences (Engineering), Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, guberman@mail.ru

Rubtsov Vitaly D., Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Chief Specialist, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 02.12.2022; принята к публикации 08.12.2022.

The article was submitted 05.10.2022; approved after reviewing 02.12.2022; accepted for publication 08.12.2022.

Научная статья
УДК 001.89:629.7

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК ГОСНИИ ГА КАК ОДИН ИЗ ИСТОЧНИКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКИ О ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

(к 70-летию выхода из печати первого номера журнала)

А. В. МАКСИМЕНКО¹, В. С. ШАПКИН², А. А. БОГОЯВЛЕНСКИЙ¹

¹ Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

² Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследования теоретических основ и практических предпосылок становления Научного вестника ГосНИИ ГА, основанного в 1952 году, как одного из источников возникновения и развития отечественной науки о гражданской авиации. Показана неразрывность и прямая связь публикаций результатов научных исследований в Научном вестнике ГосНИИ ГА с основными историческими вехами и знаковыми событиями в научно-технической, исследовательской и испытательной деятельности института, а также в отечественной и международной гражданской авиации. Рассмотрены цели, перспективы и методология введения категорирования отечественных научных рецензируемых изданий применительно к деятельности Научного вестника ГосНИИ ГА, а также предполагаемых к использованию при этом количественных расчётных критериев, их полноты и объективности. Проведён анализ научных направлений, заложенных в новые паспорта научных специальностей Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России, по отношению к паспортам, действовавшим до октября 2022 года. Сформулированы основные принципы молодёжной политики Научного вестника ГосНИИ ГА с учётом приоритетной цели и основного направления её реализации, исходя из положений отечественного федерального законодательства. Показаны приоритеты при представлении для публикации основных результатов научных исследований работающих в институте молодых специалистов и учёных, а также аспирантов и соискателей учёных степеней кандидатов технических наук, докторов технических наук.

Ключевые слова: воздушный транспорт, гражданская авиация, авиационная техника, эксплуатация авиационной техники, аэронавигация, авиационная деятельность, интеллектуальные транспортные системы, транспортные системы страны, высшая аттестационная комиссия (ВАК)

Для цитирования: Максименко А. В., Шапкин В. С., Богоявленский А. А. Научный вестник ГосНИИ ГА как один из источников возникновения и развития отечественной науки о гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 69–81.

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF CIVIL AVIATION AS ONE OF THE SOURCES THE EMERGENCE AND DEVELOPMENT OF DOMESTIC SCIENCE ABOUT CIVIL AVIATION

(on the 70th anniversary of the publication of the first issue of the journal)

A. V. MAKSIMENKO¹, V. S. SHAPKIN², A. A. BOGOYAVLENSKIY¹

¹ The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

² National Research Center “N. E. Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of the theoretical foundations and practical prerequisites for the formation of the Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation (Bulletin), formed in 1952, as one of the sources of the emergence and development of domestic the science about civil aviation. The continuity and direct connection of the publications of the results of scientific research in the Bulletin with the main historical milestones and significant events in the scientific and technical, research and testing activities of the Institute, as well as in domestic and international civil aviation is shown. The objectives, prospects and methodology of the introduction of the categorization of domestic scientific peer-reviewed journals in relation to the activities of the Bulletin, as well as the quantitative calculation criteria intended for use in this case, their completeness and objectivity are considered. The analysis of main directions included in the new passports of scientific specialties of the Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science of Russia in relation to passports previously valid until October 2022 was carried out. The basic principles of the youth policy of the Bulletin are formulated, taking into account the priority goal and the main direction of its implementation based on the provisions of domestic federal legislation. Are shown priorities when presenting for publication the main results of scientific research of young specialists and scientists working at the Institute, as well as graduate students and applicants for academic degrees of candidates of technical sciences, doctors of technical sciences.

Keywords: air transport, civil aviation, aviation technique, operation of aviation technique, air navigation, aviation activities, intelligent transport systems, transport systems of the country, Higher Attestation Commission

For citation: Maksimenko A. V., Shapkin V. S., Bogoyavlenskiy A. A., Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation as one of the sources the emergence and development of domestic science about civil aviation, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 69–81. (In Russ.)

Аналитическая информация о Научном вестнике ГосНИИ ГА

Научный вестник ГосНИИ ГА (Вестник) является первым в отечественной практике эксплуатации воздушного транспорта (ВТ) и исторически сложившимся (основан 70 лет назад в 1952 году) научным изданием. Издатель журнала, ФГУП ГосНИИ ГА – первый (образован в 1930 году), а в настоящее время и единственный отечественный профильный научно-исследовательский институт (НИИ) в области гражданской авиации (ГА), располагающий интеллектуальной, измерительной и испытательной базой, необходимой и достаточной для проведения специализированных научных теоретических и экспериментальных исследований в закреплённых за институтом областях деятельности.

Ранее Вестник издавался под наименованиями: Сборник статей НИИ гражданского воздушного флота (ГВФ) – с 1952 года, Труды НИИ ГВФ СССР – с 1953 года, Труды государственного НИИ ГВФ – с 1955 года, Труды государственного НИИ ГА (ГосНИИ ГА) – с 1965 года, Сборник научных трудов ГосНИИ ГА – с 1987 года. Актуальное наименование – Научный вестник ГосНИИ ГА – журнал получил в 2011 году. Периодичность издания составляет четыре номера в год.

В состав редакционной коллегии (редколлегии) Вестника входят учёные, признанные российским и международным авиационными научными сообществами, среди которых лауреаты Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Шесть членов редколлегии удостоены государственных наград – им присвоены почётные звания: «Заслуженный работник транспорта Российской Федерации» и «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации». В состав редколлегии в текущем году вошёл директор Кыргызского авиационного института им. И. Абдраимова, к.т.н., доц. У. Э. Курманов.

Вестник издаётся ГосНИИ ГА, входящим в утверждённый Правительством Российской Федерации Перечень оборонных предприятий. По этой причине после начала 24.02.2022

специальной военной операции (СВО) из состава редколлегии исключены четыре её члена из недружественных государств. Редколлегия Вестника активно решает вопросы повышения качества публикуемых статей, обеспечивающего соответствие их научного уровня требованиям к рецензируемым научным журналам. Так, за прошедший календарный год мотивированно отклонены проекты пяти статей, представленных авторами из внешних организаций, как не содержащие научных (теоретических и/или прикладных (практических) результатов) и не имеющие перспектив внедрения в практику авиационной деятельности. Такой тщательный подход редколлегии к качеству контента, размещаемого в Вестнике, позволил обеспечить его соответствие требованиям ВАК и привлёк за прошедшие два года для публикации в журнале статьи авторов из широкого спектра внешних организаций. Среди них академические институты РАН (в том числе Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского), Военно-воздушная инженерная академия им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, концерн ВКО «Алмаз-Антей», НИЦ им. Н. Е. Жуковского, Государственный НИИ авиационных систем (ГосНИИ АС), МГТУ ГА, МАИ, Ульяновский институт ГА и многие другие. Авторами Вестника являются академик РАН, д.т.н. Б. С. Алёшин; первый заместитель Председателя Межгосударственного авиационного Комитета (МАК), д.т.н. В. М. Рухлинский; генеральные директора, топ-менеджеры и ведущие специалисты таких организаций ГА как «Санкт-Петербургская авиационная ремонтная компания», «Авиакомпания «Якутия», а также другие известные учёные и специалисты из научных, конструкторских и производственных организаций ГА, авиационной и смежных отраслей промышленности.

Важной функцией деятельности Вестника является возможность опубликовать результаты выполненных научных исследований для соискателей учёных степеней. Так, только за прошедшие два года пять соискателей, публиковавшиеся в Вестнике в 2020–2022 годы, успешно защитили диссертации на соискание учёной степени во внешних диссоветах и получили дипломы кандидатов технических наук. Организацией подготовки научных кадров высшей квалификации занимается аспирантура ГосНИИ ГА, образованная в 1964 году. За прошедшие годы в ней прошли обучение более 400 аспирантов и соискателей. Из них 265 защитили диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, 16 работников ГосНИИ ГА защитили докторские диссертации. В числе специалистов, окончивших аспирантуру института, такие известные деятели науки о гражданской авиации как д.т.н. Т. Г. Анодина, В. А. Горячев, С. В. Далецкий, А. А. Ицкович, В. Я. Кушельман, А. А. Шанявский и многие другие. За период с 2005 по 2019 годы в диссовете Д 315.002.01 при ГосНИИ ГА защищены 45 диссертаций, из которых 13 – на соискание учёной степени доктора технических наук. И все указанные соискатели публиковали основные результаты научных исследований, выполненных при подготовке диссертационных работ, в первую очередь именно в Научном вестнике ГосНИИ ГА.

К целевой аудитории Вестника относятся научные и инженерно-технические работники ГА и смежных отраслей; одновременно журнал является источником актуальной аналитической, теоретической и практической информации об авиационной деятельности на ВТ для преподавателей, аспирантов и студентов технических вузов.

Научный вестник ГосНИИ ГА не является многопрофильным, а скорее относится к изданию, ограниченному специализацией по эксплуатации авиационной техники, организации управления воздушным движением (аэронавигации) и иным аспектам авиационной деятельности на ВТ. Это обстоятельство, априори, снижает цитируемость научных публикаций Вестника. Но в то же время является признаком высокого профессионального уровня журнала.

Обновлённая номенклатура научных специальностей и перерегистрация Вестника в Перечне ВАК

Приказом Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118 утверждена обновлённая номенклатура научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени. Наименования и шифры актуальных и ранее действовавших научных специальностей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Шифры и наименования научных специальностей Вестника

Область науки	Группа научных специальностей	Научная специальность
<i>Специальности Вестника, актуальные с 21 октября 2022 г.</i>		
2. Технические науки	2.9. Транспортные системы	2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, её регионов и городов, организация производства на транспорте
		2.9.6. Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники
		2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы
<i>Специальности Вестника, бывшие актуальными до 16 октября 2022 г.</i>		
Технические науки	05.22.00. Транспорт	05.22.13. Навигация и управление воздушным движением
		05.22.14. Эксплуатация воздушного транспорта
	05.26.00. Безопасность деятельности человека	05.26.02. Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям)

Сравнительный анализ направлений исследований, регламентированных паспортами научных специальностей 2.9.1, 2.9.6 и 2.9.8, показал полное перекрытие ими всех направлений по ранее действовавшим специальностям 05.22.13, 05.22.14 и 05.26.02. Содержание публикуемых в Вестнике статей соответствует описаниям предметных областей исследований, представленных в паспортах указанных специальностей.

Вестник успешно прошёл перерегистрацию по актуальным научным специальностям (табл. 1) и с 21.10.2022 включён в обновлённый Перечень ВАК [1]. Успешная перерегистрация Вестника в ВАК по новым специальностям обусловлена требуемой ВАК квалификацией и научными достижениями членов редколлегии; обеспеченностью необходимым количеством докторов наук по каждой из заявленных научных специальностей журнала; регулярным плановым выпуском номеров издания из печати, качеством полиграфии и многими другими положительными элементами.

Тематическая направленность публикаций Вестника

Публикации Вестника с момента его основания и по настоящее время тематически неразрывно связаны с исследованиями ГосНИИ ГА в рамках участия в создании и испытаниях новой авиационной техники (АТ), а также в области научно-технического сопровождения технологических процессов производственной деятельности отечественного ВТ, включая его инфраструктуру.

В год основания Вестника (1952) было принято совместное решение Главного управления ГВФ и Министерства авиационной промышленности сосредоточить силы на создании реактивных пассажирских самолетов и тем самым подготовить условия для ускоренного технического переоснащения ГВФ [2]. В преддверии нового этапа работы институтом проводились обширные аналитические изыскания. Исходя из предполагаемого общего объёма пассажирских и грузовых авиаперевозок и их структуры, были определены характеристики новых типов самолётов для

дальних, средних и коротких расстояний. Аналогичные работы были проведены для авиации, применяемой в народном хозяйстве (ПАНХ) и учебных самолётов. В соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от 05 августа 1954 года приказом Главного управления ГВФ институту был придан статус государственного. Отныне он стал именоваться Государственным научно-исследовательским институтом гражданского воздушного флота (ГосНИИ ГВФ) и был отнесён к научным организациям первой категории. В последующее десятилетие в ГосНИИ ГВФ совместно с конструкторскими бюро страны были проведены широкомасштабные научные исследования и лётно-испытательные работы [2]. Итогом их стало проектирование и ввод в эксплуатацию самолётов Ту-104, Ту-114, Ту-124, Ил-18, Ан-10, Ан-24. В ноябре 1962 года приказом Главного управления ГВФ институт утверждён головным в системе Аэрофлота, и на него была возложена ответственность за координацию НИР в отрасли. Среди выпущенных институтом научных трудов в этот период сборники по методам определения выносливости конструкции самолётов, эксплуатации сооружений аэропортов, по вопросам влияния метеоусловий на полёты скоростных самолётов в верхних слоях атмосферы и вертолётов в горных районах (1962); авиационной медицины, автоматики и радиоэлектроники, автоматизации загрузки самолётов и вертолётов ПАНХ химикатами (1963).

Важной вехой для института стало Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 13 октября 1967 года, согласно которому на ГосНИИ ГА было возложено проведение испытаний всей новой АТ гражданского назначения. Это повлекло за собой расширение и укрепление лабораторной базы института. К 1975 году по техническим требованиям, разработанным специалистами института, созданы, испытаны и внедрены в эксплуатацию самолёты нового поколения, проведены работы, направленные на повышение безопасности полётов. За большой вклад в развитие отрасли, достижения в испытании и внедрении новой АТ институт в 1973 году был награждён Орденом Трудового Красного Знамени.

В 1976–1985 годах ГосНИИ ГА успешно продолжил работы по научному сопровождению создания и внедрения в эксплуатацию новых типов ВС. Были испытаны и внедрены новые комплексные тренажёры самолетов Ту-154Б, Ил-86, Як-42, Як-18Т и Ан-2, вертолетов Ми-6 и Ми-8, выполнен комплекс исследований по увеличению ресурсов эксплуатируемых самолётов и двигателей.

Институт продолжал издание Вестника. За пять предшествующих 1990 году лет вышли сборники научных трудов [2] по вопросам: технического обслуживания и ремонта ВС, вибродиагностики авиационных конструкций, надёжности силовых установок, динамики и прочности ВС, эффективности бортового оборудования ВС, авиационной эргономики и подготовки лётного состава, совершенствования планирования и хозяйственного механизма ГА (1986); контроля и диагностирования авиатехники в эксплуатации, охраны окружающей среды, психофизиологических исследований, подготовки лётного диспетчерского состава, международного сотрудничества (1987); сертификации бортового оборудования ВС, технической и коммерческой эксплуатации ВС, автоматизации научных исследований, эргономических исследований человеческого фактора (1988); надёжности АТ и безопасности полетов, обеспечения лётной годности силовых установок, авиационной медицины (1989).

Начиная с 2005 года редколлегия отошла от выпуска тематических номеров Вестника с целью повышения оперативности публикаций результатов научных исследований авторами. Издаваемые с тех пор и по настоящее время номера Вестника по содержанию носят мульти-модальный характер, что позволяет исключить дополнительные затраты времени на ожидание комплектования тематических номеров журнала.

В юбилейном для Вестника 2022 году на его страницах опубликованы результаты исследований по таким перспективным на ближайшие годы и десятилетия направлениям научных исследований, как искусственный интеллект в ГА, беспилотные авиационные системы, применение жидкого водородного топлива и развитие инфраструктуры для заправки им ВС; снижение

эмиссии веществ, вызывающих парниковый эффект, от деятельности ГА; комплексная обработка сигналов ГЛОНАСС в бортовой аппаратуре ВС; теплофизическое моделирование при оценке низкотемпературной надёжности ВС с цифровым бортовым комплексом и многие другие.

Текущая структура ГосНИИ ГА полностью соответствует задачам и целям, определяющим развитие отечественной ГА на многие годы вперёд. В институте действуют тринадцать научных центров, охватывающих полный спектр исследований в области научно-технического сопровождения деятельности отечественного ВТ, среди которых есть и центр, обеспечивающий координацию с Международной организацией ГА (ИКАО).

К научным компетенциям ГосНИИ ГА относится предусмотренное п. 2.2.1 Устава института выполнение научных исследований, проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и разработок по следующим направлениям: 1) обеспечение государственной политики и нормативно-правового регулирования в области авиационной деятельности, включая смежные с ней виды и направления, экономической и административной деятельности; 2) прогнозирование развития ВТ; 3) разработка, производство, испытания и ремонт АТ, включая модернизацию (изменение типовой конструкции) и ремонт ВС в соответствии с действующими Федеральными авиационными правилами; 4) безопасность авиационной деятельности, в том числе безопасность полётов, авиационная и транспортная безопасность; 5) лётная и техническая эксплуатация ВС; 6) лётно-испытательная деятельность; 7) поддержание лётной годности ВС и авиационных двигателей; 8) лётная и техническая эксплуатация тренажёрных устройств имитации полёта, применяемых в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов лётных экипажей гражданских ВС; 8) организация воздушного движения; 9) аэронавигационное обеспечение полётов; 9) аэропортовая деятельность; 10) информационно-аналитическое обеспечение и мониторинг лётной годности ВС; 11) контроль качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей; 12) сертификация объектов и юридических лиц ГА; 13) охрана окружающей среды от воздействия деятельности ГА; 14) экономика и организация управления в области ГА; 15) авиационно-космический поиск и спасание, поисковое и аварийно-спасательное обеспечение полётов ГА; 16) информационные технологии процессов эксплуатации АТ; 17) метрологическое обеспечение и стандартизация на ВТ; 18) подготовка специалистов авиационного персонала ГА; 19) внешнеэкономическая деятельность в рамках законодательства Российской Федерации.

В условиях санкций и импортозамещения возник дополнительный широкий спектр актуальных проблем в сфере деятельности ВТ, устранение которых требует проведения соответствующих научных исследований. При этом задача обеспечения кадрами требует активизировать подготовку научных сотрудников высшей квалификации. Для этого необходимо обеспечить оперативную публикацию основных результатов исследований в рецензируемых научных журналах, к категории которых относится и Вестник.

Таким образом, деятельность Вестника неразрывно связана с Государственным научно-исследовательским институтом гражданской авиации, отечественным ВТ, а сам Вестник является одним из источников возникновения и развития отечественной науки о ГА.

Цели, методология и перспективы категорирования отечественных научных журналов применительно к Вестнику

На базе ФГУП ГосНИИ ГА функционирует диссертационный совет (диссовет) Д 315.002.01; для его перерегистрации по новой научной специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» с 16.10.2022 оформлено ходатайство, которое успешно прошло уже два из трёх этапов процедуры рассмотрения в ВАК. Члены диссовета обязаны иметь публикации, содержащие основные результаты проведённых ими научных исследований в журналах, входящих в международные базы данных Scopus, Web of Science или иные. Из-за незаконных санкций

с 24.02.2022 против России со стороны недружественных государств, обусловленных началом СВО, возможность таких публикаций в настоящее время стала практически неосуществимой.

Категорирование (категории) научных журналов в зарубежной практике характеризуется так называемыми квартилями (четвертями). Квартиль научного зарубежного журнал (Q) – это категория научных журналов, которую определяют библиометрические показатели, отражающие уровень цитируемости, а следовательно, и востребованность журнала научным сообществом. Журналы по узкой предметной области ранжируются по убыванию соответствующего показателя:

- импакт-фактор Journal Citation Reports (JCR) – для базы данных Web of Science, индексирующей 12,5 тыс. журналов;

- SCIMago Journal Rank (SJR) – для базы данных Scopus, индексирующей около 21 тыс. журналов. Scopus – это база данных, содержащая сведения о научных статьях. В ней индексируются аннотации и списки литературы. С полными текстами можно ознакомиться на платной основе. В базу попадают: статьи из научных журналов; материалы научно-технических конференций; патенты. Ведением базы занимается издательский дом Elsevier (Нидерланды). На сегодняшний день она насчитывает более 40 тыс. изданий. В Scopus учитываются научные работы, опубликованные после 1996 года. Обязательное условие для индексации статьи – наличие аннотации на безупречном английском языке. Полученный список делится на 4 равные части [3]. В результате ранжирования каждый журнал попадает в одну из четырех квартилей: от Q1 (самый высокий, к которому принадлежат наиболее авторитетные зарубежные журналы) до Q4 (самый низкий). Система квартилей позволяет наиболее объективно оценить качество и уровень журнала вне зависимости от предметной области. Кроме того, в JCR имеется возможность вывести перечни журналов по квартилям целиком или по конкретной предметной области.

Для нынешних условий в России эквивалентными могли бы явиться публикации в отечественных рецензируемых журналах из Перечня Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России (ВАК) [1] в случае введения системы их категорирования аналогично зарубежной практике. После выхода рекомендации ВАК от 26.10.2022 № 2-кл/4 о распределении рецензируемых журналов для соискателей учёных степеней по категориям, такого рода оценка становится подлежащей учёту.

Основные понятия и определения. Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) – национальная библиографическая база данных научного цитирования, аккумулирующая более 12 млн публикаций российских авторов, а также информацию о цитировании этих публикаций из более 6 тыс. российских журналов.

Science Index – интегральный показатель, который учитывает тематическое направление журнала, используемый при формировании рейтингов журналов в РИНЦ.

Индекс Херфиндаля [4] по организациям авторов – отражает равномерность распределения организаций авторов, публикующих статьи в журнале. Максимальное значение достигается, когда в журнале публикуются авторы только из одной организации.

Индекс Джини [5] – отражает степень неравномерности распределения статей в журнале по числу их цитирований.

Средний индекс Хирша авторов [6] – отражает востребованность исследований учёных.

Десятилетний индекс Хирша журнала [6] – отражает востребованность исследований, опубликованных в журнале.

Общее число статей из журнала – суммарное число статей из журнала на elibrary.ru. Учитываются все виды статей.

Число просмотров статей за год – число просмотров страниц с аннотациями статей в журнале пользователями elibrary.ru за год. Учитываются статьи всех типов за все доступные годы.

Источником информации для рейтингов научных журналов ВАК являются данные Перечня [1] рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание

учёной степени доктора наук, а также данные, полученные из библиографической базы данных РИНЦ и сайтов научных журналов. Алгоритм формирования рейтинга журналов, входящих в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий по научным специальностям, предполагает распределение журналов по трём категориям: $K1$, $K2$, $K3$. Рейтинг предполагается составлять ежегодно по актуальному Перечню ВАК; ответственными за формирование рейтинга являются Минобрнауки России и ВАК; кроме того, установлен срок предоставления данных – 25 апреля года, следующего за отчетным.

Формирование рейтинга научных журналов, входящих в Перечень ВАК по научным специальностям, представляет собой следующий алгоритм.

В начале определяется интегральный показатель качества журнала по каждой научной специальности ВАК. Для его расчёта используются следующие показатели: Science Index, индекс Херфиндаля (HNI) [4] по организациям авторов, индекс Джини (G), средний индекс Хирша авторов, десятилетний индекс Хирша журнала, среднее количество просмотров на одну статью в год.

Расчет среднего количества просмотров (AV) на одну статью в год рассчитывается по формуле:

$$AV = \frac{V}{P},$$

где V – число просмотров статей за год; P – общее число статей из журнала.

Нормирование значений показателей журналов в рамках отдельной научной специальности проводится по всем показателям, кроме Science Index. Нормирование среднего индекса Хирша авторов (HI), десятилетнего индекса Хирша журнала (HI_{10}), среднего количества просмотров на одну статью в год производится относительно максимального значения в выборке (\max), так как высокое значение показателей соответствует более высокой оценке. Нормированные значения показателя журнала (X_{norm}) рассчитываются по формуле:

$$X_{\text{norm}} = \frac{X}{\max(X_1; X_2; \dots; X_n)},$$

где X – значение показателя по журналу; X_1, X_2, \dots, X_n – значения показателя по научным специальностям журнала, n – количество специальностей журнала.

Нормирование индекса Херфиндаля по организациям авторов статей и индекса Джини производится относительно минимального значения в выборке (\min), так как низкие значения этих двух показателей соответствуют более высокой оценке, а расчёт их числовых значений производится по формуле:

$$X_{\text{norm}} = \frac{\min(X_1; X_2; \dots; X_n)}{X}.$$

Оценка интегрального показателя качества журнала по каждой научной специальности (I) производится путём расчёта по формуле:

$$I = 0,2SI + 0,2HNI + 0,2G + 0,2HI + 0,1HI_{10} + 0,1AV,$$

где SI – Science Index.

Далее проводится сортировка научных журналов по убыванию значений интегрального показателя качества журнала по каждой научной специальности. После чего рейтинги журналов по научным специальностям, входящим в Перечень ВАК, получаемые расчётным путём, ранжируются по медиане по убыванию значения интегрального показателя качества журнала следующим образом: $K1$ – первые 25 % журналов рейтинга, $K2$ – следующие 50 % журналов рейтинга (26–75 %), $K3$ – оставшиеся 25 % журналов рейтинга (76–100 %). Следом проводятся

экспертные оценки полученных рейтингов списков научных журналов по научным специальностям, выдаваемые профильными Экспертными советами ВАК, с оформлением заключений по их итогам. Дальнейшее формирование рейтингов журналов по научным специальностям по категориям K_1 , K_2 , K_3 производится на основании наукометрических и экспертных оценок. Как конечный результат рассчитывается итоговый коэффициент научной значимости журнала $K_{нз}$. Если у журнала несколько специальностей, отнесение к категории происходит на основе расчётов с помощью коэффициентов категорий, для которых ВАК принимается следующее распределение их значимости: $K_1=0,6$; $K_2=0,3$; $K_3=0,1$. Расчет итогового $K_{нз}$ проводится по формуле:

$$K_{нз} = \frac{0,6K_{1m} + 0,3K_{2m} + 0,1K_{3m}}{M},$$

где K_{1m} , K_{2m} и K_{3m} – количество у журнала научных специальностей первой, второй и третьей категории соответственно;

m – количество специальностей журналов соответствующей категории; M – общее количество научных специальностей, имеющих у журнала.

После формирования общего рейтинга итоговая категория журнала присваивается Президиумом ВАК на основе распределения коэффициентов научной значимости $K_{нз}$ по аналогии с ранее показанным порядком ранжирования рейтингов журналов по научным специальностям в порядке убывания их числовых значений по медиане в тех же процентных пропорциях.

В перспективе (после отмены незаконных санкций) было бы целесообразно со стороны ГосНИИ ГА пройти процедуру регистрации Вестника в международных базах научного цитирования Scopus и Web of Science, либо со стороны уполномоченного федерального органа исполнительной власти в области науки следовало бы поставить и решить вопрос признания в целом российской системы категорирования научных журналов на международном уровне.

Таким образом, эквивалентными статьям в научных журналах, входящих в Scopus и Web of Science, для соискателей учёных степеней и членов диссоветов могли бы быть публикации в рецензируемом журнале из Перечня ВАК, относящемся к первой (K_1) или второй (K_2) категории. Поэтому крайне важным для Вестника является отнесение его к названным категориям.

Практическое применение результатов категорирования рецензируемых научных журналов по профильным для ГосНИИ ГА техническим наукам заключается в том, что оно будет учитываться ВАК в целом ряде случаев и при решении некоторых задач, в первую очередь, для оценки публикационной активности соискателей учёных степеней (табл. 2).

Таблица 2

Обновлённые требования к публикационной активности соискателей учёных степеней

Действующая редакция Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства России от 24.09.2013 № 842)	Новые требования ВАК к публикационной активности соискателей
для соискания учёной степени кандидата технических наук	
Количество публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, в рецензируемых изданиях должно быть не менее 2	Количество публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК – не менее 2 . В их число могут входить также публикации в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI (*) и/или международными базами данных, перечень которых определён в соответствии с рекомендациями ВАК

Продолжение таблицы 2

Действующая редакция Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства России от 24.09.2013 № 842)	Новые требования ВАК к публикационной активности соискателей
<i>для соискания учёной степени доктора технических наук</i>	
<p>Количество публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук, в рецензируемых изданиях должно быть не менее 10</p>	<p>Количество публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук, в рецензируемых научных изданиях: – не менее 10. В их числе – не менее 5 публикаций в научных изданиях, отнесенных к категориям K1 или K2 из Перечня рецензируемых научных изданий [1], либо в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI (*) и/или международными базами данных, перечень которых определен в соответствии с рекомендациями ВАК</p>

(*) – RSCI (Russian Science Citation Index) – отечественная наукометрическая база данных на платформе Web of Science компании Clarivate Analytics.

Приведённые в табл. 2 обновлённые требования к публикационной активности к соискателям учёных степеней кандидата наук, доктора наук введены с 01.09.2023 рекомендацией ВАК от 26.10.2022 № 2-кл/1. Там же представлены критерии и требования к публикационной активности членов диссоветов.

Основы молодёжной политики Вестника

Институту необходимо постоянное пополнение кадрового состава научной молодёжью, вовлечённой в процесс научных исследований, понимающей роль и место науки о ГА в процессах авиационной деятельности в целях совершенствования транспортных систем страны. Сегодня молодой учёный высшей квалификации (кандидат или доктор наук) уже через пять лет становится в ГосНИИ ГА руководителем первичного исследовательского научного подразделения (сектора или лаборатории), а через десять лет – руководителем среднего звена. Получение высшей научной квалификации служит основой мотивации для профессионального роста молодых специалистов и учёных, а предпосылкой приобретения высшей научной квалификации является опыт публикации статей в рецензируемых научных журналах ВАК при Минобрнауки, к которым относится и Вестник.

Публикация научной статьи в Вестнике является, как правило, заключительным элементом проведенных исследований и подводит промежуточный или окончательный итог проделанной работы. Публикационная активность позволяет научной молодёжи приобрести навыки системного мышления, необходимые для дальнейшей самостоятельной научной работы, и рассматривать вопрос о приобретении (подтверждении) высшей квалификации (кандидат или доктор наук) молодыми учёными.

Приоритетной целью молодёжной политики Вестника во исполнение Федерального закона от 30 декабря 2020 г. № 489-ФЗ «О молодёжной политике в Российской Федерации» (ст. 4, § 3) [7], является создание условий для участия молодых специалистов и учёных, работающих в ГосНИИ ГА, в научной жизни института. Основным направлением реализации молодёжной политики во исполнение ст. 6, § 10 того же закона [7] является содействие развитию научной деятельности молодёжи путём публикации в Вестнике.

Указанная цель и направление молодёжной политики Вестника полностью совпадают с потребностью института в подготовке молодых научных кадров высшей квалификации (кандидатов наук, докторов наук) по профильным научным специальностям, мотивированных на участие в исследовательской работе в стенах института, и укомплектовании ими научных структурных подразделений ГосНИИ ГА.

Для реализации основ молодёжной политики Вестника и всесторонней помощи молодым специалистам, аспирантам, соискателям и учёным в рамках компетенций редколлегии Вестника предусмотрены:

- рассмотрение редколлегией Вестника и публикация в приоритетном порядке прошедших рецензирование статей молодых учёных и специалистов, содержащих основные результаты проведённых ими научных исследований. Данное положение распространяется на проходящих подготовку в аспирантуре ГосНИИ ГА по программам, разработанным согласно номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, или прикрепленных соискателей *только* из числа сотрудников института;

- публикации в Вестнике статей молодых учёных и специалистов производятся безвозмездно. Статьи должны предварительно пройти рецензирование;

- оказание методической помощи в виде консультаций по оформлению научных статей для публикации в Вестнике молодым специалистам, аспирантам и соискателям, а также их научным руководителям (научным консультантам);

- предоставление в рамках молодёжной политики Вестника возможности публикаций статей помимо научных специальностей, по которым журнал зарегистрирован в Перечне ВАК, также и на стыке со смежными (сопряжёнными) научными специальностями. Такого рода необходимость может реально возникнуть при выполнении исследований на прорывных научных направлениях;

- внесение в обязательном порядке под заголовками статей молодых учёных и специалистов подзаголовка следующего содержания: «Статья публикуется в рамках реализации молодёжной политики Научного вестника ГосНИИ ГА».

Реализация молодёжной политики Вестника позволит обеспечить дальнейшее планомерное функционирование и совершенствование научной деятельности института, гарантировать преемственность поколений, сохранить уже существующие и создать новые научные школы в области прикладных исследований по сопровождению авиационной деятельности в интересах отечественного ВТ.

Заключение

В статье представлены результаты исследования теоретических основ и практических предпосылок становления Вестника, как одного из источников возникновения и развития отечественной науки о гражданской авиации. Показана неразрывность и прямая связь публикаций результатов научных исследований в Вестнике с основными этапами и знаковыми событиями в научно-технической, исследовательской и испытательной деятельности института, а также в отечественной и международной ГА.

Авторами рассмотрены цели, перспективы и основы методологии введения категорирования отечественных научных рецензируемых изданий применительно к деятельности Вестника, а также предполагаемых к использованию при этом количественных расчётных критериев, их полноты и объективности. Проведён анализ научных направлений, заложенных в новые паспорта научных специальностей ВАК по отношению к паспортам, ранее действовавшим до 16 октября 2022 года.

Проработаны и сформулированы основные принципы молодёжной политики Научного вестника ГосНИИ ГА с учётом приоритетной цели и основного направления её реализации,

исходя из положений отечественного федерального законодательства, которые внедрены путём внесения изменений в Положение о Вестнике. Определены приоритеты при представлении для публикации основных результатов научных исследований работающих в институте молодых специалистов и учёных, а также аспирантов и соискателей учёных степеней кандидатов технических наук, докторов технических наук.

Вестник относится не к разряду многопрофильных изданий, а скорее – к «монопольным» журналам, и тематически посвящён эксплуатации АТ, организации управления воздушным движением (аэронавигации) и иным аспектам авиационной деятельности на ВТ. Априори данное обстоятельство на практике снижает цитируемость научных публикаций Вестника. Но в то же время может являться признаком высокого профессионального уровня журнала. По мнению авторов, такое положение дел могло бы позволить отнести Вестник к рецензируемым научным журналам первой (K1) или второй (K2) категории рейтинга ВАК.

В отечественной авиационной науке Вестник является первым по дате основания профильным изданием по эксплуатации АТ и аэронавигации, журнал проверен временем и сложился исторически. За 70-летний период с момента основания издано 352 номера Вестника. Журнал успешно прошёл перерегистрацию и с 21.10.2022 включён в обновлённый Перечень ВАК по специальностям: «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, её регионов и городов, организация производства на транспорте» (шифр 2.9.1); «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» (шифр 2.9.6) и «Интеллектуальные транспортные системы» (шифр 2.9.8).

Один из старейших авиационных журналов, но как никогда актуальный, Научный вестник ГосНИИ ГА будет и дальше уверенно, оперативно и результативно вносить свой вклад в развитие отечественной науки о ГА в целях повышения эффективности авиационной деятельности на воздушном транспорте.

Список источников

1. Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (по состоянию на 01.11.2022). URL: <https://vak.minobrnauki.gov.ru/uploader/loader?type=19&name=91107547002&f=13963> (дата обращения: 14.11.2022).
2. Три четверти века ГосНИИ ГА / Под ред. В. В. Золотова. Москва: Аэромедиа, 2005. 216 с.
3. Аксентьева М. С., Кириллова О. В., Москалева О. В. К вопросу цитирования в Web of Science и Scopus статей из российских журналов, имеющих переводные версии // Научная периодика: проблемы и решения. 2013. № 4(16). С. 4–18.
4. Гальперин В. М., Игнатьев С. М., Моргунов В. И. Микроэкономика: В 2-х т. / Под общ. ред. В. М. Гальперина. СПб: Экономическая школа, 1999. Том 2. С. 168, 169, 171.
5. Громыко Г. Л., Матюхина И. Н. Ещё раз о коэффициенте Джини как показателе концентрации // Вопросы статистики. 2016. № 6. С. 23–27.
6. Михайлов О. В. Новая версия индекса Хирша – j-индекс // Вестник РАН. 2014. Том 84. № 6. С. 532–535. <https://doi.org/10.7868/S0869587314060085>
7. О молодёжной политике в Российской Федерации: Федеральный закон от 30 декабря 2020 г. № 489-ФЗ. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102957967> (дата обращения: 14.11.2022).

References

1. Perechen` retsenziruemykh nauchnykh izdaniy, v kotorykh dolzhny byt` opublikovany osnovnyye nauchnye rezul`taty dissertatsiy na soiskanie uchenoj stepeni kandidata nauk, na soiskanie uchenoj stepeni

doktora nauk (po sostoyaniyu na 01.11.2022), available at: <https://vak.minobrnauki.gov.ru/uploader/loader?type=19&name=91107547002&f=13963> (accessed: 14.11.2022). (In Russ.)

2. Zolotov V. V., ed., *Tri chetverti veka GosNII GA*, Moscow, Aehromedia publ., 2005, 216 p. (In Russ.)

3. Aksenteva M. S., Kirillova O. V., Moskaleva O. V., On Paper Citation by Web of Sciences and Scopus From Translated Russian Journals, *Nauchnaya periodika: problemy i resheniya*, 2013, no. 4(16), pp. 4–18. (In Russ.)

4. Gal`perin V. M., Ignat`ev S. M., Morgunov V. I., *Mikroehkonomika: v 2 t., tom 2, [Microeconomics, in 2 v., vol. 2]*, ed. Gal`perin V. M., Saint Petersburg, Ehkonomicheskaya shkola publ., 1999, pp. 168, 169, 171. (In Russ.)

5. Gromyko G. L., Matyukhina I. N., Once more on the Gini coefficient as an indicator of the concentration, *Voprosy statistiki*, 2016, no. 6, pp. 23–27. (In Russ.)

6. Mikhailov O. V., A new version of the Hirsh Index: The J-Index, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 84, no. 3, pp. 217–220. <https://doi.org/10.1134/S1019331614030101>

7. O molodezhnoj politike v Rossijskoj Federatsii, Federal`nyj zakon ot 30 dekabrya 2020 g. no. 489-FZ, available at: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102957967> (дата обращения: 14.11.2022). (In Russ.)

Информация об авторах

Максименко Андрей Вячеславович, кандидат социологических наук, генеральный директор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, maximenko_av@gosniiga.ru

Шапкин Василий Сергеевич, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный работник транспорта Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, shapkinvs@nrczh.ru

Богоявленский Анатолий Александрович, доктор технических наук, главный метролог, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, bogoyavlenskiy_aa@ncplg.ru

Authors information

Maksimenko Andrey V., Candidate of Sciences (Sociology), General Director, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, maximenko_av@gosniiga.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 Sciences (Engineering), Professor, First Deputy General Director, National Research Center “N. E. Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, shapkinvs@nrczh.ru

Bogoyavlenskiy Anatoliy A., Doctor of Sciences (Engineering), Chief Metrologist, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, bogoyavlenskiy_aa@ncplg.ru

Статья поступила в редакцию 28.11.2022; одобрена после рецензирования 02.12.2022; принята к публикации 09.12.2022.

The article was submitted 28.11.2022; approved after reviewing 02.12.2022; accepted for publication 09.12.2022.

Обзорная статья
УДК 629.7.058.54

ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛЮ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОВД В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С УЧЁТОМ НОВЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

В. Г. ПАШЕННЫХ, А. И. ЖОГИН, Г. Г. ФОКИНА

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена анализу требований международных и отечественных нормативных документов гражданской авиации (ГА) по созданию поля наблюдения для обеспечения органов обслуживания воздушного движения (ОВД). Проведён анализ используемых терминов в нормативных документах. Сформулированы предложения по устранению противоречий в терминологии систем и средств наблюдения ОВД. В связи с разработкой и вводом в эксплуатацию новых систем наблюдения ОВД, не относящихся к средствам радиолокации, таких как аэродромные многопозиционные системы наблюдения, широкополосные многопозиционные системы наблюдения, наземные станции радиовещательного автоматического зависимого наблюдения, наземные станции контрактного автоматического зависимого наблюдения, дано определение поля наблюдения, создаваемого для обслуживания воздушного движения в воздушном пространстве Российской Федерации с учётом новых систем наблюдения ОВД. Представлены параметры поля наблюдения и его составные части.

Ключевые слова: аэронавигация, обслуживание воздушного движения, радиотехническое обеспечение полётов, система наблюдения ОВД, средство наблюдения, зона действия, поле наблюдения, маршрут ОВД, район аэродрома

Для цитирования: Пашенных В. Г., Жогин А. И., Фокина Г. Г. Требования к полю наблюдения для ОВД в воздушном пространстве Российской Федерации с учётом новых систем наблюдения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 82–89.

REQUIREMENTS FOR THE FIELD OF OBSERVATION FOR ATS IN THE AIRSPACE OF THE RUSSIAN FEDERATION, TAKING INTO ACCOUNT THE NEW SURVEILLANCE SYSTEMS

V. G. PASHENNYKH, A. I. ZHOGIN, G. G. FOKINA

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. The work is devoted to the analysis of the requirements of international and domestic regulatory documents of civil aviation on the creation of a field of observation to provide air traffic services (ATS). The analysis of the terms used in regulatory documents is carried out. Proposals are formulated to eliminate contradictions in the terminology of ATS surveillance systems and means. In connection with the development and commissioning of new ATS surveillance systems that are not related to radar facilities, such as aerodrome multi-position surveillance systems, broadband multi-position surveillance systems, ground stations of broadcasting automatic dependent surveillance, ground stations of contract automatic dependent surveillance, the definition of the surveillance field created to service air traffic in the airspace of the Russian

Federation with taking into account the new ATS surveillance systems. The parameters of the observation field and its components are presented.

Keywords: air navigation, traffic services, radio technical support of flights, ATS surveillance system, surveillance means, coverage area, observation field, ATS route, airfield area

For citation: Pashennykh V. G., Zhogin A. I., Fokina G. G., Requirements for the field of observation for ATS in the airspace of the Russian Federation, taking into account the new surveillance systems, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 82–89. (In Russ.)

Введение

По данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО) каждые 15 лет происходит удвоение мирового пассажиропотока. Основными причинами данного процесса являются рост спроса на авиационные перевозки и повышение их эффективности.

В России наблюдается некоторое отставание числа полётов авиации от среднемировых, но ожидающееся в перспективе повышение интенсивности использования воздушного пространства за счет транзитных полётов из стран Азиатско-Тихоокеанского региона, развития региональных и местных воздушных перевозок, а также развития лёгкой авиации и беспилотного воздушного транспорта выведет число полётов авиации и пассажиропоток в нашей стране на среднемировой уровень.

Для обеспечения приемлемого уровня безопасности полётов в условиях увеличивающегося пассажиропотока требуется сохранить достаточный уровень ОВД, связи, навигации и наблюдения в воздушном пространстве и на аэродромах России.

Наблюдение при ОВД играет одну из важнейших ролей в обеспечении безопасности полётов в условиях интенсивного воздушного движения, повышении эксплуатационной гибкости, позволяющей добиваться более эффективного использования воздушных судов (ВС), и уменьшении воздействия авиации на окружающую среду.

Анализ требований нормативных документов по организации наблюдения при обслуживании воздушного движения в небе Европы и России

1. Европейской организацией по безопасности аэронавигации (Евроконтроль) в 1997 году был принят Стандарт по радиолокационному наблюдению в воздушном пространстве РЦ и в зонах основных аэродромов [1]. Данный документ содержал требования к независимому (первичному) и совместному независимому (вторичному) радиолокационному наблюдению для обеспечения служб воздушного движения радиолокационной информацией.

В соответствии с его положениями:

«Радиолокационное обслуживание должно быть обеспечено для эшелонирования во всём Европейском трассовом воздушном пространстве и в основных аэродромных зонах для того, чтобы гарантировать эффективное управление нарастающими объемами воздушного движения с обеспечением безопасности, регулярности и быстроты.

Характеристики системы радиолокационного наблюдения должны позволять диспетчеру обеспечивать минимум горизонтального эшелонирования в 5 NM (9,3 км) в высокоинтенсивном трассовом пространстве, 10 NM (18,5 км) – в другом трассовом пространстве и 3 NM (5,6 км) – в основных аэродромных зонах.

Зоны, где объем или характеристики движения не гарантируют обеспечения радиолокационного обслуживания на уровне данного стандарта, должны быть определены и могут быть выведены из рассмотрения.

Перекрытие (наблюдение).

В соответствии с целью 1 Выполнения программы Европейской конференции по вопросам гражданской авиации (ГА) радиолокационное перекрытие, требуемое для поддержки как аэродромного, так и трассового управления воздушным движением, должно быть:

трассовое воздушное пространство:

- дублированное перекрытие вторичными обзорными радиолокаторами (ВОРЛ);

основная аэродромная зона:

- дублированное перекрытие ВОРЛ;

- одинарное перекрытие первичными обзорными радиолокаторами (ПОРЛ)».

В соответствии с положениями данного стандарта зоны с низкой плотностью движения, где созданное перекрытие удовлетворяет особым местным эксплуатационным требованиям к радиолокационному обслуживанию, могут освобождаться от исполнения вышеизложенных требований по созданию радиолокационного перекрытия (поля наблюдения), как и области, в которых двойное и даже одинарное перекрытие ВОРЛ невозможно обеспечить из-за географических ограничений (области над открытыми морскими поверхностями за пределами территориальных вод и вблизи и в окрестностях территорий с горным рельефом).

В 2012 году в связи с вводом в эксплуатацию новых систем наблюдения ОВД, таких как широкозонная многопозиционная система наблюдения (МПСН-Ш), аэродромная многопозиционная система наблюдения (МПСН-А), наземная станция радиовещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В), и для уточнения требований к их характеристикам и определения методов проведения оценок соответствия, Евроконтролем разработан новый документ «Спецификация Евроконтроля по характеристикам системы наблюдения» [2]. Он вводит концепцию применения систем наблюдения, т. е. обеспечения выполнения функций центрами (пунктами) ОВД с использованием конкретной категории системы наблюдения, которая может быть неавтономной или автономной.

Неавтономная система наблюдения требует наличия оборудования на борту ВС и функционирует на его основе. Такая система может предоставлять все элементы данных наблюдения, относящиеся к ВС, включая информацию, полученную от самого ВС (например, барометрическую высоту, опознавательные сигналы).

Автономная система наблюдения не требует наличия оборудования на борту ВС, но и не может предоставить информацию, получаемую с его борта.

В спецификации [2] обоснованы и представлены обязательные и рекомендуемые (более строгие) эксплуатационные характеристики для обеспечения эшелонирования в 5 морских миль и 3 морские мили, предоставляемые диспетчеру управления воздушным движением (УВД) с использованием неавтономной и автономной системы наблюдения. В документе также определено, как должна выполняться оценка соответствия.

2. В воздушном пространстве России наблюдение за ВС обеспечивают системы и средства наблюдения ОВД.

Под системой и средством наблюдения ОВД понимаются:

- системы наблюдения ОВД;

- средства наблюдения ОВД;

- системы визуального видеонаблюдения.

К системам наблюдения ОВД относятся:

- радиолокационный комплекс трассовый;

- радиолокационный комплекс аэродромный;

- обзорный радиолокатор трассовый;

- обзорный радиолокатор аэродромный;

- вторичный радиолокатор;

- посадочный радиолокатор;

- радиолокационная станция обзора лётного поля;

- наземная станция аэродромной многопозиционной системы наблюдения;
- наземная станция широкозонной многопозиционной системы наблюдения;
- наземная станция радиовещательного автоматического зависимого наблюдения.

К средствам наблюдения относятся:

- наземная станция контрактного автоматического зависимого наблюдения;
- автоматический радиопеленгатор.

Представленная классификация разделяет используемое для ОВД оборудование на системы и средства наблюдения. Это необходимо для устранения существующего противоречия между нормативными документами ГА России. К системам наблюдения ОВД в соответствии с документами ИКАО, Федеральными правилами использования воздушного пространства и Федеральными авиационными правилами [3–5] относится оборудование, отвечающее по своим техническим характеристикам требованиям, предъявляемым к системам наблюдения ОВД.

Вышеизложенная структура деления на системы наблюдения и средства наблюдения ОВД устраняет указанные противоречия.

Каждая система (средство) наблюдения ОВД имеет зону действия, в пределах которой обеспечивается обнаружение, определение координат и выдача информации в центры ОВД.

От способности точно определять, отслеживать и обновлять информацию о местоположении ВС прямо зависит минимальное расстояние, которое должно выдерживаться между ВС (нормы эшелонирования) и, следовательно, эффективность использования воздушного пространства.

Создание поля наблюдения для ОВД в России имеет цель обеспечения обнаружения, идентификации и непрерывного сопровождения ВС в воздушном пространстве классов А и С в районах аэродромов и на маршрутах ОВД.

Поле наблюдения ОВД образует совокупность зон действия систем (средств) наблюдения ОВД. Поле наблюдения характеризуется пространственными параметрами (дальностью обнаружения на заданной высоте, высотой нижней и верхней границы поля наблюдения, коэффициентом перекрытия в заданной точке воздушного пространства), точностными параметрами (средним квадратическим отклонением – СКО), вероятностными параметрами (вероятность обнаружения ВС при заданной вероятности ложных тревог).

В связи с различными системами наблюдения ОВД, участвующими в создании поля наблюдения, его можно разделить на:

- первичное поле наблюдения, создаваемое первичными обзорными радиолокаторами (ПОРЛ);
- вторичное поле наблюдения, создаваемое вторичными обзорными радиолокаторами (ВОРЛ), которое также может включать поле наблюдения RBS (режим А/С), поле наблюдения УВД, поле наблюдения режима S;
- поле наблюдения мультилатерации, создаваемое с использованием многопозиционных систем наблюдения (МПСН-Ш, МПСН-А);
- поле наблюдения контрактного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-К);
- поле наблюдения радиовещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В).

Федеральные авиационные правила № 293 [5] устанавливают:

Системы наблюдения ОВД, такие как первичный обзорный радиолокатор, вторичный радиолокатор, включая использование моноимпульсного метода или режима S, АЗН-В, применяются при обслуживании воздушного движения самостоятельно либо в сочетании, в том числе для обеспечения эшелонирования ВС при условии, что:

- а) в пределах конкретного района обеспечивается надёжное перекрытие (поле наблюдения);
- б) вероятность обнаружения, точность и целостность системы наблюдения ОВД являются удовлетворительными;
- в) в случае использования АЗН-В доступность данных от участвующих воздушных судов является приемлемой (ст. 6.1).

В документе [5] в пп. 5.7.2 в), 6.3.2 б), 6.6 а), 6.11.7 косвенно предъявляется требование к размещению аэродромного радиолокатора. Зона действия радиолокатора должна обеспечивать наблюдение за ВС на расстоянии 2 км от рабочего порога взлётно-посадочной полосы аэродрома.

В ст. 2.71 Федеральных авиационных правил № 297 [6] указано:

«Перечень средств РТОП и авиационной электросвязи, устанавливаемых (эксплуатируемых) на аэродромах (вертодромах, вертолетных площадках), определяется руководителем организации, осуществляющей аэронавигационное обслуживание на данном аэродроме (вертодроме, вертолетной площадке), с учётом обеспечения безопасности и интенсивности воздушного движения».

В Федеральных авиационных правилах № 262 [7], в ст. 5.3 (Приложение 24) указывается, что при оснащении объектами радиотехнического обеспечения полётов (РТОП) аэродром должен иметь аэродромный радиолокационный комплекс, включающий первичный обзорный радиолокатор, вторичный обзорный радиолокатор, работающий в режиме «RBS».

Вышеуказанные нормативные документы однозначно требуют обеспечить оснащение контролируемых аэродромов аэродромными радиолокационными комплексами, в которых вторичный радиолокатор (ВРЛ) работает в режиме «RBS». Другие документы по определению параметров поля наблюдения ОВД (радиолокационного поля) или составу средств наблюдения на аэродромах и маршрутах ОВД в России отсутствуют.

Требования к полю наблюдения, создаваемому для обслуживания воздушного движения в воздушном пространстве России с учётом новых систем наблюдения ОВД

В настоящее время над большей частью России поле наблюдения в границах районов контролируемых аэродромов представляет собой первичное радиолокационное поле и вторичное радиолокационное поле режима А/С. Места развертывания радиолокаторов и инфраструктура на позициях были определены в 70–80-е годы прошлого века.

Поле наблюдения, создаваемое вторичной радиолокацией, на маршрутах ОВД в европейской части России в основном является сплошным полем наблюдения с высотой нижней границы 3500 м и «очаговым» полем наблюдения в азиатской части России на высоте более 10000 м. Наибольшие разрывы в поле наблюдения находятся в воздушном пространстве над центральной и северной частью Красноярского края и Республики Саха (Якутия).

В границах районов аэродромов с наибольшей интенсивностью полётов – Москва (Шереметьево), Москва (Внуково), Москва (Домодедово), Санкт-Петербург (Пулково) – первичное и вторичное поле дублируются.

Исходя из положений нормативных документов по оснащению аэродромов России средствами РТОП, изложенных выше, а также из сложившейся практики применения средств РТОП в нашей стране, сформулируем основные требования к оснащению аэродромов, учитывая поступления новых систем наблюдения ОВД.

1. Контролируемый аэродром с диспетчерским обслуживанием должен иметь систему наблюдения ОВД, обеспечивающую зону действия (поле наблюдения) с пространственными, вероятностными, точностными и временными параметрами не хуже прописанных в сертификационных требованиях (базисах) к моноимпульсным вторичным радиолокаторам (МВРЛ) с режимом А/С и S в аэродромной зоне.

Размещение системы наблюдения ОВД на аэродроме (вблизи него) должно обеспечивать наблюдение ВС, осуществляющих вылет и заход на посадку с дальности не более 2 км от рабочего порога ВПП аэродрома, а также осуществлять непрерывное наблюдение за ВС по установленным (планируемым) маршрутам воздушного движения, схемам маневрирования при вылете и заходе на посадку, в зонах ожидания, точках входа (выхода) на воздушные трассы и местные воздушные линии.

Аэродромы с большой интенсивностью полётов, а также аэродромы совместного базирования и расположенные вблизи аэродромов государственной авиации, должны иметь как первичное, так и вторичное поля наблюдения, которое могут создавать аэродромные радиолокационные комплексы (АРЛК), первичные обзорные радиолокаторы (ПОРЛ) и ВРЛ, ПОРЛ и МПСН-Ш.

Аэродромы с низкой интенсивностью полётов должны обслуживаться посредством полётно-информационного и удаленного диспетчерского обслуживания.

2. Учитывая требования, изложенные в ст. 6.1 [5], накопленный опыт эксплуатации радиолокационных и других систем наблюдения ОВД в границах России, сформулируем требования к полю наблюдения на маршрутах ОВД.

Системы наблюдения ОВД должны создавать поле наблюдения на маршрутах ОВД с вероятностными, точностными и временными параметрами не хуже прописанных в сертификационных требованиях (базисах) к МВРЛ с режимом А/С и S на трассах и вне их.

Пространственные параметры поля наблюдения должны позволять обеспечивать непрерывный контроль ВС на высотах от нижнего до верхнего эшелона, используемого для полёта ВС на маршрутах ОВД.

В воздушном пространстве с низкой интенсивностью полётов должно осуществляться полётно-информационное обслуживание.

Поле наблюдения на маршрутах ОВД может создаваться такими системами наблюдения как МВРЛ, МПСН-Ш и наземными станциями АЗН-В (при условии периодической верификации получаемой от них информации радиолокаторами или МПСН).

Маршруты ОВД, проходящие в районах аэродромов государственной авиации, должны иметь как первичное, так и вторичное поля наблюдения, создаваемое такими системами наблюдения ОВД, как АРЛК, ПОРЛ и ВРЛ, ПОРЛ и МПСН-Ш.

В связи с развитием беспилотных ВС и перспективами их применения на высотах ниже нижнего эшелона, в границах этих регионов должно создаваться поле наблюдения, обеспечивающее нижнюю границу поля наблюдения от минимальной высоты их применения. Поле наблюдения должно создаваться с учетом возможности наращивания и изменения его пространственных характеристик.

Заключение

Системы наблюдения ОВД, обеспечивающие потребителей информацией для ОВД в воздушном пространстве России, должны создавать такое поле наблюдения, параметры которого позволяют обеспечить контроль и управление ВС и обеспечение приемлемого уровня безопасности полётов авиации. Введение в эксплуатацию новых систем наблюдения ОВД изменяет подход к оснащению аэродромов и маршрутов ОВД, и требует актуализации нормативных документов. В статье авторами систематизированы основные требования к оснащению и созданию поля наблюдения с учетом новых систем наблюдения ОВД на маршрутах ОВД и в районе аэродрома. Применение предложенной классификации систем и средств наблюдения ОВД позволит устранить имеющиеся противоречия в нормативных документах ГА России.

Список источников

1. Стандарт по радиолокационному наблюдению в воздушном пространстве РЦ и в зонах основных аэродромов. SUR.ET1.ST.1000-STD-01-01. Первое издание. Европейская организация по безопасности аэронавигации, 1997, 104 с.
2. Спецификация Евроконтроля по характеристикам системы наблюдения ОВД (том 1, 2), EUROCONTROL-SPEC-0147. Европейская организация по безопасности аэронавигации, 2012, 253 с.

3. ИКАО Doc 4444. Правила аэронавигационного обслуживания. Организация воздушного движения. Издание 16. Монреаль, Квебек, Канада: ИКАО, 2016, 508 с.
4. Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации. Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902207152#656010> (дата обращения: 20.07.2022).
5. Об утверждении федеральных авиационных правил «Организация воздушного движения в Российской Федерации». Приказ Минтранса РФ от 25 ноября 2011 г. № 293. [Электронный ресурс]. URL: <https://favt.gov.ru/public/materials//9/e/e/4/a/9ee4a1147ed58b14112b9f2d43db27d2.rtf> (дата обращения: 20.07.2022).
6. Об утверждении федеральных авиационных правил «Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации». Приказ Минтранса РФ от 20 октября 2014 г. № 297. [Электронный ресурс]. URL: <https://favt.gov.ru/public/materials//e/6/d/9/9/e6d9986b9f3a4dac8e40085c59a4b5cd.rtf> (дата обращения: 20.07.2022).
7. Об утверждении федеральных авиационных правил «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов» от 25 августа 2015 г. № 262. [Электронный ресурс]. URL: <https://favt.gov.ru/public/materials//5/b/8/0/0/5b80059ee2c324e982daec15db67bd00.pdf> (дата обращения: 20.07.2022).

References

1. Eurocontrol standard document for radar surveillance in en-route airspace and major terminal areas. SUR.ET1.ST.1000-STD-01-01, 1st Ed., European organization for the safety of air navigation, 1997, 104 p.
2. Eurocontrol Specification for ATM Surveillance System Performance (Volume 1, 2). EUROCONTROL-SPEC-0147, European organization for the safety of air navigation, 2012, 253 p.
3. ICAO Doc. 4444. Procedures for air navigation services. Air traffic management, 16th ed., ICAO, 2016, 464 p., available at: <https://standart.aero/ru/icao/book/doc-4444-procedures-for-air-navigation-services-air-traffic-management-en-cons> (accessed 02/11/2022).
4. Ob utverzhdenii federal`nykh pravil ispol`zovaniya vozdushnogo prostranstva Rossiiskoi Federazii. Decree of the Government of the Russian Federation 11 March 2010 no. 138 [Electronic resource], available at: <https://favt.gov.ru/public/materials//9/e/e/4/a/9ee4a1147ed58b14112b9f2d43db27d2.rtf> (accessed 20.07.2022). (In Russ.)
5. Ob utverzhdenii federal`nykh aviatsionnykh pravil "Organizatsiya vozdushnogo dvizheniya v Rossiiskoi Federazii", Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation 25 November 2011 no. 293 [Electronic resource], available at: <https://favt.gov.ru/public/materials//9/e/e/4/a/9ee4a1147ed58b14112b9f2d43db27d2.rtf> (accessed 20.07.2022). (In Russ.)
6. Ob utverzhdenii federal`nykh aviatsionnykh pravil "Radiotekhnicheskoe obespechenie poletov vozdushnykh sudov i aviatsionnaya svyaz", Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation 20 October 2014 no. 297 [Electronic resource], available at: <https://favt.gov.ru/public/materials//e/6/d/9/9/e6d9986b9f3a4dac8e40085c59a4b5cd.rtf> (accessed 20.07.2022). (In Russ.)
7. Ob utverzhdenii federal`nykh aviatsionnykh pravil "Trebovaniya, pred`yavlyaemye k arodromam, prednaznachennym dlya vzleta, posadki, ruleniya i stoyanki grazhdanskikh vozdushnykh sudov", Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation 25 August 2015 no. 262 [Electronic resource], available at: <https://favt.gov.ru/public/materials//5/b/8/0/0/5b80059ee2c324e982daec15db67bd00.pdf> (accessed 20.07.2022). (In Russ.)

Информация об авторах

Пашенных Владимир Григорьевич, начальник сектора средств наблюдения, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, pashennykh@atminst.ru

Жогин Алексей Иванович, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, zhogin@atminst.ru

Фокина Галина Геннадьевна, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, fokina@atminst.ru

Authors information

Pashennykh Vladimir G., Head of the Sector, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, pashennykh@atminst.ru

Zhogin Aleksey I., Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, zhogin@atminst.ru

Fokina Galina G., Leading Researcher, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, fokina@atminst.ru

Статья поступила в редакцию 04.10.2022; одобрена после рецензирования 23.11.2022; принята к публикации 01.12.2022.

The article was submitted 04.10.2022; approved after reviewing 23.11.2022; accepted for publication 01.12.2022.

Научная статья
УДК 656.7.072

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРСПЕКТИВНЫМ САМОЛЁТАМ ДЛЯ РОССИЙСКИХ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ АВИАЛИНИЙ НА СРЕДНЕСРОЧНУЮ И ДОЛГОСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВЫ

С. Ф. ЕГОШИН, В. В. КЛОЧКОВ

Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются особенности применения небольших самолётов для осуществления межрегиональных авиаперевозок в Российской Федерации. Анализ показывает, что за последние несколько лет межрегиональные авиалинии развивались очень динамично, что, с учётом небольших объёмов авиаперевозок, заметно усложняет выбор рациональных требований к перспективному самолёту для таких авиалиний. Ключевую роль в этом играет фактор субсидирования данного вида перевозок. Показано, что при существующей государственной политике субсидирования требования практически совпадают с заявленными лётно-техническими характеристиками проектируемого самолёта ТВРС-44 «Ладога». В частности, вместимость подобного воздушного судна, как следствие задаваемой регулярности рейсов, должна составлять не более 44 мест, а дальность полёта с коммерческой нагрузкой – в пределах 2200–2500 км. В то же время, при изменении государственной политики в сторону повышения транспортной связности регионов и улучшения качества обслуживания населения, вместимость самолёта может быть кратно уменьшена без изменения потребной дальности полёта и при условии, что уменьшение размерности воздушного судна позволит уменьшить затраты на его создание и эксплуатацию.

Ключевые слова: региональный самолёт, пассажирские авиаперевозки, субсидирование авиаперевозок, импортозамещение, воздушное судно, лётно-технические характеристики, вместимость самолёта

Для цитирования: Егосин С. Ф., Клочков В. В. Обоснование требований к перспективным самолётам для российских межрегиональных авиалиний на среднесрочную и долгосрочную перспективы // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 90–102.

SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS FOR AIRCRAFT OF RUSSIAN INTERREGIONAL AIRLINES FOR THE MEDIUM AND LONG TERM

S. F. EGOSHIN, V. V. KLOCHKOV

National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the features of the use of small aircraft for interregional air transportation in the Russian Federation. The analysis shows that over the past few years, interregional airlines have developed very dynamically, which, taking into account the small volumes of air traffic, significantly complicates the choice of rational requirements for a promising aircraft for such airlines. The key role in this is played by the factor of subsidizing this type of transportation. It is shown that with the existing state subsidy policy, the requirements practically coincide with the declared flight characteristics of the projected TVRS-44 Ladoga aircraft. In particular, the capacity of such an aircraft, as a consequence of the specified regularity of flights, should be no more than 44 seats, and the flight range with a commercial load should be within 2,200–2,500 km. At the same time, if

the state policy changes in the direction of increasing the transport connectivity of the regions and improving the quality of public services, the aircraft capacity can be reduced multiple times without changing the required flight range and provided that reducing the size of the aircraft will reduce the cost of its creation and operation.

Keywords: regional aircraft, passenger air transportation, subsidizing air transportation, import substitution, aircraft, flight specifications, aircraft capacity

For citation: Egoshin S. F., Klochkov V. V., Substantiation of requirements for aircraft of Russian inter-regional airlines for the medium and long term, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 90–102. (In Russ.)

Введение

Обеспечение транспортной связности страны – одна из важных государственных задач, что указано в Транспортной стратегии Российской Федерации. Немаловажную роль в этом играют межрегиональные авиалинии.

Если обратиться к историческому аспекту, то следует отметить, что распад СССР привёл к деградации сети авиалиний. Основной причиной этого явления стала дороговизна авиаперевозок (как относительно других видов транспорта, так и относительно доходов большинства населения): в настоящее время стоимость перевозок автомобильным (автобусным) транспортом оценивается в 1–2 руб./пасс.-км [1], магистральными самолётами – от ~2,5 руб./пасс.-км, региональными – от ~6 руб./пасс.-км [2]. Как можно видеть, если бы ценовой фактор был единственным критерием привлекательности при выборе вида транспорта, пассажирские авиаперевозки практически прекратили бы существование.

Однако другим значимым для пассажиров фактором является время поездки, и чем оно больше – тем больше готовность пассажиров оплачивать его экономии. Благодаря этому становятся востребованными авиационные перевозки, особенно на большие расстояния. С уменьшением же расстояния поездки фактор времени становится всё менее значимым, что приводит к уменьшению количества пассажиров, готовых воспользоваться авиатранспортом. При малых пассажиропотоках удельная стоимость перевозки магистральными самолётами, в силу невысокой заполняемости салона, вырастает заметно более 2,5 руб./пасс.-км, что в итоге приводит к коммерческой неэффективности применения данных самолётов на таких линиях. То же самое касается и региональных самолётов с изначально высокой удельной стоимостью перевозки.

Как результат, основные пассажиропотоки в России консолидируются на ограниченном количестве авиалиний, для которых сохраняется рентабельность авиаперевозок магистральными самолётами. Значительная доля этих линий проходит через Московский авиационный узел (МАУ), обслуживающий более 70 % авиапассажиров страны, а большинство прочих авиалиний в России существует благодаря бюджетным субсидиям, так как государство вынуждено нести дополнительные расходы с целью обеспечения транспортной связности территории страны, например, активно реализуя программу развития авиаперевозок минуя аэропорты МАУ [3]. Эта программа ведёт к расширению сети авиалиний, обновлению и росту парка обслуживающих воздушных судов (ВС), что повышает актуальность создания новых региональных самолётов, особенно российской разработки и производства: в условиях санкционного давления, с 2022 г. возросла необходимость импортозамещения, обеспечения экономической и технологической безопасности Российской Федерации.

В рамках настоящей работы региональными авиаперевозками будем считать перевозки между субъектами Российской Федерации (их столицами или крупными региональными центрами), за исключением магистральных авиалиний между крупнейшими аэропортами. По существу, предпринимается попытка уточнить, что считать региональным ВС, отвечающим потребностям России. Время поездки прямым межрегиональным авиарейсом, как альтернатива «полёту через Москву», может оказаться больше времени поездки с пересадками, если учесть

интервалы между рейсами. Причём эти интервалы будут тем больше, чем больше пассажиро-местимость применяемого ВС. Поэтому, для поддержания приемлемой регулярности рейсов, ВС для региональных перевозок должны иметь заметно меньшую вместимость по сравнению с магистральными (не более 100 мест). Кроме того, прямой межрегиональный рейс может быть дороже двух магистральных с пересадкой по причине использования менее эффективных ВС, чем магистральные самолёты.

Анализ реестра ВС, находящихся в эксплуатации в России, показывает, что самолёты вместимостью не более 100 мест могут быть разделены на несколько классов (рис. 1).

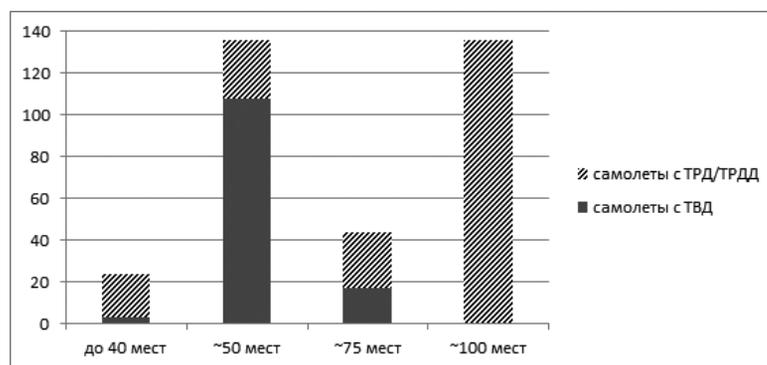


Рис. 1. Численность самолётов вместимостью до 100 мест в парке гражданских эксплуатантов, начало 2022 г.

Из диаграммы рис. 1 следует, что наиболее массовыми классами ВС являются 50- и 100-местные самолёты. 50-местные самолёты – это преимущественно самолёты с турбовинтовыми двигателями (ТВД, основной тип – Ан-24/26), 100-местные – реактивные Sukhoi SuperJet 100 (SSJ-100). Количество остальных типов/классов самолётов невелико, при этом отсутствуют классы 60–65-местных и 85–90-местных ВС. По этой причине в настоящей работе основное внимание уделяется исследованию потребного регионального самолёта небольшой вместимости (около 50 мест).

Согласно прогнозам на период до 2038 года [4, 5], преобладающий спрос в региональном парке ожидается для турбовинтовых самолётов в т. ч. и в классе 40–60 мест. Прогноз строится на основе трендов роста авиаперевозок и обновления парка ВС, при этом подразумевается неизменность государственной политики в части развития межрегиональных и местных авиаперевозок.

В то же время, другие возможные сценарии социального, экономического и политического развития страны могут привести к изменению структуры спроса на гражданские ВС. Например, в современных научных работах считается, что требования к региональным ВС должны формироваться с учётом облика будущей авиатранспортной системы (АТС) России, обеспечивающей высокое качество обслуживания населения [6]. При этом применение 50-местных самолётов на местных воздушных линиях (МВЛ), т. е. линиях внутри регионов, будет невелико: основой парка самолётов МВЛ, исходя из той же необходимости обеспечить высокую частоту рейсов, должны быть ВС вместимостью не более 9 пассажиров [7].

Настоящая работа затрагивает два аспекта формирования требований к региональным самолётам для АТС России: обоснованность выбора требований в существующих условиях, и возможную корректировку требований с учётом перспектив развития АТС страны.

Требования к региональному самолёту на основе статистического анализа существующих авиалиний

Для проведения исследования в качестве исходных данных были собраны сведения об административно-территориальном делении и населении страны, об авиационной инфраструктуре

(источниками информации были, например, интернет-сервисы «Яндекса»). Использовались статистические данные, в т. ч. о субсидируемых авиаперевозках с сайта Росавиации. В силу коммерческой непривлекательности авиалиний с небольшими пассажиропотоками и применением ВС малой вместимости вводилось предположение, что справедливо и тождественно обратное утверждение: авиалинии, где применяются небольшие региональные самолёты, почти наверняка являются субсидируемыми.

Предварительный статистический анализ развития субсидируемых межрегиональных авиалиний за период 2019–2021 гг. показал следующее. Количество таких линий в 2021 году выросло почти вдвое по отношению к 2019 году (причём неизменно перечень линий, утверждённый в госпрограмме субсидирования на начало года, пересматривался в течение года по мере выполнения программы и появления дополнительных объёмов финансирования). Но, несмотря на такой рост, доля авиалиний, которые связывали аэропорты, как минимум один из которых не находится вблизи столицы субъекта Российской Федерации, стабильно составляла 40–45 %, что означает расширение охвата аэропортов страны. При этом непосредственно численность парка 50-местных ВС и средняя регулярность рейсов в целом не увеличились.

Данные результаты свидетельствуют о динамичности процессов развития сети межрегиональных авиалиний и парка региональных ВС: сеть не следует рассматривать как статичную, а моделирование связности регионов только как связности региональных центров может привести к существенной ошибке. При этом расширение сети при неизменной численности парка 50-местных ВС косвенно противоречит выводам [4] о росте спроса на региональные самолёты данного класса вместимости. И это требует проведения более углубленного анализа.

Для поиска закономерностей динамики развития сети, обуславливающих применение 50-местных региональных самолётов, вводится вспомогательная описательная модель. В качестве базиса для её построения берётся то обстоятельство, что суммарные объёмы отечественных авиаперевозок имеют выраженный сезонный характер (рис. 2).

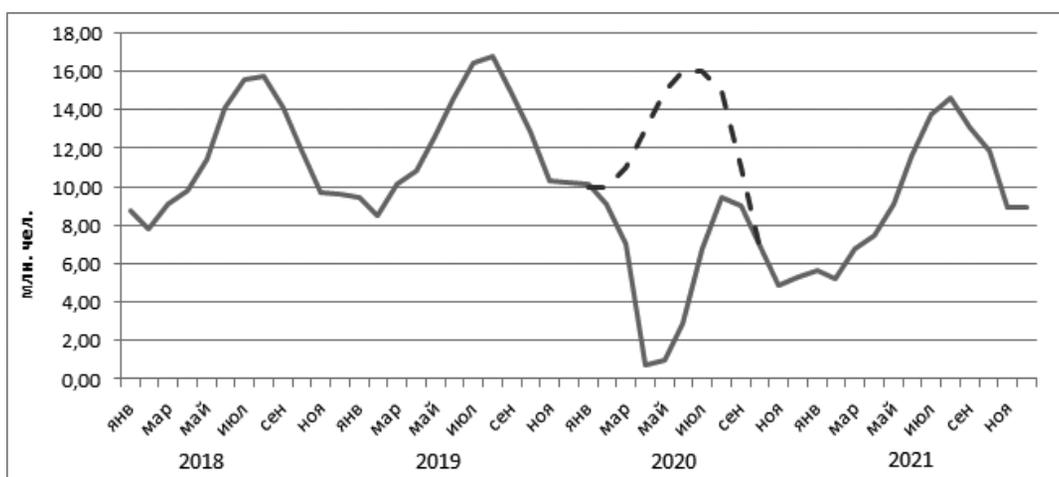


Рис. 2. Динамика изменения количества обслуживаемых авиапассажиров России по месяцам

Колебание объёма перевозимых пассажиров в пределах каждого года приблизительно одинаково: пассажиропоток минимален в зимний период и максимален летом (за исключением лета 2020 года в связи с ограничениями из-за пандемии). Данный перепад между количеством пассажиров, перевезённых в летний и зимний периоды, характерен и для большинства авиалиний по отдельности.

В то же время потребность в субсидировании авиалиний связана с малой интенсивностью пассажиропотоков. Следовательно, фактор сезонности накладывает отпечаток и на субсидирование авиаперевозок. Отсюда, с учётом фактора субсидирования, качественная описательная модель

типизации авиалиний вводится нижеследующим образом при допущении, что пассажиропоток на линии в первом приближении не зависит от регулярности рейсов (рис. 3).

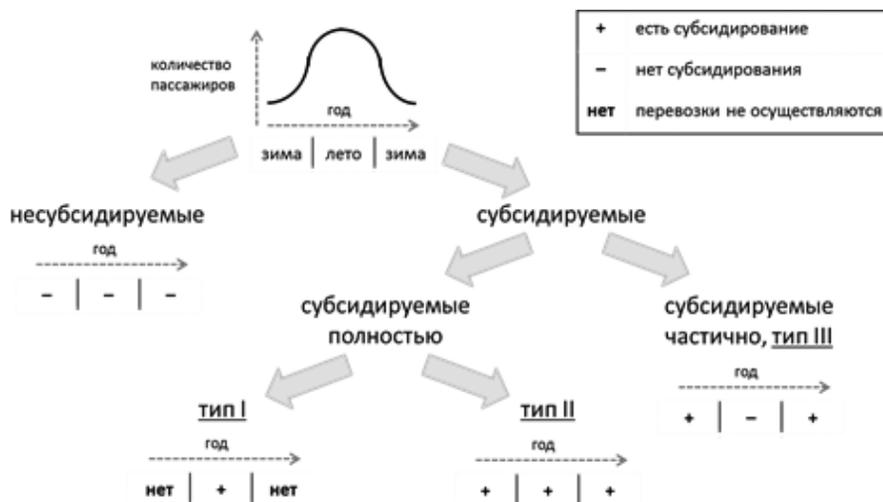


Рис. 3. Модель типизации авиалиний по признаку субсидирования

Если перевозки на авиалинии каким-либо образом субсидируются, то возможны следующие варианты классификации или типизации авиалиний:

тип I – объём перевозок мал, поэтому перевозки субсидируются только в летний период максимального спроса, а в остальное время авиалиния не работает;

тип II – перевозки субсидируются круглый год;

тип III – перевозки субсидируются в зимний период наименьшего спроса и не субсидируются летом, когда рост пассажиропотока позволяет организовать коммерчески рентабельные авиаперевозки.

Несубсидируемые круглый год авиалинии как тип здесь не рассматриваются, поскольку для них свойственен большой пассажиропоток, и для его перевозки круглогодично задействуются только ВС вместимостью более 100 чел. Возможные «нестационарные» варианты (например, субсидирование наличествует в начале года и отсутствует в конце года) имели место лишь для очень небольшой доли авиалиний, поэтому при обработке статистики трактовались как переходные к типам II–III.

Динамику развития сети целесообразно изучать за период не менее трёх лет, так как за этот промежуток времени возможно адекватное определение стабильного состояния авиалинии как «авиалиния существует» или «авиалиния не существует» [8].

Анализ субсидируемых региональных авиалиний показывает, что, несмотря на двукратный рост их количества, основным типом линий остается тип II (рис. 4).

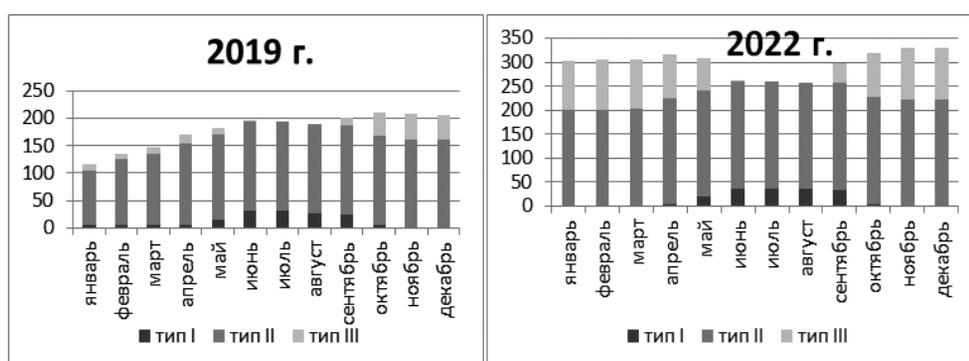


Рис. 4. Распределение количества субсидируемых межрегиональных авиалиний по типам в 2019 и 2022 гг.

При этом суммарное количество авиалиний I–III типа, обслуживаемых самолётами класса вместимости «50 мест», изменяется незначительно и составляет ~100 линий (рис. 5), что в первую очередь обусловлено увеличением количества эксплуатируемых самолётов SSJ-100.

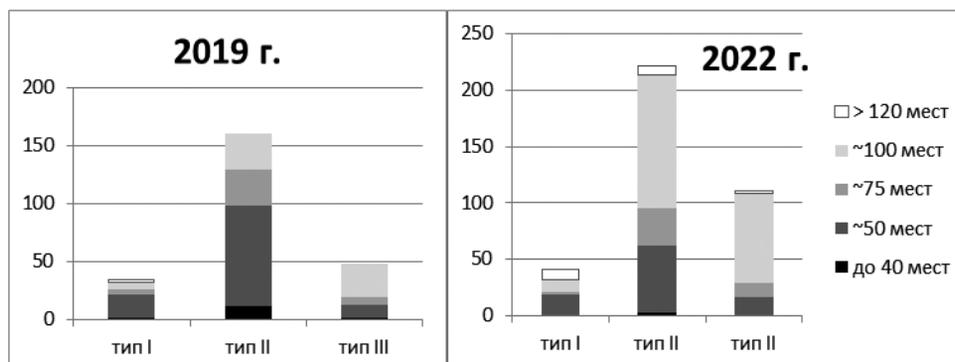


Рис. 5. Распределение типов субсидируемых межрегиональных авиалиний по классам ВС в 2019 и 2022 гг.

Анализ рис. 5 позволяет предположить, что самолёты SSJ-100 не могут конкурировать со значительно более вместительными ВС на авиалиниях с большими пассажиропотоками. Однако, ввиду отсутствия производимых в России самолётов в классе вместимости «50 мест» и в силу политического решения о необходимости выпуска и использования отечественной авиационной техники, SSJ-100 находят отчасти вынужденное применение на межрегиональных авиалиниях именно вместо ВС меньших по вместимости классов. Тогда 50-местные самолёты можно уверенно считать основным классом ВС, обслуживающих межрегиональные авиалинии II типа (что в целом и наблюдалось в 2019 году, рис. 5).

Таким образом, межрегиональные авиалинии II типа являются основным по численности типом межрегиональных авиалиний. Требования к вместимости ВС можно выработать, исходя из рассмотрения регулярности рейсов (рис. 6) и средней заполняемости салона только для этих линий.

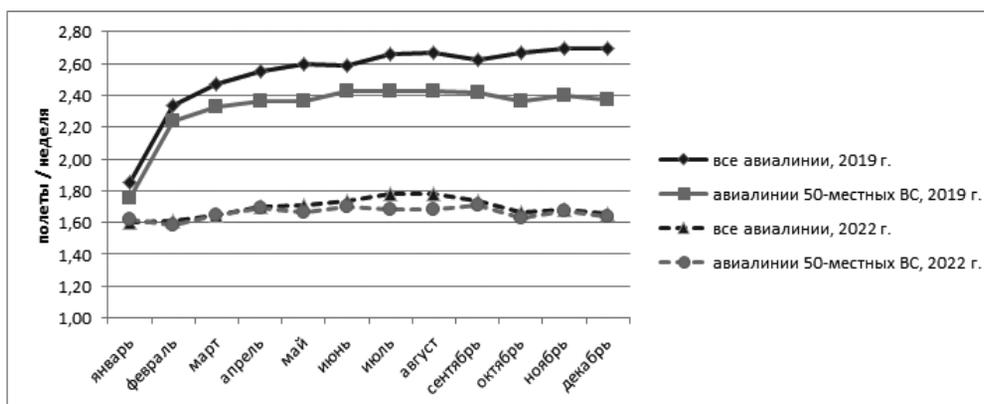


Рис. 6. Средняя регулярность субсидируемых межрегиональных авиалиний

В 2019 году, при субсидировании авиалиний с учётом регулярности на уровне 2,5 полётов в неделю (примерно один раз в трое суток), заполняемость салона по месяцам, как показали результаты статистического анализа, изменялась слабо и составила 60–70 %, причём как в среднем для авиалиний II типа, так и для непосредственно 50-местных самолётов на этих линиях. Тогда, если предположить, что при неизменности существующих условий заполняемость

салона может быть повышена до 80 % как для востребованных магистральных авиалиний, рациональная вместимость регионального самолёта составляет 38–44 пассажира.

Требования к дальности полёта с полезной нагрузкой могут быть также получены из рассмотрения статистики субсидируемых линий. В 2019 г. протяженность 97 % авиалиний II типа не превышала 2000 км, причём 75 % этих линий обслуживались 50-местными самолётами. В 2022 г. за счёт применения более вместительного самолёта SSJ-100 эта же доля авиалиний уже соответствовала 2500 км. С учётом введённого выше предположения о вынужденном применении SSJ-100 можно полагать, что требования к дальности полёта 50-местного самолёта должны составлять 2000–2500 км.

Длину потребной взлётно-посадочной полосы (ВПП) можно принять равной 1400 м как минимальную длину ВПП в аэропортах, охватываемых межрегиональными перевозками в 2022 году. При этом для обслуживания существующих межрегиональных авиалиний не требуются ВС с возможностью базирования на грунтовых аэродромах, поскольку, например, из всех аэропортов, задействуемых в 2022 году для межрегиональных перевозок, только пять (Кемерово, Ленск, Олёкминск, Таксимо, Толька) не имеют ВПП с твердым покрытием. Возможность базирования региональных ВС на грунтовых аэродромах может быть продиктована потребностями иных заказчиков. В этом случае целесообразно рассмотреть возможность проектирования двух модификаций одного самолёта в рамках модульного проектирования [9], но рассмотрение данного подхода выходит за рамки настоящей работы.

Требования к крейсерской скорости и выбору силовой установки 50-местного регионального самолёта должны определяться из условия минимума затрат на перевозку пассажиров с учётом сформулированных требований к вместимости, дальности полёта, базированию. Но также, если предположить, что рейс выполняется как парный (самолёт возвращается на исходный аэродром), а суммарное время перелёта «туда-обратно» не должно превышать продолжительность лётной смены, тогда целесообразно задание крейсерской скорости не менее 500 км/ч.

Из табл. 1 видно, что выработанные требования близки к лётно-техническим характеристикам (ЛТХ) уже находящегося в разработке перспективного самолёта ТВРС-44 «Ладога» [10].

Таблица 1

Требования к региональному самолёту для современной АТС России и ЛТХ ТВРС-44

Характеристика	ТВРС-44	Требования
Вместимость, пассажиров	44	38–44
Дальность полёта с максимальным количеством пассажиров, км	2200	2000–2500
Крейсерская скорость, км/ч	460–480	>500
Потребная длина ВПП, м	1300	1400

Уточнение требований к региональному самолёту перспективной АТС России

Результаты анализа, приведённые в предыдущем разделе, полностью обусловлены нынешней государственной политикой в области развития отечественных межрегиональных авиационных перевозок. Однако, поскольку ВС создаются в расчёте на жизненный цикл не менее 20 лет, возникает вопрос, насколько изменятся требования к перспективному региональному самолёту при изменении этой политики.

Основным посылом государственного регулирования региональных и местных авиаперевозок является улучшение качества обслуживания населения. В первую очередь, данное улучшение

сводится к сокращению времени совершения поездки между российскими регионами. Тогда выбор регулярности межрегиональных рейсов должен быть связан с решением задачи повышения транспортной связности регионов. Однако, при существующих в России расстояниях и регулярностях прочих межрегиональных перевозок, постановка подобной задачи не имеет смысла, поскольку наиболее быстрым способом перемещения пассажира между двумя аэропортами являются магистральные авиарейсы через МАУ, а наиболее дешёвым – автомобильный или железнодорожный транспорт.

В рамках настоящей работы для перспективной АТС было выбрано, что время поездки между городами с населением свыше 250 тыс. чел. в пределах одного федерального округа в перспективе не должно превышать 24 ч. [6]. Во многих случаях это будет означать необходимость организации ежедневных межрегиональных авиаперевозок, что, как можно видеть из рис. 6, потребует увеличения частоты рейсов на существующей сети авиалиний в несколько раз.

Однако изменение требований к вместимости регионального ВС не может быть получено путем простого деления пассажиропотока на количество рейсов, так как спрос на перевозки зависит не только от их стоимости, но и от их регулярности. Принцип взаимозависимости параметров проектируемой АТС и параметров заказчика, обслуживаемого данной системой (которым в рассматриваемом случае являются авиапассажиры), заложен в современный подход «интегрированных авиационных систем» (ИАС) [11]. Классический подход [12] подразумевает последовательное выполнение двух этапов внешнего проектирования новых типов ВС: определение потребных объёмов авиационных перевозок/работ; определение потребного типажа, технико-экономических характеристик (ТЭХ) и численности парка каждого типа ВС с распределением по объёмам перевозок/работ. Суть же подхода ИАС заключается в объединении двух вышеуказанных этапов классического подхода в рамках единой задачи оптимизации для достижения глобального оптимума.

В рассматриваемом случае формирования облика региональных самолётов применение методологии ИАС требует именно введения зависимости количества пассажиров от параметров авиалинии. Для авиалиний с интенсивностью пассажиропотока менее 50000 пасс./год искомая закономерность моделируется с большой погрешностью [13]. Тем не менее, по результатам исследований статистики за 2019 год было найдено, что сочетанием, имеющим наилучший коэффициент детерминации, является взаимосвязь именно для межрегиональных линий II типа в координатах «суммарное население, обслуживаемое парой аэропортов – подвижность населения» (рис. 7).

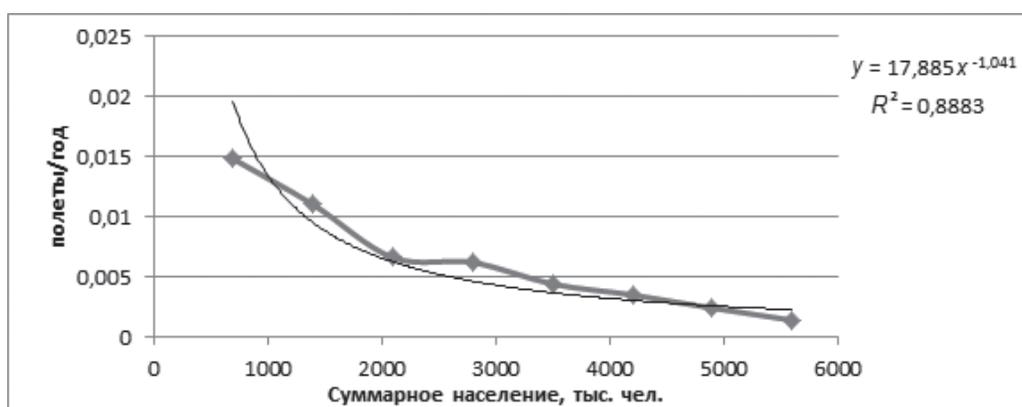


Рис. 7. Годовая подвижность населения для линий II типа

Здесь суммарная численность населения, обслуживаемого парой аэропортов, рассчитывалась следующим образом. Для каждого аэропорта выбиралось ближайшее к нему городское поселение (т. е. чаще всего – столица субъекта Российской Федерации или крупный административный

центр), численность населения в этом городском поселении трактовалась как численность населения, обслуживаемого данным аэропортом. Соответственно, суммарное население для паросочетания аэропортов некоторой межрегиональной авиалинии – это сумма численностей населения, обслуживаемых каждым из двух аэропортов, связанных данной линией.

Построение зависимостей производилось с применением непараметрических методов обработки статистической информации при допущении, что значение суммарного населения для паросочетания аэропортов как аргумента имеет случайный характер.

Как можно видеть из рис. 7, для авиалиний II типа детерминация достаточно высока (0,88), в то время как для авиалиний I и III типа оказалась низкой (0,49 и 0,53 соответственно). При этом для авиалиний I и III типа невелика и статистическая выборка, что дополнительно позволяет утверждать, что для этих линий полученный результат некорректен. Таким образом, для авиалиний II типа может быть применима следующая формула (отбрасывая степень аргумента в знаменателе 1,041 как несущественную):

$$\gamma = \frac{17885}{P_1 + P_2}, \quad (1)$$

где γ – годовая подвижность населения для межрегиональной авиалинии;

P_1, P_2 – численность населения, обслуживаемого аэропортами 1 и 2, которые связаны рассматриваемой межрегиональной авиалинией [тыс. чел.].

Формула (1) показывает, что для авиалиний II типа суммарный годовой объём пассажиро-перевозок может считаться постоянным и примерно равным 18 тыс. пасс. независимо от дальности, численности обслуживаемого населения и прочих параметров авиалинии. Причиной существования подобной «устойчивой» величины может быть сильное расслоение населения регионов России по уровням доходов в сочетании с отсутствием спроса на межрегиональные авиаперевозки у той части населения, которая составляет большинство с низким уровнем доходов. Другими словами, если существует устойчивый спрос на круглогодичное межрегиональное сообщение – то этот спрос формируется благодаря спросу со стороны ограниченного количества пассажиров с высоким уровнем доходов, попадающих даже не в последний дециль, а в последний перцентиль функции спроса на авиаперевозки (подробнее в [14]). Абсолютное же большинство населения при этом практически не пользуется услугами межрегиональных авиаперевозок, предпочитая более экономичные виды транспорта, особенно когда речь идет о поездках на расстояния в пределах 2000 км.

Косвенным подтверждением данной гипотезы (в силу малости выборки) может быть рассмотрение авиалиний II типа (табл. 2), на которых в 2019 году применялся 19-местный самолёт L-410UVP (L-410UVP-E20).

Таблица 2

Выборка авиалиний II типа, на которых в 2019 году применялся самолёт L-410UVP-E20

Авиалиния	Расст., км	$P_1 + P_2$, тыс. чел.	Регулярность в 2019 г., рейс/нед.	$N_{кр}^*$ 2019 г., шт./нед.	Регулярность в 2022 г., рейс/нед.	$N_{кр}^*$ 2022 г., шт./нед.
Сыктывкар – Архангельск	605	595	2–3	38÷57	-	-
Иркутск – Красный Чикой	370	627	2–3	38÷57	-	-
Томск – Абакан	491	741	3	57	-	-
Иркутск – Улан-Удэ	215	1050	7	133	4 (Ан-24/26)	182
Красноярск – Горно-Алтайск	638	1115	7	133	2 (ATR-72)	140

Продолжение таблицы 2

Авиалиния	Расст., км	$P_1 + P_2$, тыс. чел.	Регулярность в 2019 г., рейс/нед.	$N_{кр}^*$ 2019 г., шт./нед.	Регулярность в 2022 г., рейс/нед.	$N_{кр}^*$ 2022 г., шт./нед.
Томск – Барнаул	353	1201	3	57	-	-
Красноярск – Абакан	280	1228	1–3	19÷57	-	-
Новосибирск –Горно-Алтайск	403	1663	7	133	-	-
Уфа – Оренбург	309	1666	3	57	-	-
Казань – Оренбург	587	1770	3–5	57÷95	3 (CRJ200)	150
Новосибирск – Томск	205	2132	7	133	7** (ERJ170)	546

* – суммарное количество предоставляемых на линии кресел

** – возможная опечатка в нормативном документе, т. к. регулярность рейсов в 2021 году составляла 2 рейса самолёта ERJ170 в неделю (с суммарным количеством 156 кресел)

Из 11 авиалиний устойчивое существование к 2022 году сохранили только четыре, и как минимум для трёх из них, несмотря на уменьшение регулярности, суммарное количество провозных кресел в единицу времени не уменьшилось. То есть если бы закономерность (1) не выполнялась – сокращение количества рейсов в единицу времени приводило бы к уменьшению спроса и нецелесообразности использования ВС большей вместимости (Ан-24 и CRJ200 класса вместимости «50 мест», АTR-72 и ERJ170 класса вместимости «75 мест») при наличии на рынке ВС меньшей вместимости.

Таким образом, из формулы (1) следует, что для авиалиний II типа выбор вместимости регионального самолёта будет зависеть только от задаваемой регулярности рейсов. А значит, при увеличении требуемой регулярности перевозок до 0,5–1 рейса/сутки потребная вместимость регионального самолёта может быть пропорционально уменьшена до 20 и менее пассажиров. В части же остальных ЛТХ (дальность, крейсерская скорость, базирование) требования к ним останутся неизменными.

Тогда задача проектирования регионального самолёта в условиях ужесточения госрегулирования в части регулярности межрегиональных перевозок и частоты авиарейсов может быть схематически представлена следующим образом (рис. 8).

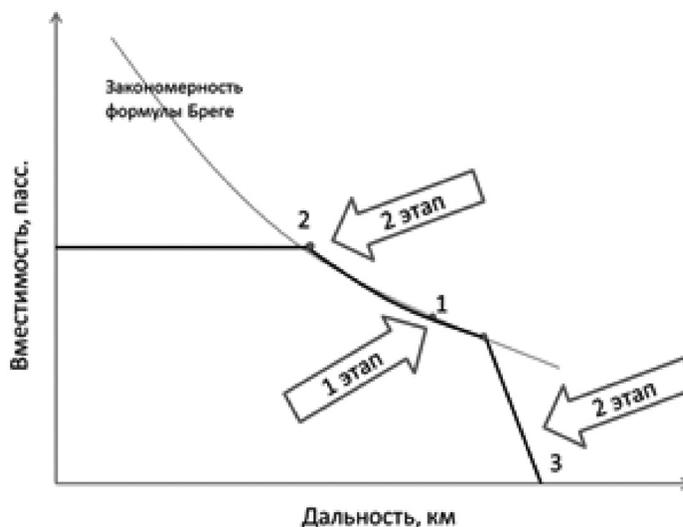


Рис. 8. Расчёт зависимости коммерческой нагрузки от дальности в процессе проектирования регионального самолёта

При требовании к дальности полёта 2,0–2,5 тыс. км с количеством пассажиров не менее 20 чел. (точка 1), при крейсерской скорости не ниже 500 км/ч и потребной длине ВПП не менее 1400 м, требуется найти такие решения (в том числе компоновочные), которые позволили бы снизить стоимость перевозок; при этом допустимо уменьшение максимальной дальности с максимальной нагрузкой, точка 2, и перегоночной дальности, точка 3, вследствие снижения размерности самолёта, если данные решения ведут к снижению стоимости ВС. Впрочем, данные требования, как уже было сказано, должны согласовываться с требованиями прочих возможных заказчиков ВС соответствующих типов.

Заключение

В настоящее время ключевым фактором, определяющим выбор требований к региональному самолёту, являются принципы государственного регулирования, реализованные через программу субсидирования межрегиональных полётов.

В существующих условиях (приемлемая регулярность межрегиональных рейсов на уровне «1 рейс в 3 суток») выработка требований к региональному самолёту через рассмотрение задачи повышения транспортной связности российских территорий не имеет смысла. Полученные по итогам настоящего исследования требования к региональному самолёту почти совпадают с требованиями Минпромторга России к разрабатываемому Уральским заводом гражданской авиации (УЗГА) самолёту ТВРС-44 в части вместимости (до 44 пасс.) и дальности полёта (2200–2500 км с 40 пасс.). Крейсерская скорость регионального самолёта должна составлять не менее 500 км/ч, а уточнённое значение данной характеристики можно получить по результатам оптимизации параметров самолёта по критерию минимума удельных затрат на перевозку пассажиров. Требования к ТВРС-44 касательно условий базирования на грунтовых ВПП и выбора ТВД в качестве силовой установки могли быть продиктованы необходимостью универсализации самолёта (охват некоторых МВЛ, нужды прочих потенциальных заказчиков, в т. ч. государственных структур и ведомств). Впрочем, в данном случае для удовлетворения противоречивых требований (базирование на ВПП с разным покрытием) может быть необходима проработка вопроса целесообразности/возможности проектирования как минимум двух модификаций одного семейства ВС.

В условиях же перспективной отечественной АТС, в которой реализуется регулярность межрегиональных полётов «1 рейс в сутки», целесообразно уменьшение вместимости до значения 19–20 кресел, которое может быть получено как минимально возможное физически при условии сохранения требования к дальности полёта с полезной нагрузкой 2200–2500 км.

Список источников

1. *Горяев Н. К.* Маркетинговое исследование цен на междугородные перевозки // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика. Материалы XLI Международной научно-практической конференции. Под редакцией Б. М. Ибраева. Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017. С. 142–146.
2. *Фридлянд А. А., Низаметдинов Р. Р.* Российские авиаперевозки: стоимость и динамика цен // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015. № 11. С. 59–66.
3. *Низаметдинов Р. Р.* Развитие пассажирских авиаперевозок через аэропорты Московского авиационного узла (МАУ) // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 26. С. 44–51.
4. *Страдомский О. Ю., Самойлов И. А., Лесничий И. В., Самойлов В. И., Кипчарский Д. А.* Мониторинг рынка авиаперевозок и парка воздушных судов российских авиакомпаний // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 32. С. 17–28.
5. *Низаметдинов Р. Р.* Структура парка региональных самолётов гражданской авиации Российской Федерации и его динамика на 2021–2025 гг. // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 37. С. 95–106.

6. Дутов А. В., Клочков В. В., Рождественская С. М. Измерение и нормирование транспортной связанности и качества транспортного обслуживания страны и её регионов / Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. М.: Изд. ИНИОН РАН, 2019. С. 43–48.
7. Клочков В. В., Рождественская С. М., Фридлянд А. А. Обоснование приоритетных направлений развития авиационной техники для местных воздушных линий // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2018. № 20. С. 93–102.
8. Балашов В. В., Смирнов А. В., Цейтлина Т. О. Формирование нечёткой нейросетевой модели «условий существования» внутрироссийских магистральных авиалиний // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 190(4). С. 10–15.
9. Катырев И. Я., Неймарк М. С., Шейнин В. М. и др. Проектирование гражданских самолётов: теории и методы, под ред. Г. В. Новожилова. М: Машиностроение, 1991. 666 с.
10. ТВРС-44 vs Ил-114-300 – «вездеход» против «паркетника». Сайт «Авиация России» [Электронный ресурс]. URL: <http://aviation21.ru/tvrs-44-vs-il-114-300-vezdexod-protiv-parketnika/> (дата обращения: 01.02.2022).
11. Клочков В. В., Топоров Н. Б., Егшин С. Ф. Интегрированные авиационные системы // Управление большими системами: сборник трудов. 2021. № 90. С. 94–120.
12. Егер С. М., Мишин В. Ф., Лисейцев Н. К. Проектирование самолётов. Издание третье, переработанное и дополненное. Под ред. С. М. Егера. М.: Машиностроение, 1983. 616 с.
13. Самойлов И. А., Лесничий И. В., Бородин М. А., Кипчарский Д. А. Выбор рациональных частот и пассажировместимости самолётов при моделировании авиаперевозок // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2011. № 1. С. 193–200.
14. Клочков В. В. Управление инновационным развитием гражданского авиастроения: монография. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. 282 с.

References

1. Goryaev N. K., Marketingovoe issledovanie tsen na mezhdugorodnye perevozki, in book *Innovatsionnye tekhnologii na transporte: obrazovanie, nauka, praktika. Materialy XLI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Innovative technologies in transport: education, science, practice. Materials of the international scientific and practical conference]*, edited by B. M. Ibraev, Almaty, Kazakh Academy of Transport and Communication n.a. M. Tynyshpaev publ., 2017, pp. 142–146. (In Russ.)
2. Fridlyand A. A., Nizametdinov R. R., Russian air transportation: cost and price dynamics, *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2015, no. 11, pp. 59–66. (In Russ.)
3. Nizametdinov R. R., The development of passenger traffic through the airports of the Moscow Aviation Hub (MAH), *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 26, pp. 44–51. (In Russ.)
4. Stradomskiy O. Yu., Samoylov I. A., Lesnichiy I. V., Samoylov V. I., Kipcharskiy D. A., Monitoring of the air transportation market and fleet of Russian airlines, *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2020, no. 32, pp. 17–28. (In Russ.)
5. Nizametdinov R. R., The structure of the fleet of regional civil aviation aircraft of the Russian Federation and its dynamics for 2021–2025, *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 37, pp. 95–106. (In Russ.)
6. Dutov A. V., Klochkov V. V., Rozhdesyvenskaya S. M., Izmerenie i normirovanie transportnoj svyazannosti i kachestva transportnogo obsluzhivaniya strany i ee regionov, in book *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya. Ezhegodnik [Russia: trends and prospects of development. Yearbook]*, Moscow, INION RAN Publ., 2019, pp. 43–48. (In Russ.)
7. Klochkov V. V., Rozhdestvenskaya S. M., Fridlyand A. A., The reasoning of priority directions of aircraft development for local airlines, *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2018, no. 20, pp. 93–102. (In Russ.)

8. Balashov V. V., Smirnov A. V., Tseytlina T. O., Building of the fuzzy neural network-based model of “existence conditions” for Russian domestic trunk air routes, *Scientific Bulletin of MSTU CA*, 2013, no. 190(4), pp. 10–15. (In Russ.)
9. Katyrev I. Ya., Neymark M. S., Sheynin V. M. etc., *Proektirovanie grazhdanskikh samoletov: teorii i metody [Civil aircraft design: theories and methods]*, edited by G. V. Novozhilov, Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991, 666 p. (In Russ.)
10. TVRS-44 vs Il-114-300 – “vezdekhod” protiv “parketnika” [TVRS-44 vs Il-114-300 – “all-terrain vehicle” vs. SUV], available at: <http://aviation21.ru/tvrs-44-vs-il-114-300-vezdexod-protiv-parketnika/> (accessed 01.02.2022). (In Russ.)
11. Klochkov V. V., Toporov N. B., Egoshin S. F., Integrated aviation systems, *Large-Scaled Systems Control*, 2021, no. 90, pp. 94–120. (In Russ.)
12. Eger S. M., Mishin V. F., Liseyev N. K., *Proektirovanie samoletov [Aircraft design]*, third edition, revised and expanded, edited by S. M. Eger, Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983, 616 p. (In Russ.)
13. Samoylov I. A., Lesnichiy I. V., Borodin M. A., Kipcharskiy D. A., Choice of rational frequencies and passengers capacity of planes at modeling of aviatransportations, *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2011, no. 1, pp. 193–200. (In Russ.)
14. Klochkov V. V. *Upravlenie innovatsionnym razvitiem grazhdanskogo aviaostroeniya: monografiya [Management of innovative development of civil aviation: monograph]*, Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2009, 282 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Егошин Сергей Федорович, главный специалист, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, sergey4791@yandex.ru

Клочков Владислав Валерьевич, доктор экономических наук, руководитель Департамента, Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского», Москва, Россия, klochkovvv@nrczh.ru

Authors information

Egoshin Sergey F., Chief specialist, National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, sergey4791@yandex.ru

Klochkov Vladislav V., Doctor of Sciences (Economics), Head of Department, National Research Center “Zhukovsky Institute”, Moscow, Russia, klochkovvv@nrczh.ru

Статья поступила в редакцию 13.09.2022; одобрена после рецензирования 15.11.2022; принята к публикации 23.11.2022.

The article was submitted 13.09.2022; approved after reviewing 15.11.2022; accepted for publication 23.11.2022.

Научная статья
УДК 629.735

ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЁТОВ ПО СЕГМЕНТАМ АВИАТРАНСПОРТНОГО РЫНКА

А. А. ФРИДЛЯНД, Р. Р. НИЗАМЕТДИНОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Объектами проведённого исследования являются сегменты российского авиатранспортного рынка и его региональные особенности. Цель исследования – оценка технического совершенства воздушных судов на основе показателей эффективности и рациональности выполнения ими целевых задач для различных сегментов рынка отечественной гражданской авиации. В процессе исследования были разработаны оценочные математические модели и апробированы расчёты показателей технического совершенства авиатехники в процессе её эксплуатации при выполнении целевых транспортных задач в различных сегментах российского авиатранспортного рынка: местные, региональные, среднемагистральные и дальнемагистральные авиоперевозки. Результаты исследования могут быть использованы при создании информационно-методической базы для обеспечения проведения качественной и количественной оценок влияния новых научно-технических решений в области авиастроения на целевую эффективность эксплуатации авиационной техники и инфраструктуры в рамках авиационной транспортной системы страны.

Ключевые слова: воздушное судно, эксплуатация авиационной техники, эффективность авиационной техники, техническое совершенство авиатехники, авиационная транспортная система страны, сегменты российского авиатранспортного рынка

Для цитирования: Фридлянд А. А., Низаметдинов Р. Р. Оценочные показатели и результаты анализа технического совершенства гражданских самолётов по сегментам авиатранспортного рынка // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 103–113.

ESTIMATED INDICATORS AND RESULTS OF THE ANALYSIS OF THE TECHNICAL PERFECTION OF CIVIL AIRCRAFT BY SEGMENTS OF THE AIR TRANSPORT MARKET

A. A. FRIDLJAND, R. R. NIZAMETDINOV

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. The objects of the study are segments of the Russian air transport market and its regional features, its purpose is to assess the technical perfection of aircraft based on performance indicators and the rationality of their performance targets for various segments of the domestic civil aviation market. In the course of the research, evaluation mathematical models were developed and calculations of indicators of technical perfection of aircraft equipment during its operation were tested when performing targeted transport tasks in various segments of the Russian air transport market: local, regional, medium-haul and long-haul air transportation. The results of the study can be used to create an information and methodological base to ensure qualitative and quantitative

assessments of the impact of new scientific and technical solutions in the field of aircraft engineering on the target efficiency of the operation of aviation equipment and infrastructure within the country's aviation transport system.

Keywords: passenger aircraft, operation of aviation equipment, efficiency of aviation equipment, technical perfection of aircraft, aviation transport system of the country, segments of the Russian air transport market

For citation: Fridlyand A. A., Nizametdinov R. R., Estimated indicators and results of the analysis of the technical perfection of civil aircraft by segments of the air transport market, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 103–113. (In Russ.)

Введение

Оценка технического совершенства (ТС) авиационной техники (авиатехники) – важный элемент анализа качества конечного продукта авиационной промышленности – воздушных судов (ВС), передаваемых для транспортного использования в эксплуатационную отрасль – гражданскую авиацию (ГА). Результаты анализа используются как производителями авиатехники при формировании (согласовании) технических заданий к разработке новой авиатехники (в целях обеспечения её соответствия современным достижениям научно-технического прогресса), так и организациями эксплуатационной отрасли при формировании (согласовании) технических заданий к новой авиатехнике и выборе направлений развития состава эксплуатируемого парка ВС.

В связи с тем, что ГА ведёт отраслевую систему государственного статистического наблюдения и формирует на регулярной основе в динамике большие информационные массивы реальных данных об эксплуатационных характеристиках авиатехники, проявляющихся в процессе её производственной эксплуатации (транспортного коммерческого использования на российском авиатранспортном рынке), значительный интерес представляет оценка ТС различных типов авиатехники на основе доступной, надёжной и реалистичной эксплуатационной статистики ГА.

Цель исследования

Цель выполненного исследования – разработка методики, состава оценочных показателей, формул их расчёта и анализ полученных количественных оценок ТС авиатехники в процессе её эксплуатации при выполнении целевых транспортных задач в различных сегментах авиационной транспортной системы страны.

Метод исследования

В качестве оценочных показателей ТС ВС, определяемых на основе статистики, формируемой при эксплуатационном использовании конкретного типа ВС на маршрутной сети ГА, в настоящем исследовании рассматриваются:

- основной показатель (минимизируемый) K_1 – показатель технического совершенства ВС по расходу топлива, размерность [кг топлива / (кг полётной массы ВС·км)].

Показатель отражает расход авиатоплива (в кг) на 1 км полёта, приходящийся на 1 кг полётной массы ВС, в среднем, в условиях транспортного использования ВС на маршрутной сети ГА России. Значение показателя зависит от аэродинамического качества конструкции и эффективности весового проектирования ВС, совершенства авиадвигателей ВС по расходу авиатоплива.

Более высоким ТС (т. е. спроектированным на основе более качественных и эффективных технических решений) обладает тип ВС с меньшим значением показателя K_1 ;

- дополнительный показатель (минимизируемый) K_2 – показатель весового совершенства конструкции ВС, определяемый на основе проектных данных технической документации по

типу ВС как соотношение массы пустого снаряжённого ВС и предельной массы коммерческой нагрузки ВС.

Значение показателя зависит от аэродинамического качества конструкции и эффективности весового проектирования ВС, совершенства авиадвигателей ВС по расходу авиатоплива.

Более высоким ТС (т. е. спроектированным на основе более качественных и эффективных технических решений) обладает тип ВС с меньшим значением показателя K_2 .

В настоящей работе мы не исследуем аспекты надёжности и ресурсных характеристик эксплуатируемых ВС, которые также являются характеристиками их технического совершенства. Указанные аспекты технического совершенства рассматриваются, например, в трудах Шапкина В. С., Чинючина Ю. М., Погосяна М. А., Арепьева А. Н. и др. [1–7].

В данном исследовании мы полагаем, что при наличии действующего Сертификата лётной годности ВС соответствует установленным отраслевым требованиям к надёжности, безопасности полёта и располагает необходимым ресурсом.

Расчет значения K_1 осуществляется по формулам:

$$K_1 = -\frac{1}{L_p} \ln \left(1 - \frac{G_{тр}}{G_0} \right),$$

или

$$K_1 = -\frac{1}{L_{\max}} \ln \left(1 - \frac{G_{\max}}{G_0} \right),$$

где:

L_{\max} – предельная (максимальная) дальность полёта ВС при полной заправке (в пределах ёмкости топливных баков), в км, и с коммерческой загрузкой в пределах максимальной взлётной массы;

L_p – предельная дальность полёта, км, при максимальной коммерческой загрузке и с запасом авиационного топлива в пределах максимальной взлётной массы;

$G_{тр}$ – масса расходуемого топлива на расчётную дальность полёта (с полной коммерческой загрузкой), кг;

G_{\max} – масса расходуемого топлива на максимальную дальность полёта, кг, с коммерческой загрузкой в пределах максимальной взлётной массы;

G_0 – масса заправленного и загруженного ВС (максимальная взлётная масса), кг;

$$G_0 = G_k + G_{псн} + G_{тр} + G_{ан};$$

$$G_{\max} = G_0 [1 - \exp(-K_1 L_{\max})],$$

где G_k – масса коммерческой нагрузки ВС (предельная), кг;

$G_{ан} = K_1 G_0 V_p$ – аэронавигационный запас топлива (часовой), кг;

$G_{псн} = K_2 G_k$ – масса пустого снаряжённого ВС, кг;

$G_{тр} = G_0 [1 - \exp(-K_1 L_p)]$;

V_p – средняя рейсовая скорость полёта, км/ч.

Расчет показателя K_2 осуществляется по формуле:

$$K_2 = G_{псн} / G_k. \quad (1)$$

Если расчёт производится для проектируемых ВС или тип ВС отсутствует в эксплуатационной статистике, то часовой расход авиатоплива $G_{\text{тчас}}$ может рассчитываться по формуле:

$$G_{\text{тчас}} = G_{тр} V_p / L_p.$$

Модель расчёта среднего часового расхода топлива по парку конкретного типа ВС (на уровне отрасли, для авиакомпании или группы авиакомпаний):

$$G_{\text{тчас}} = K_1 G_{\text{о-полет}} V_p,$$

где $G_{\text{о-полет}}$ – средняя общая масса ВС в полете, кг:

$$G_{\text{о-полет}} = G_0 - (1 - K_3) G_k - 0,5 G_{\text{тчас}} L_{\text{ср}} / V_p;$$

K_3 – коэффициент коммерческой загрузки рейсов;

$L_{\text{ср}}$ – средняя дальность полёта ВС на маршрутной авиасети.

С учётом вышеизложенного можно предложить еще один вариант оценки показателя K_1 :

$$K_1 = \frac{G_{\text{тчас}}}{G_{\text{о-полет}} V_p}. \tag{2}$$

В табл. 1–3 приведены расчётные показатели по нескольким типам ВС различного класса, которые на сегодняшний день эксплуатируются российскими авиакомпаниями. В качестве исходной информации для расчёта можно использовать данные отраслевой статистики [8–10], при этом основными источниками являются:

- отраслевая форма госстатотчетности 32-ГА «Сведения о парке воздушных судов» за 2021 год;

- отраслевая форма госстатотчетности 33-ГА «Сведения о работе воздушных судов» за 2021 год.

Алгоритм расчёта показателей по типам ВС, представленных в табл. 1–3, приведён ниже.

$G_{\text{псн}}$ – данные лётно-технических характеристик ВС;

$G_{\text{тчас}}$ – расход авиатоплива, тонн (столбец 14 формы 32-ГА), делённый на налёт часов на всех видах рейсов (столбец 13 формы 32-ГА), с учётом отсутствия налёта часов на авиаработах;

T_p – (средняя продолжительность рейса, ч) – налёт часов на всех видах рейсов (столбец 13 формы 32-ГА), делённый на количество вылетов ВС на всех видах рейсов (столбец 9 формы 32-ГА), с учётом отсутствия налёта часов на авиаработах;

G_0 – данные лётно-технических характеристик ВС.

Таблица 1

Значения $G_{\text{псн}}$, $G_{\text{тчас}}$, T_p , G_0 для ВС различного класса

Тип ВС	$G_{\text{псн}}$	$G_{\text{тчас}}$	T_p	G_0
Самолёты местных воздушных линий				
Ан-28	3,900	0,332	1,666	6,500
L-410	4,050	0,307	1,492	6,600
ДНС-6	3,121	0,240	1,008	5,670
Региональные пассажирские самолёты				
Ан-24	13,489	0,942	2,431	21,000
CRJ-200	13,835	1,316	1,826	21,523
EMB170	21,14	1,757	1,520	35,990

Продолжение таблицы 1

Тип ВС	$G_{\text{псн}}$	$G_{\text{тчас}}$	T_p	G_0
Ближне- и среднемагистральные пассажирские самолёты				
Як-42	34,58	2,761	2,546	57,500
SSJ-100	24,25	2,196	1,732	45,800
A320	42,6	2,621	2,584	76,000
B757-200	58,44	3,611	3,592	115,900
Дальнемагистральные пассажирские самолёты				
B767-300	86,07	5,020	4,332	186,880
A330-300	122,325	5,606	4,551	242,000
B777-300	157,2	7,578	5,838	351,534

$G_{\text{полет}} = G_{\text{тчас}} T_p$ – средний расход топлива за полёт на транспортной работе, т;

K_3 – тоннокилометраж всего на внутренних воздушных линиях и международных воздушных линиях (сумма столбцов 7 и 15 формы 33-ГА), делённый на тоннокилометраж предельный на внутренних воздушных линиях и международных воздушных линиях (сумма столбцов 9 и 17 формы 33-ГА);

$L_{\text{ср}}$ – тоннокилометраж всего на внутренних воздушных линиях и международных воздушных линиях (сумма столбцов 7 и 15 формы 33-ГА) делённый на сумму: общее количество перевезённых почты и грузов на внутренних воздушных линиях и международных воздушных линиях (сумма столбцов 6 и 14 формы 33-ГА) плюс количество перевезённых пассажиров на внутренних воздушных линиях и международных воздушных линиях (сумма столбцов 5 и 13 формы 33-ГА), умноженное на 0,09; результат деления умножается на 1000.

Таблица 2

Значения $G_{\text{полет}}$, K_3 , $L_{\text{ср}}$ для ВС различного класса

Тип ВС	$G_{\text{полет}}$	K_3	$L_{\text{ср}}$
Самолёты местных воздушных линий			
Ан-28	0,553	0,567	494,479
L-410	0,458	0,582	465,802
DHC-6	0,242	0,855	292,366
Региональные пассажирские самолёты			
Ан-24	2,290	0,920	1141,337
CRJ-200	2,403	0,678	1528,720
EMB170	2,671	0,778	1026,937
Ближне- и среднемагистральные пассажирские самолёты			
Як-42	7,031	0,709	1815,756
SSJ-100	3,805	0,841	1429,302
A320	6,773	0,665	2023,072
B757-200	12,972	0,826	2911,316

Продолжение таблицы 2

Тип ВС	$G_{\text{толет}}$	K_3	$L_{\text{ср}}$
Дальнемагистральные пассажирские самолёты			
B767-300	21,748	0,697	3526,264
A330-300	25,513	0,608	3806,154
B777-300	44,241	0,567	5296,182

G_k – данные лётно-технических характеристик ВС;

$V_p = L_{\text{ср}}/T_p$; $G_{\text{о-полет}} = G_0 - G_{\text{толет}}/2 - ((1 - K_3)G_k)$;

$W_{\text{ч}}$ (среднемесячный налёт на одно среднесписочное ВС, ч/мес.) – среднемесячный налёт часов на всех видах рейсов (столбец 13 формы 32-ГА делённый на 12 мес.), делённый на среднесписочную численность ВС (столбец 6 формы 32-ГА делённый на 365 дней), с учётом отсутствия налёта часов на авиаработах.

Таблица 3

Значения $G_{\text{псн}}$, G_k , V_p , $G_{\text{о-полет}}$ для ВС различного класса

Тип ВС	$G_{\text{псн}}$	G_k	V_p	$G_{\text{о-полет}}$
Самолёты местных воздушных линий				
Ан-28	3,900	1,750	297	5,466
L-410	4,050	1,800	312	5,618
DHC-6	3,121	1,375	290	5,350
Региональные пассажирские самолёты				
Ан-24	13,489	5,500	469	19,417
CRJ-200	13,835	6,124	837	18,350
EMB170	21,14	9,100	676	32,638
Ближне- и среднемагистральные пассажирские самолёты				
Як-42	34,58	14,500	713	49,768
SSJ-100	24,25	12,245	825	41,948
A320	42,6	16,600	783	67,049
B757-200	58,44	25,970	810	104,906
Дальнемагистральные пассажирские самолёты				
B767-300	86,07	40,230	814	163,819
A330-300	122,325	45,900	836	211,252
B777-300	157,2	66,050	907	300,787

Примеры расчёта показателей K_1 и K_2 приведены в табл. 4. Так как информация об основных лётно-технических и массовых характеристиках по исследуемым эксплуатируемым типам ВС известна, то показатель K_1 можно рассчитать по формуле (2), где все показатели определяются по данным статистической отчётности использования авиапарка на транспортной работе. Показатель K_2 рассчитан по формуле (1).

Для расчёта показателя K_1 по каждому рассмотренному типу ВС различного класса использовались данные форм 32-ГА и 33-ГА (табл. 1–3) совокупности авиакомпаний, которые в 2021 г. на анализируемом типе ВС осуществляли только авиатранспортную деятельность (без

налёта часов на авиаработах) и в то же время эффективно её эксплуатировали (налёт часов на среднесписочное ВС близок к среднетрасловому или выше, парк по рассматриваемому типу ВС не менее трёх единиц). Среднемесячный налёт на одно среднесписочное ВС рассматриваемого типа в рассматриваемых авиакомпаниях также приведён в табл. 4.

Таблица 4

Примеры расчёта показателей (K_1 и K_2) технического совершенства ВС различного класса

Тип ВС	Среднемесячный налёт на одно среднесписочное ВС, ч/мес.	K_1	K_2	По данным отраслевой статистичности авиакомпаний
Самолёты местных воздушных линий				
Ан-28	65,19	20,47	2,2	СиЛА
L-410	113,50	17,49	2,3	СиЛА
ДНС-6	107,11	15,45	2,3	Аврора
Среднее значение		17,80	2,2	
Региональные пассажирские самолёты				
Ан-24	64,99	10,34	2,5	ИрАэро
CRJ-200	178,55	8,57	2,3	ЮВТ АЭРО
EMB170	204,69	7,97	2,3	Сибирь
Среднее значение		8,96	2,3	
Ближне- и среднемагистральные пассажирские самолёты				
Як-42	50,66	7,78	2,4	КрасАвиа
SSJ-100	261,63	6,35	2,0	Азимут
A320	296,32	4,99	2,6	Уральские Авиалинии
B757-200	124,53	4,25	2,3	Азур эйр
Дальнемагистральные пассажирские самолёты				
B767-300	147,35	3,76	2,1	Азур эйр
A330-300	187,98	3,17	2,7	Аэрофлот
B777-300	290,08	2,78	2,4	Аэрофлот
Среднее значение		3,24	2,4	

Результаты

Средние значения показателя K_2 по классам ВС приведены на рис. 1.

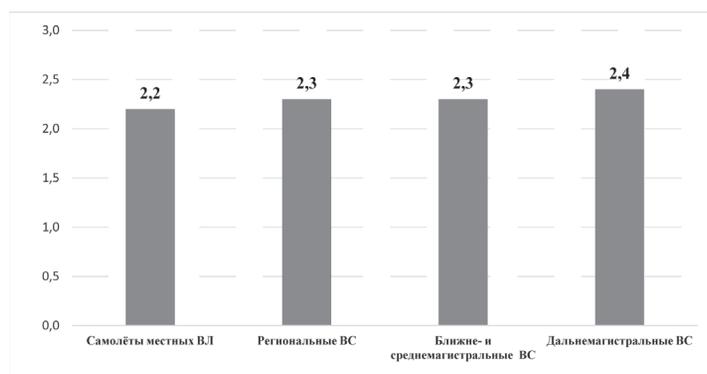


Рис. 1. Средние оценки K_2 по классам ВС (размерность показателя: безразмерное соотношение)

Как видно из табл. 4 и рис. 2, наилучшими значениями показателя K_1 обладают дальнемагистральные ВС.

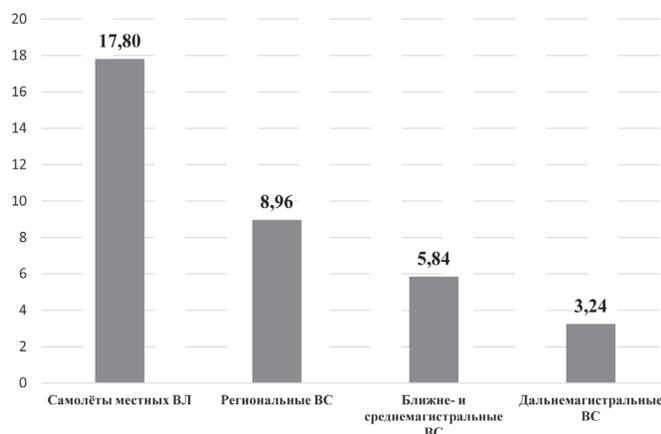


Рис. 2. Значения показателя K_1 ТС по расходу авиатоплива ВС различного класса

В классе самолётов местных воздушных линий (ВЛ) наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС ДНС-6 (значение K_1 на уровне $15,45 \cdot 10^{-5}$) – рис. 3.

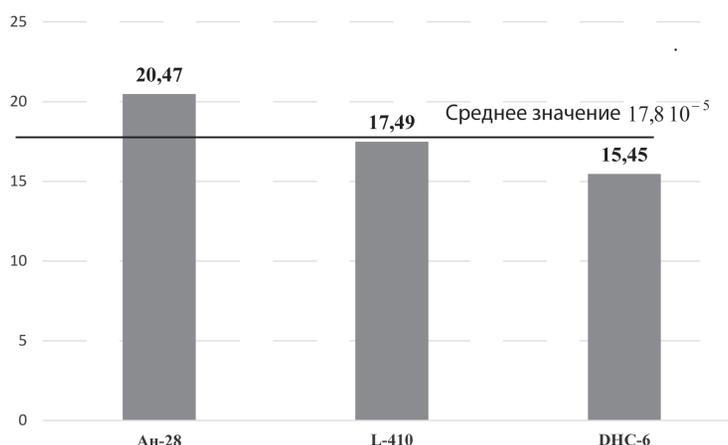


Рис. 3. Значения показателя K_1 ТС по расходу авиатоплива для местных ВС

В классе региональных ВС наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС ЕМВ 170 (значение K_1 на уровне $7,97 \cdot 10^{-5}$) – рис. 4.

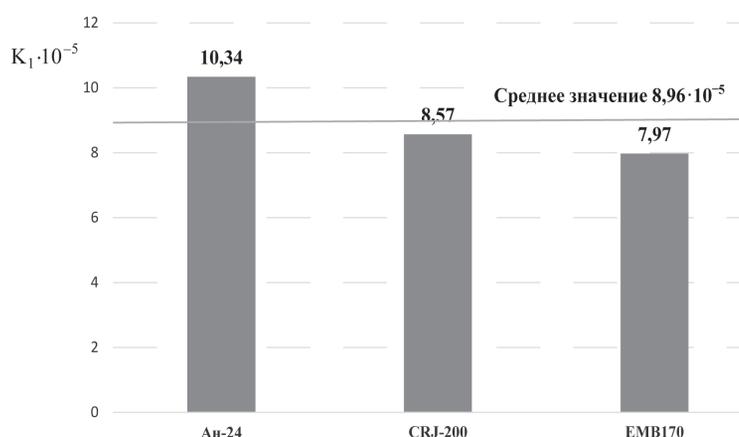


Рис. 4. Значения показателя K_1 ТС по расходу авиатоплива для региональных ВС

В классе ближне- и среднемагистральных ВС наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС B757-200 (значение K_1 на уровне $4,25 \cdot 10^{-5}$) – рис. 5.

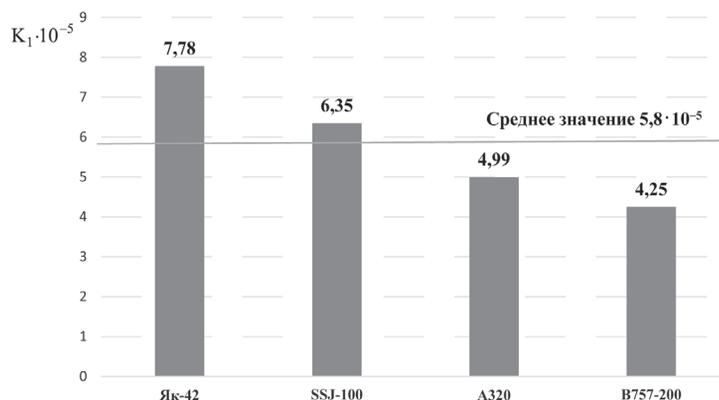


Рис. 5. Значения показателя K_1 ТС по расходу авиатоплива для магистральных ВС

В классе дальнемагистральных ВС наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС B777-300 (значение K_1 на уровне $2,78 \cdot 10^{-5}$) – рис. 6.

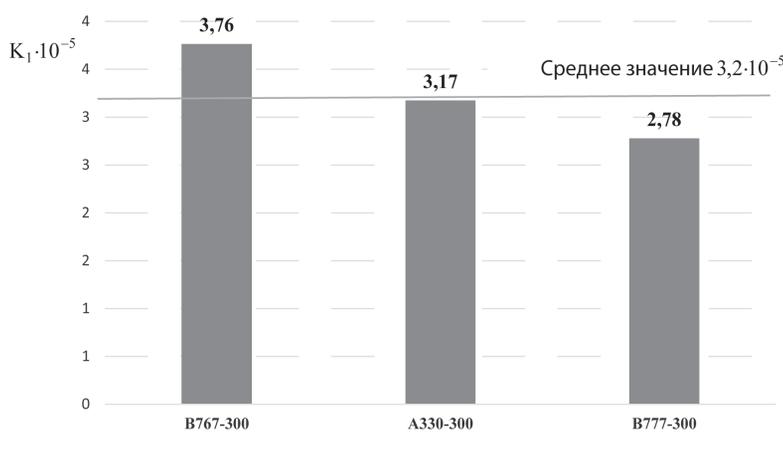


Рис. 6. Значения показателя K_1 ТС по расходу авиатоплива для дальнемагистральных ВС

Заключение

В статье предложена методика и расчётные формулы оценки показателей технического совершенства ВС по расходу топлива и по массе конструкции авиационной техники на основе её статистических эксплуатационных характеристик для ВС, осуществляющих местные, региональные, среднемагистральные и дальнемагистральные авиаперевозки.

Применение методики предусматривает использование данных об основных лётно-технических характеристиках ВС и статистической информации по формам государственного статистического наблюдения 32-ГА «Сведения о парке воздушных судов» и 33-ГА «Сведения о работе воздушных судов».

В классе самолётов местных ВЛ наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС ДНС-6 (значение K_1 на уровне $15,45 \cdot 10^{-5}$).

В классе региональных ВС наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС ЕМВ 170 (значение K_1 на уровне $7,97 \cdot 10^{-5}$).

В классе ближне- и среднемагистральных ВС наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС B757-200 (значение K_1 на уровне $4,25 \cdot 10^{-5}$).

В классе дальнемагистральных ВС наибольшим техническим совершенством по показателю K_1 обладает ВС В777-300 (значение K_1 на уровне $2,78 \cdot 10^{-5}$).

Среднее значение показателя технического совершенства по массе конструкции ВС для эксплуатируемых в настоящее время в Российской Федерации типов пассажирских ВС изменяется в достаточно узком диапазоне и составляет: для самолётов местных ВЛ – 2,2; для региональных ВС – 2,3; для ближне- и среднемагистральных ВС – 2,3; для дальнемагистральных ВС – 2,4.

Список источников

1. *Погосян М. А.* Проектирование самолётов / Под ред. М. А. Погосяна. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 2018. 864 с.
2. *Чинючин Ю. М., Ойдов Н.* Мониторинг ресурсного состояния парка магистральных самолётов в задачах поддержания их лётной годности в условиях российских и монгольских авиакомпаний. Москва: МГТУ ГА, 2020, 124 с.
3. *Арепьев А. Н., Громов М. С., Шапкин В. С.* Вопросы эксплуатационной живучести авиаконструкций. Москва: Воздушный транспорт, 2002, 424 с.
4. *Кириакиди С. К., Сатин В. А. и др.* Надёжность летательных аппаратов. Издательство ВГТУ, 2009, 107 с.
5. *Писаренко В. Н.* Техническое обслуживание воздушных судов как система поддержания лётной годности гражданской авиационной техники. Издательство СамНЦ РАН, 2017, 170 с.
6. *Кирпичев И. Г., Кулешов А. А., Шапкин В. С.* Основы построения и функциональности развития информационно-аналитической системы мониторинга жизненного цикла компонентов воздушных судов. М.: ГосНИИ ГА, 2008. 228 с.
7. *Дутов А. В., Шапкин В. С., Гальперин С. Б., Клочков В. В., Фридлянд А. А.* О мерах по повышению конкурентоспособности авиационной техники российского производства // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2017. № 16. С. 7–14.
8. Отраслевая форма госстатотчетности 32-ГА за 2021 г. «Сведения о парке воздушных судов», утверждённая постановлением Росстата от 18.07.2007 № 57.
9. Отраслевая форма госстатотчетности 33-ГА за 2021 г. «Сведения о работе воздушных судов», утверждённая постановлением Росстата от 18.07.2007 № 57.
10. Отраслевая форма госстатотчетности 12-ГА за 2021 г. «Сведения о перевозках пассажиров и грузов», утверждённая постановлением Росстата от 18.07.2007 № 57.

References

1. Pogosyan M. A., *Proektirovanie samoletov [Aircraft design]*, 5th ed., reprint. and add., Moscow, Mashinostroenie Publ., 2018, 864 p. (In Russ.)
2. Chinyuchin Yu. M., Oidov N., *Monitoring of the resource status of the fleet of mainline aircraft in the tasks of maintaining their airworthiness in the conditions of Russian and Mongolian airlines*, Moscow, MSTU CA Publ., 2020, 124 p. (In Russ.)
3. Arepyev A. N., Gromov M. S., Shapkin V. S., *Questions of operational survivability of aircraft structures*, Vozdushniy transport Publ., 2002, 424 p. (In Russ.)
4. Kiriakidi S. K., Satin V. A. et al., *Reliability of aircraft*, VSTU Publ., 2009, 107 p. (In Russ.)
5. Pisarenko V. N., *Aircraft maintenance as a system for maintaining the airworthiness of civil aviation equipment*, SamSC RAS Publ., 2017, 170 p. (In Russ.)
6. Kirpichev I. G., Kuleshov A. A., Shapkin V. S., *Fundamentals of the construction and functionality of the development of an information and analytical system for monitoring the life cycle of aircraft components*, Moscow, GosNII GA Publ., 2008, 228 p. (In Russ.)

7. Dutov A. V., Shapkin V. S., Galperin S. B., Klochkov V. V., Fridlyand A. A., On measures to improve the competitiveness of Russian-made aviation equipment, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2017, no. 16, pp. 7–14. (In Russ.)
8. Otraselevaya forma gosstatotchetnosti 32-GA “Svedeniya o parke vozdushnykh sudov” 2021. (In Russ.)
9. Otraselevaya forma gosstatotchetnosti 33-GA “Svedeniya o rabote vozdushnykh sudov” 2021. (In Russ.)
10. Otraselevaya forma gosstatotchetnosti 12-GA “Svedeniya o perevozkakh passazhorov i gruzov” 2021. (In Russ.)

Информация об авторах

Фридлянд Александр Абрамович, доктор экономических наук, директор Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, info@aeroprogress.ru

Низаметдинов Руслан Равилевич, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, Ruslan994@mail.ru

Authors information

Fridlyand Alexander A., Doctor of Sciences (Economics), The Director of The Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, info@aeroprogress.ru

Nizametdinov Ruslan R., Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, Ruslan994@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 10.11.2022; одобрена после рецензирования 01.12.2022; принята к публикации 07.12.2022.
The article was submitted 10.11.2022; approved after reviewing 01.12.2022; accepted for publication 07.12.2022.*

Обзорная статья

УДК 656.7.052: 623.746-519(100)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЕДИНОЕ ВОЗДУШНОЕ ПРОСТРАНСТВО

А. Ю. ЯБЛОКОВ, А. В. МАКСИМЕНКО, Е. В. ШУВАЛОВА

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Беспилотные авиационные системы (БАС) формируют быстрорастущий сегмент авиационных услуг, обладающий большим экономическим потенциалом. Стремительное развитие рынка БАС требует от национальных правительств и отраслевых международных организаций в приоритетном порядке решать вопросы технологического обеспечения и нормативного регулирования интеграции БАС в воздушное пространство. В статье представлен обзор деятельности ИКАО, FAA, NASA, международных центров по стандартизации и других структур в части организации воздушного движения БАС. Представлена история развития проекта UTM и его аналогов в различных странах: U-SPACE, UOMS и др. Сформулированы рекомендации по адаптации лучших мировых практик и их применению в интересах развития отечественной отрасли БАС.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, беспилотные воздушные суда, аэромобильность, управление воздушным движением, организация воздушного движения, единое воздушное пространство

Для цитирования: Яблоков А. Ю., Максименко А. В., Шувалова Е. В. Международный опыт внедрения беспилотных авиационных систем в единое воздушное пространство // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 114–124.

INTERNATIONAL EXPERIENCE IN THE INTRODUCTION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS INTO A SINGLE AIRSPACE

A. YU. YABLOKOV, A. V. MAKSIMENKO, E. V. SHUVALOVA

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. Unmanned aircraft system (UAS) forming a fast-growing segment of aviation services with great economic potential. The rapid development of the industry requires national governments and international organizations to prioritize the technological and regulatory support of the UAS integration into shared airspace. The article provides an overview of the activities of ICAO, FAA, NASA, international standardization centers and other structures in terms of UAS traffic management. The development of the UTM project and its analogues in various regions (U-SPACE, UOMS, etc.) is reviewed. Recommendations made for adapting the global best practices and their application in the interests of the Russian UAS industry.

Keywords: unmanned aircraft systems, unmanned aerial vehicle, best practice, advanced air mobility, air traffic management

For citation: Yablokov A. Yu., Maksimenko A. V., Shuvalova E. V., International experience in the introduction of unmanned aircraft systems into a single airspace, *The Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 114–124. (In Russ.)

Введение

Эксперты Международной ассоциации беспилотных транспортных систем в 2013 году пришли к выводу, что экономика США ежегодно теряет порядка 10 млрд долл. из-за того, что БАС не интегрированы в национальную систему воздушного пространства США (National Airspace System, NAS) [1]. В 2020 году компания Ernst&Young провела исследование «Развитие рынка беспилотных летательных аппаратов», участие в котором приняли крупнейшие российские компании, эксплуатирующие БАС. В данном исследовании говорится, что потенциал использования БАС в России – более \$1 млрд в год. При этом, более 60 % потенциала БАС приходится на полёты за пределами прямой видимости (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS) [2]. Согласно прогнозам Национального управления по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА) (National Aeronautics and Space Administration, NASA), к 2040 году рынок экосистемы городской аэромобильности (Urban Air Mobility, UAM) достигнет 1,5 трлн. долл. США [3]. Схожие цифры приводит американский финансовый конгломерат Morgan Stanley: в базовом сценарии к 2040 году рынок достигнет отметки 1 трлн долл. США [4].

Перспективы рынка заинтересовали не только стартапы и исследовательские центры, но и крупные автомобиль- и авиастроительные компании. Например, в 2019 году автопроизводитель Hyundai решил выйти на рынок городских авиаперевозок – компания займётся разработкой собственного летающего транспорта. В 2020 году компания Hyundai объявила, что инвестирует 1,5 млрд долл. США в проекты новой аэромобильности в Великобритании [5].

В ответ на потребности бизнеса и государства мировым сообществом проводится масштабная работа по решению задачи интеграции БАС в национальное воздушное пространство. Восполняются технологические пробелы, реализуются пилотные проекты, создается нормативная база. В США, ЕС, Китае и других странах мира стали развивать системы организации воздушного движения (ОрВД) БАС. Задача решается системно: поддерживается глобальным и региональными центрами по стандартизации, создаются условия для интеграции БАС.

Активность Международной организации гражданской авиации (ИКАО) [6]

ИКАО проводит работу по совершенствованию соответствующих международных стандартов и рекомендуемых практик (Standards and Recommended Practices, SARPS), правил авионавигационного обслуживания (Procedures for Air Navigation Services, PANS), руководств, циркуляров, инструктивных материалов и типовых правил эксплуатации.

Аэронавигационная комиссия ИКАО в 2007 году одобрила создание Исследовательской группы по БАС (Unmanned Aircraft Systems Study Group, UASSG), которой было поручено разработать нормативную базу, необходимую для поддержки внедрения гражданских БАС в существующую систему ОрВД. Это стало признанием растущего значения БАС для государств и международных организаций, особенно в контексте их потенциальной опасности для безопасности полётов, авиационной и кибербезопасности, что требовало рассмотрения данного вопроса на системном и методическом уровне.

В 2012 году были приняты «нулевой», заложивший основу пакет поправок, касающийся дистанционно пилотируемых авиационных систем (ДПАС), к SARPS Приложения 2 «Правила полётов» и Приложения 7 «Национальные и регистрационные знаки воздушных судов» к Чикагской конвенции.

В 2014 году при Аэронавигационной комиссии была учреждена Группа экспертов по ДПАС (Remotely Piloted Aircraft Systems Panel, RPASP) для продолжения работы, начатой UASSG, на постоянной и специализированной основе, направленной на интеграцию ДПАС в контролируемое воздушное пространство.

Совет ИКАО в 2021 году принял первый значительный пакет касающихся ДПАС поправок к SARPS Приложения 1 «Выдача свидетельств авиационному персоналу», Приложения 2 «Правила

полётов», Приложения 8 «Лётная годность воздушных судов» и Приложения 10 «Авиационная электросвязь» к Чикагской конвенции. В этом же году ИКАО завершена работа над набором Типовых правил регулирования эксплуатации БАС (UAS Model Regulations) для содействия государствам в разработке национальных систем регулирования в данной области.

Второй пакет связанных с ДПАС изменений SARPS, работу над которым планируется завершить к 2026 году, затронет как упомянутые Приложения 2, 8 и 10, так и ряд других, а именно: Приложение 6 «Эксплуатация воздушных судов», Приложение 11 «Обслуживание воздушного движения», Приложение 12 «Поиск и спасание», Приложение 14 «Аэродромы» и Приложение 19 «Управление безопасностью полётов».

Предполагается, что все 19 Приложений к Чикагской конвенции (за исключением Приложения 5 – «Единицы измерения, подлежащие использованию в воздушных и наземных операциях») в итоге потребуют значительных или незначительных изменений для обеспечения безопасной, надёжной и эффективной интеграции ДПАС в существующие глобальные авиационные системы.

Международные центры по стандартизации

Основная нормативно-техническая база разрабатывается на площадках EUROCAE (The European Organisation for Civil Aviation Equipment) и RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics), которые ведут в основном согласованную политику. Поэтому развитие процесса интеграции БАС в национальное воздушное пространство во многом связано с планом разработки стандартов рабочей группы по БАС EUROCAE (WG-105) и специального комитета по БАС RTCA (SC-228) (рис. 1).

Специальным комитетом RTCA SC-228 подготовлены следующие документы (для больших БАС):

- DO-377 «Стандарты минимальных характеристик авиационных систем для систем связи C2, поддерживающих работу беспилотных авиационных систем в воздушном пространстве США». В сентябре 2021 г. вышла редакция с обновлениями – DO-377A (объём документа – 738 листов);
- DO-362 «Стандарты минимальных характеристик линии контроля и управления C2 (наземной)». В декабре 2020 г. вышла обновленная редакция – DO-362A (объём документа – 676 листов);
- DO-365 «Стандарты минимальных характеристик систем предупреждения столкновений (Detect and Avoid, DAA)». В марте 2021 г. вышла обновленная редакция – DO-362B (объём документа – 1008 листов);
- DO-366 «Стандарты минимальных характеристик систем наблюдения воздух-воздух». В сентябре 2020 г. вышла обновленная редакция – DO-366A (объём документа – 308 листов);
- DO-381 «Стандарты минимальных характеристик систем предупреждения столкновений наземного базирования». В марте 2021 году была завершена работа над документом (объём документа – 1008 листов).

Рабочая группа EUROCAE WG-105 ведёт работу над следующими документами:

- ED-282 «Минимальные эксплуатационные требования по электронной идентификации БАС»;
- ED-270 «Минимальные эксплуатационные требования по геокейджингу БАС»;
- ED-269 «Минимальные эксплуатационные требования по геофенсингу»;
- ED-265 «Минимальные эксплуатационные требования к линии контроля и управления (C3) БАС»;
- ED-267 «Описание процедур и среды для обнаружения и предупреждения столкновений при выполнении операций в воздушном пространстве очень низких высот»;

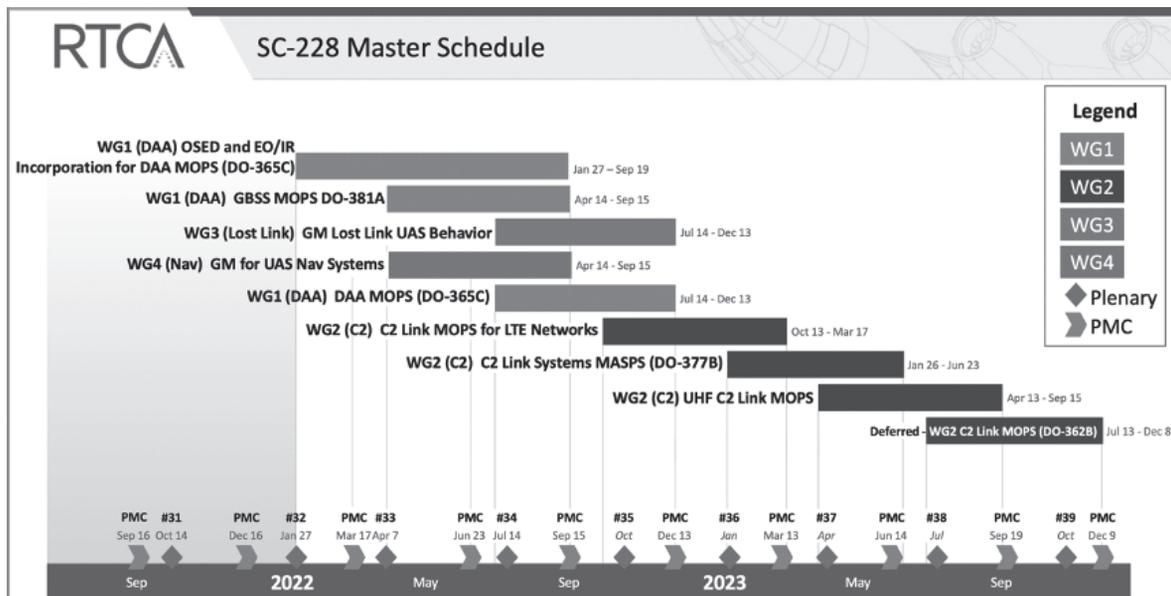


Рис. 1. План работ специального комитета RTCA SC-228

- ED-271 «Минимальные эксплуатационные требования к системам предупреждения столкновений в классах воздушного пространства А и С при ППП»;
- ED-280 «Руководство по анализу безопасности БАС специальной категории»;
- и др.

Активность NASA-FAA. Проекты UTM-UAM-AAM

В 2013 году НАСА приступило к разработке концепции, получившей позднее название Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM). Цель – создание системы и инфраструктуры для интеграции БАС в национальную систему воздушного пространства США [3].

По определению Федерального управления гражданской авиации США (Federal Aviation Administration, FAA) «OpВД БАС – это экосистема управления движением для неконтролируемых операций, которая отделена от системы OpВД, но дополняет ее» [7].

В разработке проекта UTM участвовали более 100 компаний и научных центров, среди которых: Amazon, GE Global Research, Google, Inc., Intel Corporation, Lockheed Martin Corp. Information Systems and Global Solutions, Uber Technologies, Inc., Verizon, Wal-Mart, Inc. Согласно данным НАСА, стартапам, работающим в сфере БАС и UTM, совокупно удалось привлечь порядка 3 млрд долл. США инвестиций [8].

В проекте использовался принцип «ползи, иди, беги» («crawl, walk, run») – очень плавное постепенное развитие и повышение уровня сложности [9]. Проект был разбит на 4 «уровня технологических возможностей» (Technical Capability Levels, TCLs) [10]. Испытания TCL1 и TCL2 (2015–2016 гг.) фокусировались на миссиях БАС в сфере сельского хозяйства, на пожаротушении и мониторинге объектов инфраструктуры. Полёты производились над малонаселёнными территориями. В ходе TCL3 (2018 год) отрабатывались технологии выдерживания безопасных интервалов между БАС в районах средней населённости. Испытания TCL4 (2019 год) проводились в условиях городских агломераций.

Испытания проводились в 7 пилотных зонах (UAS Test Site Program), выбранных FAA в 2014–2016 гг., включая 100-мильный коридор в Северной Дакоте и зону доставки грузов в Вирджинии. Пилотные зоны намерено создавались на территориях с различными географическими и климатическими условиями [11].

Параллельно происходит наложение и комплексирование программ развития. Проект UTM был официально завершён в мае 2021 года [10]. Но ранее, в 2018 году был запущен проект UAM. Наиболее системный и открытый проект по созданию новой аэробиальности (advanced air mobility, AAM), включающий в себя городскую и региональную аэробиальность (regional air mobility, RAM) был открыт в 2019 году [12].

Проект UAM NASA/FAA в США предполагает 6 уровней зрелости системы UAM – UML (UAM maturity level), каждый из которых поддерживает определённые Миссии в зависимости от уровня зрелости технологий, нормативной базы и принятия обществом (таблица). Сейчас NASA/FAA работают над UML-4 (обеспечение безопасного и эффективного движения сотен БАС в воздушном пространстве городов).

Уровни зрелости системы UAM NASA/FAA

Начальный уровень	UML-1	Эксплуатационные демонстрации в воздушном пространстве (например, на основе UTM).
	UML-2	Коммерческие операции с низкой плотностью воздушного движения. Небольшая сеть UAM, коридоры UTM.
Средний уровень	UML-3	Операции в центре города; система ОрВД на основе UTM, CNS, C2 и автоматизации.
	UML-4	Операции средней плотности воздушного движения. Сотни одновременных операций БАС в воздушном пространстве, доступны многие сервисы УВД, основанные на UTM.
Зрелый уровень	UML-5	Операции с высокой плотностью воздушного движения. Тысячи одновременных операций БАС в воздушном пространстве, УВД на основе UTM, автономное и дистанционное управление парком БАС.
	UML-6	Повсеместные полёты БАС. Десятки тысяч одновременных операций (ёмкость ограничена физической инфраструктурой).

Центр компетенций FAA в области интеграции БАС (The FAA's Center of Excellence for UAS) ASSURE (Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence) выступает в качестве структуры, которая агрегирует экспертизу, выполняет соответствующие научно-исследовательские работы и координирует деятельность различных пилотных проектов. Центры выполняют множество научно-исследовательских работ по направлениям: C2, DAA, наземные и воздушные столкновения, влияние человеческого фактора, UTM и др. Результаты исследований ASSURE напрямую влияют на принятие решений в FAA в области интеграции БАС [13].

Следует отметить, что система ОрВД БАС в США изначально разрабатывалась не как единая централизованная система, а как набор сетевых сервисов, работающих по общим правилам. Распределенная архитектура системы дает преимущества: она открыта для многих поставщиков услуг (UAS Service Suppliers, USS), она адаптируется по мере развития рынка и его потребностей; обеспечивается гибкость для новых типов услуг и широкого диапазона типов транспортных средств.

В 2017 году FAA приступило к реализации проекта системы автоматической обработки запросов разрешений на полёты малых БАС на малых высотах (Low Altitude Authorization and Notification Capability, LAANC), которая позволяет обрабатывать большинство запросов на использование воздушного пространства в автоматическом режиме. Внешний пилот через стороннее приложение подаёт заявку на полёт, предоставив информацию о координатах, требуемой высоте, радиусе полёта. Затем с помощью LAANC проводится сопоставление заявки со структурой воздушного пространства в данном районе. Как только происходит сопоставление, внешний пилот БАС в режиме реального времени получает ответ «Да» или «Нет».

По состоянию на июнь 2022 года система LAANC охватывает 732 аэропорта и частных аэродрома в США [14]. Каждым органом управления воздушным движением (УВД) аэродрома разработана карта воздушного пространства, которое он контролирует (рис. 2). Воздушное пространство разделено на квадраты со стороной равной 1/4 мили (1 мили до реформы в октябре 2021 года). Для каждого квадрата берётся значение от 0 до 400 с шагом в 100. Данное значение – это высота, до которой полёты БАС осуществляются без разрешения [15].

FAA сообщило, что по состоянию на февраль 2022 года был совершён 1 млн полётов БАС с помощью авторизации через LAANC [16]. По данным компании Aloft (ранее Kittyhawk), реализация LAANC помогла высвободить более 33 тыс. миль² (более 85 тыс. км²) [17].

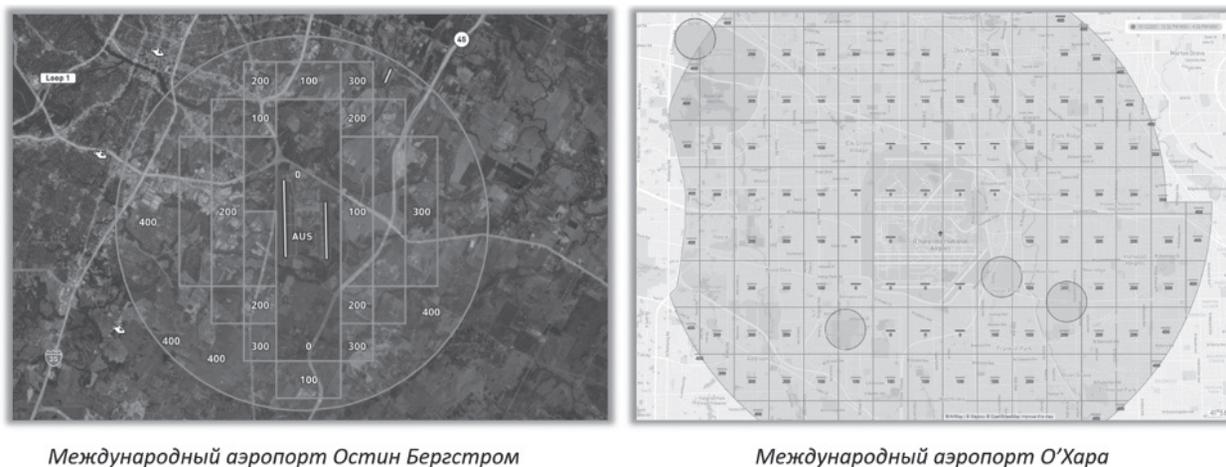


Рис. 2. Сетка LAANC

ОрВД БАС в Европе. U-SPACE

Аналоги концепции UTM появляются и в других регионах. В 2015 году членами европейского авиасообщества принята Рижская декларация, в которой был заложен план развития эксплуатации БАС по всей Европе. Одна из пяти ключевых целей декларации: «должны быть разработаны технологии и стандарты для полной интеграции дронов в воздушное пространство Европы» [18]. В 2016 году в Швейцарии учреждена Международная ассоциация UTM (Global UTM Association, GUTMA) [19].

В докладе “European Drones Outlook Study. Unlocking the value for Europe” [20], опубликованном европейским агентством Single European Sky ATM Research Joint Undertaking (SESAR JU) в 2017 году, прозвучало предложение о создании общеевропейской программы организации движения БАС (в дальнейшем U-SPACE). Авторы доклада отмечают, что на НИОКР потребуется порядка 5–10 лет и 100 млн евро инвестиций. В марте 2018 года SESAR JU опубликовало программу модернизации европейской системы управления воздушным движением “European ATM Master Plan” [21]. В этом документе указано, что система U-SPACE станет полнофункциональной к 2035 г., затраты на её разработку и интеграцию составят ~4,5 млрд евро [22].

В Европе параллельно ведутся несколько десятков проектов НИОКР, связанных с новой аэромобильностью: CORUS XUAM, SAFIR, GOF 2.0 и др. 22 апреля 2021 г. Европейская комиссия приняла пакет норм для общеевропейской программы ОрВД БАС U-SPACE [23]. Три регламента (2021/664, 2021/665, 2021/666) вместе создают условия, необходимые для безопасной работы БАС и пилотируемых летательных аппаратов. В регламентах прописаны функциональные требования к внешним пилотам, БАС и провайдерам U-SPACE. Обозначены необходимые сервисы (электронная идентификация, геoinформирование, авторизация, информация о воздушном движении). Нормы вступят в силу 26 января 2023 года.

Прочие проекты. Китай, Япония, Израиль

Китай создаёт государственную систему ОрВД БАС UOMS (UAS Aviation Operation Management System). Ядро данной платформы – UAS Traffic Information System Service Management (UTMISS). В Китае реализуются несколько масштабных пилотных проектов (в Шэньчжэне, на Хайнане). Опыт Китая показывает, что массовое применение БАС в условиях городской среды возможно. В рамках пилотного проекта UTMISS на густонаселённом острове Хайнань за два месяца (в период с 1 мая по 30 июня 2020 года) было совершено 241184 полёта БАС [24].

Японское агентство аэрокосмических исследований (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) с 2017 года в составе консорциума занимается разработкой UTM-системы (Japan UTM, JUTM) в рамках программы “Drones and Robots for Ecologically Sustainable Societies (DRESS)” [25]. В октябре 2019 г. на полигоне в префектуре Фукусима прошли первые успешные испытания UTM-системы с участием 46 БАС [26].

В 2020 году запущена Израильская национальная программа развития БАС (Israel’s National Drone Initiative), запуск которой спровоцировала пандемия COVID-19. Сейчас реализуется уже четвёртый этап из восьми запланированных (десятки одновременных полётов БАС в условиях города). Было совершено порядка 15 тыс. полётов БАС. На начальном этапе осуществлялась доставка медикаментов, сейчас – фастфуда и напитков. Проект осуществляется в сложных условиях: высокая концентрация населения, неблагоприятные погодные условия, сложная военно-политическая обстановка [27].

Заключение

В мире активно развиваются системы ОрВД для БАС с учётом приоритетов обеспечения безопасности пилотируемой авиации. В среднесрочной перспективе системы ОрВД для БАС будут развиваться параллельно, сохраняя информационное и процедурное взаимодействие с существующими системами ОрВД. В будущем эти системы будут взаимопроникать и сливаться, обеспечивая приемлемый уровень безопасности для своих пользователей и эффективность для бизнеса.

Нормативно-правовые и нормативно-технические базы в части интеграции БАС пополняются ежегодно. В США, Европе и в других регионах инициированы и проводятся пилотные проекты. Восполняются технологические пробелы, снимаются барьеры, создаётся основа для новых видов бизнеса (аэрологистика и аэромобильность), идёт подготовка к взрывному росту рынка БАС. Работа ведётся системно, по нескольким направлениям на национальном и международном уровнях.

Значительные усилия прикладываются мировым аэронавигационным сообществом для создания технологий предупреждения столкновений БВС (DAA), стандартизации линии контроля и управления для БАС(C2/C3).

Рынок БАС стал привлекательным не только для исследовательских структур, крупные игроки из традиционных транспортных отраслей (Toyota, Airbus и др.) и цифровые экосистемы (Amazon, Verizon) активно входят в этот бизнес, ускоряя процесс интеграции БАС за счет существенных инвестиций в стартапы и собственные НИОКР.

5 октября 2021 года Председатель Правительства Российской Федерации утвердил Концепцию интеграции БАС в единое отечественное воздушное пространство. В План реализации Концепции включено проведение исследований возможности применения технологий и сетей связи для БАС: цифровые радиолинии связи, контроля и управления; системы предупреждения столкновений, геозонирование (геофенсинг). Будет реализован поэтапный комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и пилотных проектов. Основным механизмом для апробации данных технологий является использование экспериментальных правовых

режимов, предусмотренных Федеральным законом «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации».

Успешный опыт развития индустрии БАС в США и ЕС показывает наличие структуры, которая агрегирует экспертизу, выполняет соответствующие научно-исследовательские работы и координирует деятельность различных пилотных проектов (The FAA's ASSURE и SESAR JU). На сегодняшний день отечественная структура с таким функционалом отсутствует. Важно гармонизировать систему реализации различных пилотных проектов с Концепцией интеграции БАС в единое воздушное пространство Российской Федерации.

Также в Российской Федерации в настоящее время основными драйверами развития рынка БАС являются компании с оборотом до 1 млрд руб. Для создания рынка, технологий и нормативной базы, открывающей воздушное пространство для массового применения БАС, желательна вовлечённость крупных игроков с оборотами от 100 до 1000 млрд руб.

Список источников

1. The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the United States, available at: https://robohub.org/_uploads/AUVSI_New_Economic_Report_2013_Full.pdf (accessed: 01.08.2022).
2. Развитие рынка беспилотных летательных аппаратов. URL: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/news/2020/05/ey_uav_survey_18052020-ver3.pdf (дата обращения: 01.08.2022).
3. Gipson L., UTM 101, available at: <http://www.nasa.gov/aeroresearch/utm-101> (accessed: 01.08.2022).
4. eVTOL/Urban Air Mobility TAM Update: A Slow Take-Off, But Sky's the Limit, available at: https://assets.verticalmag.com/wp-content/uploads/2021/05/Morgan-Stanley-URBAN_20210506_0000.pdf (accessed: 01.08.2022).
5. Stonor C. Hyundai and Urban-Air Port to invest USD1.5 billion in UK UAM projects over next five years, available at: <https://www.urbanairmobilitynews.com/uam-infrastructure/hyundai-to-invest-usd1-5-billion-in-uamover-next-5-years-in-partnership-with-urban-air-port-ltd/> (accessed: 30.07.2022).
6. Аналитический обзор деятельности Международной организации гражданской авиации (ИКАО) в области дистанционно пилотируемых и беспилотных авиационных систем. Представительство Российской Федерации при ИКАО. Издание 1-е. 2021. 109 с.
7. Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM), available at: https://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/ (accessed: 01.08.2022).
8. Gipson L., Current List of UTM Partners, available at: <http://www.nasa.gov/aeroresearch/programs/aosp/saso/partners> (accessed: 01.08.2022).
9. Baum M., Unmanned Aircraft Systems Traffic Management: UTM, available at: https://www.researchgate.net/publication/352676969_Unmanned_Aircraft_Systems_Traffic_Management_UTM (accessed: 01.08.2022).
10. Blake T., What is Unmanned Aircraft Systems Traffic Management?, available at: <http://www.nasa.gov/ames/utm> (accessed: 17.08.2022).
11. UAS Test Site Program, Federal Aviation Administration, available at: https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/test_sites (accessed: 17.08.2022).
12. Gipson L., Advanced Air Mobility (AAM), available at: <http://www.nasa.gov/aam> (accessed: 17.08.2022).
13. Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) roadmap, 3rd Edition 2020, available at: https://www.faa.gov/uas/resources/policy_library/media/2019_UAS_Civil_Integration_Roadmap_third_edition.pdf (accessed: 17.08.2022).
14. Airports Participating in LAANC, Federal Aviation Administration, available at: https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/data_exchange/laanc_facilities (accessed: 26.07.2022).
15. UAS Data Exchange (LAANC), Federal Aviation Administration, available at: https://www.faa.gov/uas/getting_started/laanc (accessed: 17.08.2022).

16. FAA Reaches One Million Airspace Authorization for Drone Pilots, Federal Aviation Administration, available at: <https://www.faa.gov/newsroom/faq-reaches-one-million-airspace-authorization-drone-pilots> (accessed: 26.07.2022).
17. Kittyhawk Insights: LAANC In-Depth, Aloft, available at: <https://www.aloft.ai/blog/kittyhawk-insights-laanc-in-depth/> (accessed: 26.07.2022).
18. Riga Declaration on Remotely Piloted Aircraft (Drones), available at: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/news/doc/2015-03-06-drones/2015-03-06-riga-declaration-drones.pdf> (accessed: 01.08.2022).
19. GUTMA Mission Statement, available at: <https://gutma.org/mission-statement/> (accessed: 17.08.2022).
20. European drones outlook study: unlocking the value for Europe, available at: <http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/93d90664-28b3-11e7-ab65-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF> (accessed: 30.07.2022).
21. EUROPEAN ATM MASTER PLAN 2018, available at: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European%20ATM%20Master%20Plan%20Drone%20roadmap.pdf> (accessed: 25.07.2022).
22. EUROPEAN ATM MASTER PLAN 2020, available at: <https://www.atmmasterplan.eu/downloads/285> (accessed: 02.08.2022).
23. IAOPA Europe Enews May 2021, available at: <https://www.iaopa.eu/contentServlet/iaopa-europe-eneews-may-2021> (accessed: 19.08.2022).
24. Solution of Civil UTM and its application with UTMISSE pilot, AMUSE Conference (16 July 2020), available at: <https://www.youtube.com/watch?v=dBiEIX8DyxA> (accessed: 19.08.2022).
25. Aeronautical Technology Directorate, available at: <https://www.aero.jaxa.jp/eng/> (accessed: 08.08.2022).
26. JAXA UAS Traffic Management System (UTM) is in Development Successful Interconnection Test by 29 Drone Operators, available at: <https://global.jaxa.jp/activity/pr/jaxas/no079/08.html> (accessed: 08.08.2022).
27. 2nd Pilot for Commercial Drones, available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Uabl6svxnuQ> (accessed: 19.08.2022).

References

1. The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the United States, available at: https://robohub.org/_uploads/AUVSI_New_Economic_Report_2013_Full.pdf (accessed: 01.08.2022).
2. Razvitie rynka bespilotnykh letatel'nykh apparatov, available at: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/news/2020/05/ey_uav_survey_18052020-ver3.pdf (accessed: 01.08.2022). (In Russ.)
3. Gipson L., UTM 101, available at: <http://www.nasa.gov/aeroresearch/utm-101> (accessed: 01.08.2022).
4. eVTOL/Urban Air Mobility TAM Update: A Slow Take-Off, But Sky's the Limit, available at: https://assets.verticalmag.com/wp-content/uploads/2021/05/Morgan-Stanley-URBAN_20210506_0000.pdf (accessed: 01.08.2022).
5. Stonor C. Hyundai and Urban-Air Port to invest USD1.5 billion in UK UAM projects over next five years, available at: <https://www.urbanairmobilitynews.com/uam-infrastructure/hyundai-to-invest-usd1-5-billion-in-uamover-next-5-years-in-partnership-with-urban-air-port-ltd/> (accessed: 30.07.2022).
6. Analytical review of the ICAO activities in the field of RPAS. Russian Mission to ICAO, 1st ed., 2021, 109 p. (In Russ.)
7. Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM), available at: https://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/ (accessed: 01.08.2022).
8. Gipson L., Current List of UTM Partners, available at: <http://www.nasa.gov/aeroresearch/programs/aosp/saso/partners> (accessed: 01.08.2022).
9. Baum M., Unmanned Aircraft Systems Traffic Management: UTM, available at: https://www.researchgate.net/publication/352676969_Unmanned_Aircraft_Systems_Traffic_Management_UTM (accessed: 01.08.2022).

10. Blake T., What is Unmanned Aircraft Systems Traffic Management?, available at: <http://www.nasa.gov/ames/utm> (accessed: 17.08.2022).
11. UAS Test Site Program, Federal Aviation Administration, available at: https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/test_sites (accessed: 17.08.2022).
12. Gipson L., Advanced Air Mobility (AAM), available at: <http://www.nasa.gov/aam> (accessed: 17.08.2022).
13. Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) roadmap, 3rd Edition 2020, available at: https://www.faa.gov/uas/resources/policy_library/media/2019_UAS_Civil_Integration_Roadmap_third_edition.pdf (accessed: 17.08.2022).
14. Airports Participating in LAANC, Federal Aviation Administration, available at: https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/data_exchange/laanc_facilities (accessed: 26.07.2022).
15. UAS Data Exchange (LAANC), Federal Aviation Administration, available at: https://www.faa.gov/uas/getting_started/laanc (accessed: 17.08.2022).
16. FAA Reaches One Million Airspace Authorization for Drone Pilots, Federal Aviation Administration, available at: <https://www.faa.gov/newsroom/faa-reaches-one-million-airspace-authorization-drone-pilots> (accessed: 26.07.2022).
17. Kittyhawk Insights: LAANC In-Depth, Aloft, available at: <https://www.aloft.ai/blog/kittyhawk-in-sights-laanc-in-depth/> (accessed: 26.07.2022).
18. Riga Declaration on Remotely Piloted Aircraft (Drones), available at: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/news/doc/2015-03-06-drones/2015-03-06-riga-declaration-drones.pdf> (accessed: 01.08.2022).
19. GUTMA Mission Statement, available at: <https://gutma.org/mission-statement/> (accessed: 17.08.2022).
20. European drones outlook study: unlocking the value for Europe, available at: <http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/93d90664-28b3-11e7-ab65-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF> (accessed: 30.07.2022).
21. EUROPEAN ATM MASTER PLAN 2018, available at: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European%20ATM%20Master%20Plan%20Drone%20roadmap.pdf> (accessed: 25.07.2022).
22. EUROPEAN ATM MASTER PLAN 2020, available at: <https://www.atmmasterplan.eu/downloads/285> (accessed: 02.08.2022).
23. IAOPA Europe Enews May 2021, available at: <https://www.iaopa.eu/contentServlet/iaopa-europe-eneews-may-2021> (accessed: 19.08.2022).
24. Solution of Civil UTM and its application with UTMISSE pilot, AMUSE Conference (16 July 2020), available at: <https://www.youtube.com/watch?v=dBiEIX8DyxA> (accessed: 19.08.2022).
25. Aeronautical Technology Directorate, available at: <https://www.aero.jaxa.jp/eng/> (accessed: 08.08.2022).
26. JAXA UAS Traffic Management System (UTM) is in Development Successful Interconnection Test by 29 Drone Operators, available at: <https://global.jaxa.jp/activity/pr/jaxas/no079/08.html> (accessed: 08.08.2022).
27. 2nd Pilot for Commercial Drones, available at: <https://www.youtube.com/watch?v=Uabl6svxnuQ> (accessed: 19.08.2022).

Информация об авторах

Яблоков Андрей Юрьевич, представитель Российской Федерации в группе по Дистанционно-пилотируемым авиационным системам ИКАО, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, iau@atminst.ru

Максименко Андрей Вячеславович, кандидат социологических наук, Генеральный директор, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, maximenko_av@gosniiga.ru

Шувалова Екатерина Викторовна, заместитель генерального директора по аэронавигации, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, shuvalovaev@gosniiga.ru

Authors information

Yablokov Andrey Yu., Representative of the Russian Federation to ICAO RPASP, Deputy Head of Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, iau@atminst.ru

Maksimenko Andrey V., Candidate of Sciences (Sociology), General Director, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, maximenko_av@gosniiga.ru

Shuvalova Ekaterina V., Deputy General Director for Air Navigation, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, shuvalovaev@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена после рецензирования 06.12.2022; принята к публикации 14.12.2022.

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 06.12.2022; accepted for publication 14.12.2022.

Обзорная статья
УДК 351.814.2:656.7.073.5

ВНЕДРЕНИЕ СТРАНАМИ ЕС ПРОГРАММЫ АССЗ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОЙ МЕРЫ ПО КОНТРОЛЮ ЗА БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЦЕПИ ПОСТАВОК АВИАГРУЗОВ

О. Ю. ЛАВРЕНТЬЕВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. Европейским агентством по безопасности полётов разработана, внедрена и реализована программа “EU ACC3 programme” (EU ACC3) для авиаперевозчиков из третьих стран. В статье рассматриваются причины подписания локальных программ в развитие EU ACC3 российскими эксплуатантами воздушных судов (ВС), осуществляющими перевозку авиагрузов в страны Европейского Союза. Эксплуатантам ВС из третьих стран, осуществляющих грузоперевозки с использованием безопасной цепи поставок, со стороны федеральных агентств государств – членов Европейского Союза, согласно EU ACC3, были направлены «Декларации обязательств». Декларации содержали нейтральный текст, который обязывал авиакомпании дать согласие соблюдать требования по авиационной безопасности при полётах в страны ЕС. Декларации были заполнены, подписаны и направлены адресатам. Впоследствии оказалось, что в соответствии с ранее подписанной «Декларацией обязательств» Европейским агентством по безопасности полётов и на основании EU-ACC3 авиаперевозчики из третьих стран обязаны понести финансовые и иные расходы, которые связаны с прохождением валидации на право получения разрешения на перевозку авиагрузов в страны Европейского Союза. Автором статьи предложены варианты устранения имеющихся противоречий, связанных с реализацией EU ACC3 российскими эксплуатантами ВС.

Ключевые слова: авиационная безопасность, авиационный груз, акт незаконного вмешательства, аэропорт, безопасность цепи поставок, воздушное судно, воздушный транспорт, гражданская авиация, эксплуатант воздушного судна

Для цитирования: Лаврентьев О. Ю. Внедрение странами ЕС программы АССЗ в качестве основной меры по контролю за безопасностью цепи поставок авиагрузов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 125–132.

EU COUNTRIES IMPLEMENTATION OF “EU ACC3 PROGRAMME” AS THE MAIN MEASURE OF CONTROL OF AIRCARGO SUPPLY CHAIN SECURITY

O. YU. LAVRENTYEV

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. The European Aviation Safety Agency has developed, introduced and implemented a Program “EU ACC3 programme” (EU ACC3) for air carriers from third countries. The article discusses the reasons for the signing of these programs by Russian aircraft operators carrying out air cargo transportation to the countries of the European Union. The “Declarations of Obligations” were sent to the operators of aircraft from third countries carrying out cargo transportation using a safe supply chain by the federal agencies of the member

states of the European Union, according to the EU ACC3. Declarations contained a neutral text that obliged airlines to agree to comply with aviation safety requirements when flying to EU countries. Declarations were completed, signed and sent to the addressees. Subsequently, it turned out that in accordance with the previously signed “Declaration of obligations” by the European Aviation Safety Agency and on the basis of the EU ACC3 air carriers from third countries are obliged to incur financial and other expenses related to the validation for the right to obtain permission to transport air cargo to the countries of the European Union. The author of the article proposed options for solving these issues in relation to Russian aircraft operators.

Keywords: aviation security, air cargo, act of unlawful interference, airport, supply chain security, aircraft, quality control, aircraft operator

For citation: Lavrentyev O. Yu., EU countries implementation of “EU ACC3 programme” as the main measure of control of air cargo supply chain security, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 125–132. (In Russ.)

Введение

Меры обеспечения безопасности цепи поставок (БЦП) применительно к авиационному грузу (авиагруз), перевозимому на гражданских ВС, по реализации требований стандарта международной организации по стандартизации (ISO) [1] на основании 12 поправки государствами – членами Международной организации гражданской авиации (ИКАО) были приняты 17.10.2010. Были внесены изменения в Приложение 17 «Авиационная безопасность. Защита международной гражданской авиации (ГА) от актов незаконного вмешательства» к Чикагской конвенции (далее – Приложение 17), которая вступила в силу 01.07.2011. Поправка предусматривала дальнейшее усиление Стандартов и Рекомендуемой практики (далее – SARPs) Приложения 17, нацеленных на выявление, предупреждение и пресечение возникающих угроз международной ГА, в частности БЦП авиагрузов [2].

В рамках реализации требований вышеуказанных документов [1, 2] Европейским агентством по безопасности полетов (EASA) была разработана и введена в действие 01.02.2012 Программа “EU ACC3 programme” для авиаперевозчиков – эксплуатантов ВС третьих стран (далее – ТСО), не являющимися государствами – членами Европейского Союза (ЕС), в соответствии с которой ТСО, в том числе и российские авиаперевозчики обязаны были получить статус «ACC3 авиаперевозчиков» предварительно подписав «Декларацию обязательств». Получение статуса «ACC3 авиаперевозчика» давало эксплуатантам ВС право осуществлять перевозку грузов и почты в страны ЕС.

В 2012 году авиационными администрациями стран ЕС руководству российских авиакомпаний, осуществляющих перевозку груза и почты в страны ЕС, были направлены «Декларации обязательств». Без согласования с уполномоченными федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими деятельность в области ГА в Российской Федерации – Минтранс России и Росавиацией, руководители эксплуатантов ВС, не вникая в суть вопроса и не задумываясь о последствиях, которые могут наступить, заполнили и подписали данные документы.

Российская Федерация с 2007 года, в соответствии со стандартом ISO 28000 реализовывает требования по осуществлению, разработке и соответственно реализации БЦП в рамках Программ обеспечения авиационной безопасности (АБ) аэропорта и эксплуатанта ВС [3, 4]. В рамках мероприятий, проводимых Российской Федерацией как на национальном, так и на международном уровне, реализуются меры контроля качества в области обеспечения АБ и БЦП в соответствии с Национальной программой контроля качества в сфере обеспечения авиационной безопасности [5] и в соответствии с документами [6–8].

Предупреждение возникновения и развития чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) [9] на воздушном транспорте, непосредственно связанных с безопасностью поставок авиагрузов,

с 1994 года является одной из основных задач, которая стоит перед руководством российских аэропортов и эксплуатантов ВС. При этом, при планировании и проведении мероприятий по обеспечению БЦП авиагрузов, в обязательном порядке учитывается, что использование экстремистки настроенными лицами в целях усиления поражающей способности взрывного устройства биологическими, химическими, ядерными (радиологическими) [10] компонентами, внедрёнными в авиагруз, может стать реальной причиной возникновения ЧС и повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [11].

Контроль качества в сфере обеспечения АБ в России на регулярной основе, в частности и при перевозке авиагрузов ВС ГА, осуществляется внутренними аудиторами на уровне эксплуатанта ВС, в соответствии с требованиями «Программы эксплуатанта ВС по контролю качества» (ПЭВСКК), самостоятельного документа системы менеджмента качества (СМК) [6] либо ПЭВСКК, как составной части «Программы безопасности эксплуатанта ВС» [3]; федеральными государственными гражданскими служащими Ространснадзора и Росавиации в рамках мероприятий по контролю (надзору) деятельности юридических и физических лиц, осуществляющих перевозочную деятельность в области ГА на основании национальных законодательных актов [12–17]; аудиторами ИКАО в рамках механизма непрерывного мониторинга «Универсальной программы ИКАО по проведению проверок в сфере обеспечения АБ» (далее – УППАБ-МНМ).

Российская Федерация в 2011 году, в соответствии с подпунктом 7.1 «Безопасность груза и почты» пункта 7 «СГО. Безопасность груза, бортипитания и почты» «Вопросов протокола» УППАБ-МНМ [18], успешно прошла аудит ИКАО по соблюдению государством, требований в сфере обеспечения безопасности авиагруза.

Несмотря на успешное прохождение аудита ИКАО по АБ в рамках УППАБ-МНМ, Российскую Федерацию включили в «красный» список государств, эксплуатантам ВС которых, осуществляющих перевозку грузов и почты в страны ЕС, необходимо было в срок до 01.07.2014 выполнить дополнительные условия ранее не указанные в «Декларации обязательств», но опубликованные на официальном сайте EASA. Авиакомпании государств, включённых в «зелёный» список стран, освобождаются от реализации процедур, предусмотренных EU АССЗ для ТСО.

Эксплуатанты ВС России в целях подтверждения соблюдения норм и правил ЕС по АБ должны были пройти процедуру валидации, то есть инспекторскую проверку у сертифицированных инспекторов (валидаторов) из стран ЕС, подготовленных Международной ассоциацией воздушного транспорта (IATA) для проведения проверок авиакомпаний по EU АССЗ для ТСО. При этом власти ЕС потребовали от эксплуатантов ВС в письменном виде подтверждения ранее подписанных руководством российских авиакомпаний в 2012 году «Деклараций обязательств». При этом эксплуатантам ВС, в связи с невозможностью в срок до 01.07.2021 провести валидацию согласно «Варианта № 3», о котором будет рассказано ниже, была предоставлена отсрочка валидации до 2016 года, которой и воспользовались отечественные авиакомпании осуществляющие перевозку грузов и почты в страны ЕС, впоследствии столкнувшиеся с проблемами, связанными с отсрочкой реализации требований ЕС по АБ по EU АССЗ для ТСО.

Валидация российских коммерческих эксплуатантов ВС, осуществляющих авиационные перевозки груза и почты в страны ЕС, как было сказано выше, должна проводиться независимыми валидаторами – частными лицами, прошедшими соответствующую подготовку IATA по курсу проведения проверок по EU АССЗ, и сертифицированным регулирующим органом ЕС, которым российские авиакомпании должны предоставлять для изучения документацию по АБ, имеющую гриф «для служебного пользования», то есть конфиденциальную информацию ограниченного доступа, оборот которой регламентируется постановлениями Правительства Российской Федерации [19–21].

Российское законодательство в целях предотвращения использования информации по АБ в преступных целях, а также в целях недопущения нанесения материального и репутационного

ущерба российским авиакомпаниям и авиапредприятиям, запрещает передавать конфиденциальную информацию ограниченного доступа частным лицам, не представляющим официальные международные либо государственные организации.

При этом наличие выданных на основании п.п. 4.2.1.1 – 4.2.1.2 Части I «Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолёты» Приложения 6 «Эксплуатация воздушных судов» к Конвенции о международной ГА [22] Росавиацией сертификата коммерческого эксплуатанта ВС с эксплуатационными спецификациями к ним, а также сертификата IATA, дающих право российским авиакомпаниям выполнять международные авиационные перевозки груза и почты и предусматривающих реализацию авиакомпаниями всех международных требований, указанных в эксплуатационных спецификациях, как по безопасности полетов, так и по авиационной безопасности EASA, а соответственно и авиационными администрациями стран ЕС, игнорировалось.

Постановка задачи

Задача статьи – ответить на следующие вопросы.

Соответствуют ли меры по АБ, которые реализуют российские авиакомпании, осуществляющие международные авиационные перевозки груза и почты на основании национальных сертификатов эксплуатантов ВС и сертификатов IATA, в том числе и в страны ЕС, установленным международным требованиям, в частности, требованиям ИКАО?

Есть ли необходимость авиакомпаниям ТСО, государств – членов ИКАО, успешно прошедших аудит УППАБ-МНМ ИКАО и не имеющих несоответствий SARPs Приложения 17 [2], непосредственно касающихся БЦП грузов и почты, проходить валидацию по EU ACC3 для ТСО?

В связи с тем, что ЕС включил Российскую Федерацию в «красный» список стран ТСО, требования которых в области обеспечения мер по АБ, по его мнению, не соответствуют предъявляемым ЕС требованиям, не являются ли вышеизложенные дополнительные меры к EU ACC3 для ТСО, предлагаемые EASA, излишними?

Методика исследования

В целях установления соответствия мер, реализуемых авиакомпаниями по АБ в части, касающейся международных авиационных перевозок грузов и почты в страны ЕС, а также исследования безопасной цепи поставок авиагруза, перевозимого гражданскими ВС, в соответствии с Приложением 6С-3 к нормативам ЕС № 1082/2012 [23] и EU ACC3 для ТСО, EASA предлагала три варианта прохождения валидации:

Вариант № 1. Проводится валидация непосредственно самого эксплуатанта ВС и каждого аэропорта, через который осуществляются авиационные перевозки груза и почты в страны ЕС.

Вариант № 2. В первый год проводится валидация непосредственно самого эксплуатанта ВС, а также трёх аэропортов, через которые авиакомпания осуществляет перевозки авиагруза и почты в страны ЕС, с последующей ежегодной валидацией ещё как минимум трёх аэропортов.

Вариант № 3. Эксплуатант ВС мог попросить отсрочку до 2016 года по причине, не зависящей от него:

- недостаточное количество валидаторов для работы в данном регионе;
- эксплуатант ВС либо аэропорт находятся в опасной зоне и валидатор туда либо не хочет ехать, либо не может туда приехать;
- эксплуатант ВС, коммерческий эксплуатант ВС зависит от политики государства в области АБ и по этой причине не может пройти валидацию, так как нарушит установленные государством требования.

Перечисленные варианты валидации нацелены на подтверждение соответствия либо установление несоответствия обеспечения эксплуатантом ВС требований по АБ ЕС и EU АССЗ для ТСО, т. е. установленным международным и национальным требованиям [24], которые реализуются отечественными авиакомпаниями, осуществляющими перевозку грузов и почты в страны ЕС, в рамках соответствия п.п. 65–68 Добавления 24 «Программа безопасности эксплуатанта ВС» Дос 8973 ИКАО [3], одобренного федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим свою деятельность в области обеспечения АБ – Росавиацией. Одновременно на международном уровне государства – члены ЕС являются государствами – членами ИКАО, являющейся по статусу вышестоящей над ЕС организацией. ИКАО в рамках УППАБ-МНМ, применяя стандартизованный подход механизма непрерывного мониторинга, осуществляет проверку как государственных органов исполнительной власти, осуществляющих свою деятельность в сфере области обеспечения АБ, так и аэропортов и эксплуатантов ВС на соответствие SARPs Приложения 17 ИКАО [2], в том числе БЦП авиагруза и почты.

Анализ результатов

В рамках мониторинга на регулярной основе ИКАО осуществляет проверку всех государств-членов, в том числе и на соответствие требованиям подпункта 7.1 «Безопасность груза и почты» пункта 7 «СГО. Безопасность груза, бортпитания и почты» «Вопросов протокола» УППАБ-МНМ [18]. В рамках мероприятий по контролю (надзору) за деятельностью юридических и физических лиц, осуществляющих перевозку авиагруза, проверки проводятся федеральными государственными гражданскими служащими Ространснадзора и Росавиации в сфере обеспечения АБ на установление соответствия российскому законодательству [5, 15]. На основании изложенного можно сделать вывод, что требования EASA по EU АССЗ для российских эксплуатантов ВС ТСО являются избыточными, так как соответствие отечественных авиакомпаний установленным международным требованиям по перевозке авиагруза посредством БЦП подтверждается документально, как российскими федеральными органами исполнительной власти, так и ИКАО.

Заключение

В целях усиления геостратегических позиций России, закрепления и расширения её глобальных конкурентных преимуществ [25] на международном рынке перевозок авиагрузов, рекомендуется следующее.

1. На законодательном уровне:

1.1. Запретить без одобрения уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти в области обеспечения авиационной безопасности подписывать, утверждать или согласовывать документы, поступающие в адрес отечественных эксплуатантов ВС от авиационных администраций государств – членов ЕС.

1.2. Отозвать и аннулировать все ранее подписанные руководителями отечественных эксплуатантов ВС без согласования с Росавиацией документы, касающиеся программы EU АССЗ для ТСО, такие, как «Декларация обязательств» в сфере обеспечения АБ.

2. Проинформировать авиационные администрации стран ЕС о необходимости предоставления всех документов, направляемых в адрес отечественных эксплуатантов ВС, в Росавиацию (по согласованию). Поступающие от федеральных агентств стран ЕС в адрес российских авиакомпаний документы, не прошедшие согласование с Росавиацией, считать нелегитимными.

3. На основании успешно пройденной Российской Федерацией в 2019 году проверки со стороны ИКАО в рамках УППАБ-МНМ подтверждён приемлемый уровень соблюдения государством установленных требований по АБ, в том числе и в области перевозки авиагрузов.

К решению данного вопроса должны привлекаться юридические службы Минтранса России и Росавиации (по согласованию) для инициирования вопроса о внесении Российской Федерации в «зелёный» список ЕС программы “EU ACC3 programme” для ТСО.

Список источников

1. ISO 28000:2007. Specification for security management systems for the supply chain, Technical Committee: ISO/TC 2921, 1 ed., 16 p.
2. Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации. Авиационная безопасность. Защита международной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства Издание двенадцатое, июль 2022 года. ИКАО, Монреаль. 74 с.
3. ICAO Doc 8973 – Restricted. Aviation Security Manual, 12 ed., Montreal, ICAO, 2020, 872 p.
4. ГОСТ Р ИСО 28001-2019. Системы менеджмента безопасности цепи поставок. Наилучшие практики осуществления безопасности цепи поставок, оценки и планов безопасности. Требования и руководство по применению. Москва: Стандартинформ, 2019. 25 с.
5. Федеральная система контроля качества (Национальная программа контроля качества авиационной безопасности). Москва: Межведомственная комиссия по авиационной безопасности, безопасности полетов гражданской авиации и упрощению формальностей. 2019. 39 с.
6. ИСО 9001:2015(R). Системы менеджмента качества. Требования. 2015. Москва: ВНИИС, 43 с.
7. Quality control – Restricted, Montreal, ICAO, 2018, 35 p.
8. ИКАО Doc 10047. Руководство по организации контроля за обеспечением авиационной безопасности. Создание государственной системы контроля за обеспечением авиационной безопасности и управление этой системой. Изд. 2, 2021. Монреаль, ИКАО, 56 с.
9. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Федеральный закон от 11.11.1994 № 68-ФЗ. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/federalnyy_zakon_rossiyskoy_federacii_ot_21_dekabrya_1994_g_68_fz.html (дата обращения: 20.10.2022).
10. ИКАО Doc 9960. Конвенция о борьбе с незаконными актами в отношении международной гражданской авиации. 2011. Монреаль, ИКАО, 92 с.
11. ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в ЧС. Термины и определения. Москва: Стандартинформ. 2016. 12 с.
12. О транспортной безопасности. Федеральный закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102111823> (дата обращения: 20.10.2022).
13. Об утверждении Положения о федеральном государственном контроле (надзоре) в области транспортной безопасности. Постановление Правительства РФ от 04.10.2013 № 880. URL: <http://government.ru/docs/all/88842/> (дата обращения: 20.10.2022).
14. Об осуществлении должностными лицами Федеральной службы по надзору в сфере транспорта контрольных (надзорных) функций. Постановление Правительства РФ от 09.06.2010 № 409. URL: <http://government.ru/docs/all/72819/> (дата обращения: 20.10.2022).
15. Федеральная система обеспечения авиационной безопасности (Национальная программа авиационной безопасности). Москва: Межведомственная комиссия по авиационной безопасности, безопасности полётов гражданской авиации и упрощению формальностей. 2019. 110 с.
16. Об утверждении форм проверочных листов (списков контрольных вопросов, ответы на которые свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении контролируемым лицом обязательных требований), применяемых Федеральной службой по надзору в сфере транспорта и ее территориальными органами при осуществлении федерального государственного контроля (надзора) в области гражданской авиации: Приказ Ространснадзора от 27.01.22 № ВБ-51фс. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/documents/1480> (дата обращения: 11.12.2022).
17. Об утверждении Положения о Федеральном агентстве воздушного транспорта. Постановление Правительства РФ от 30.07.2004 № 396. URL: <https://favt.gov.ru/documents/?id=153> (дата обращения: 20.10.2022).

18. USAP-CMA protocol questions, Montreal, ICAO, 2017, 133 p.
19. Об утверждении положения о порядке обращения со служебной информацией ограниченного распространения в федеральных органах исполнительной власти и уполномоченном органе управления использованием атомной энергии. Постановление Правительства РФ от 3 ноября 1994 г. № 1233. URL: <https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-03111994-n-1233/> (дата обращения: 20.10.2022).
20. Об упорядочении обращения со служебной информацией ограниченного распространения в Министерстве транспорта Российской Федерации. Приказ Минтранса России от 06.07.2016 № 185. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71356908/> (дата обращения: 20.10.2022).
21. Об утверждении Положения о порядке учёта, обращения и хранения документов, содержащих служебную информацию ограниченного распространения, в Федеральном агентстве воздушного транспорта (Росавиации) и его территориальных органах. Приказ Федерального агентства воздушного транспорта от 18.12.2014 № 841. URL: <https://base.garant.ru/71121192/> (дата обращения: 20.10.2022).
22. Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация воздушных судов. Часть I. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. Издание двенадцатое, июль 2022 года. ИКАО, Монреаль. 254 с.
23. Guidelines for the new EU ACC3 air cargo regime in the European Union (EU), USA, Rapiscan, 2012, 4 p.
24. ГОСТ Р 57189-2016/ISO/TS 9002:2016. Системы менеджмента качества. Руководство по применению ИСО 9001:2015. Москва: Стандартинформ. 2020. 40 с.
25. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы». Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 № 1596. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/9138> (дата обращения: 20.10.2022).

References

1. ISO 28000:2007. Specification for security management systems for the supply chain, Technical Committee: ISO/TC 2921, 1 ed., 16 p.
2. Annex 17 to the Convention on International civil aviation. Aviation Security. Safeguarding International Civil Aviation against Acts of Unlawful Interference, twelfth ed., July 2022, Montreal, ICAO, 66 p.
3. ICAO Doc 8973 – Restricted. Aviation Security Manual, 12 ed., Montreal, ICAO, 2020, 872 p.
4. GOST R ISO 28001-2019. Supply chain security management systems. Best practices for implementing supply chain security, assessments and security plans. Requirements and guidelines for use, Moscow, Standartinform Publ., 2019, 25 p. (In Russ.)
5. Federal'naya sistema kontrolya kachestva (Natsional'naya programma kontrolya kachestva aviatsionnoy bezopasnosti). Moscow, Mezhvedomstvennaya komissiya po aviatsionnoi bezopasnosti, bezopasnosti poletov grazhdanskoi aviatsii i uproscheniyu formal'nostei. 2019. 39 p. (In Russ.)
6. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements, ISO, 2015, 37 p.
7. Quality control – Restricted, Montreal, ICAO, 2018, 35 p.
8. ICAO Doc 10047. Aviation Security Oversight Manual. The Establishment and Management of a State Aviation Security Oversight System, 2nd ed., Montreal, ICAO, 2021, 50 p.
9. O zashchite naseleniya i territorij ot chrezvychajnykh situatsij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera, Federal'nyj zakon ot 11.11.1994 no. 68-FZ, available at: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/federalnyj_zakon_rossiyskoy_federacii_ot_21_dekabrya_1994_g_68_fz.html (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)
10. ICAO Doc 9960. Convention on the Suppression of Unlawful Acts Relating to International Civil Aviation, Montreal, ICAO, 2011, 94 p.
11. GOST R 22.0.02-2016. Safety in emergencies. Terms and definitions. Standartinform Publ., 2016, 12 p. (In Russ.)
12. O transportnoj bezopasnosti, Federal'nyj zakon ot 09.02.2007 no. 16-FZ, available at: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102111823> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)

13. Ob utverzhdenii Polozheniya o federal`nom gosudarstvennom kontrole (nadzore) v oblasti transportnoj bezopasnosti, Postanovlenie Pravitel`stva RF ot 04.10.2013 no. 880, available at: <http://government.ru/docs/all/88842/> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)
14. Ob osushchestvlenii dolzhnostnymi litsami Federal`noj sluzhby po nadzoru v sfere transporta kontrol`nykh (nadzornykh) funktsij, Postanovlenie Pravitel`stva RF ot 09.06.2010 no. 409, available at: <http://government.ru/docs/all/72819/> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)
15. Federal`naya sistema obespecheniya aviatsionnoj bezopasnosti (Natsional`naya programma aviatsionnoj bezopasnosti), Moscow, Mezhdedomstvennaya komisiya po aviatsionnoj bezopasnosti, bezopasnosti poletov grazhdanskoj aviatsii i uproshtcheniyu formal`nostej Publ., 2019, 110 p. (In Russ.)
16. Ob utverzhdenii form proverochny`x listov (spiskov kontrol`ny`x voprosov, otvety` na kotorye svidetel`stvuyut o soblyudeni ili nesoblyudeni kontroliruemy`m liczom obyazatel`ny`x trebovanij), primenyaemy`x Federal`noj sluzhboj po nadzoru v sfere transporta i ee territorial`ny`mi organami pri osushhestvlenii federal`nogo gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) v oblasti grazhdanskoj aviatsii, Prikaz Rostransnadzora ot 27.01.22 no. VB-51fs, available at: <https://rostransnadzor.gov.ru/documents/1480> (accessed: 11.12.2022). (In Russ.)
17. Ob utverzhdenii Polozheniya o Federal`nom agentstve vozdušnogo transporta, Postanovlenie Pravitel`stva RF ot 30.07.2004 no. 396, available at: <https://favt.gov.ru/documents/?id=153> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)
18. USAP-CMA protocol questions, Montreal, ICAO, 2017, 133 p.
19. Ob utverzhdenii polozheniya o poryadke obrashcheniya so sluzhebnoj informatsiej ogranichenogo rasprostraneniya v federal`nykh organakh ispolnitel`noj vlasti i upolnomochennom organe upravleniya ispol`zovaniem atomnoj ehnergii, Postanovlenie Pravitel`stva RF ot 3 noyabrya 1994 no. 1233, available at: <https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-03111994-n-1233/> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)
20. Ob uporyadochenii obrashcheniya so sluzhebnoj informatsiej ogranichenogo rasprostraneniya v Ministerstve transporta Rossijskoj Federatsii, Prikaz Mintransa Rossii ot 06.07.2016 no. 185, available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71356908/> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)
21. Ob utverzhdenii Polozheniya o poryadke ucheta, obrashcheniya i khraneniya dokumentov, sodержashchikh sluzhebnyu informatsiyu ogranichenogo rasprostraneniya, v Federal`nom gentstve vozdušnogo transporta (Rosaviatsii) i ego territorial`nykh organakh, Prikaz Federal`nogo gentstva vozdušnogo transporta ot 18.12.2014 no. 841, available at: <https://base.garant.ru/71121192/> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)
22. Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation. Operation of Aircraft. Part I. International commercial air transport. Airplanes, twelfth ed., July 2022, Montreal, ICAO, 2022, 242 p.
23. Guidelines for the new EU ACC3 air cargo regime in the European Union (EU), USA, Rapiscan, 2012, 4 p.
24. GOST R 57189-2016/ISO/TS 9002:2016. Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2015. Moscow, Standartinform Publ., 2020, 40 p. (In Russ.)
25. Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Rossijskoj Federatsii “Razvitie transportnoj sistemy”, Postanovlenie Pravitel`stva RF ot 20 dekabrya 2017 no. 1596, available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/9138> (accessed: 20.10.2022). (In Russ.)

Информация об авторе

Лаврентьев Олег Юрьевич, директор Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, lavrentyev@gosniiga.ru

Author information

Lavrentyev Oleg Yu., Director of Scientific Center, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, lavrentyev@gosniiga.ru

Статья поступила в редакцию 31.10.2022; одобрена после рецензирования 06.12.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 06.12.2022; accepted for publication 12.12.2022..

Научная статья
УДК 656.7.052.002.5

РЕШЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО МИНИМАЛЬНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ ВС ПРИ ЭШЕЛОНИРОВАНИИ НА ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ КУРСАХ ПО ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

В. Б. СПРЫСКОВ, Е. В. ШУВАЛОВА, С. В. КУЗНЕЦОВ

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье применительно к аэронавигации поставлены и решены восемь экстремальных задач определения фактического минимального расстояния между воздушными судами (ВС) в горизонтальной плоскости при эшелонировании ВС на пересекающихся курсах в ситуации наблюдения на индикаторе воздушной обстановки минимально допустимого интервала. Без решения этих задач нет возможности корректного учёта влияния факторов, связанных с вероятностью обновления координат ВС на интервале обновления информации наблюдения и самой величиной интервала, скоростью движения и углами пересечения курсов эшелонируемых ВС на вероятность горизонтального перекрытия ВС и, следовательно, на технический риск катастроф ВС при горизонтальном эшелонировании с использованием информации системы наблюдения обслуживания воздушного движения (ОВД).

Ключевые слова: аэронавигация, горизонтальное эшелонирование, минимум горизонтального интервала эшелонирования, система наблюдения ОВД

Для цитирования: *Спрысков В. Б., Шувалова Е. В., Кузнецов С. В.* Решение экстремальных задач определения фактического минимального горизонтального интервала между ВС при эшелонировании на пересекающихся курсах по информации системы наблюдения обслуживания воздушного движения // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 133–143.

DECISION PROBLEMS OF DETERMINING THE ACTUAL MINIMUM HORIZONTAL INTERVAL BETWEEN AIRCRAFTS WHEN SEPARATION ON CROSSING COURSES USING THE INFORMATION OF THE AIR TRAFFIC SERVICE SUPERVISION SYSTEM

V. B. SPRYSKOV, E. V. SHUVALOVA, S. V. KUZNETSOV

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. The article describes eight exceptional problems of determining the actual value of a significant distance between aircrafts in the horizontal direction when the aircraft are separated on wide courses in situations where air traffic control (ATC) display observes the maximum allowable interval. Without solving this problem, there is no corrective account of indicators estimated with the probability of updating the aircraft coordinates for the observation update interval and the value of the speed of movement and the angles of intersection of the courses of separated aircraft, the probability of horizontal overlap of the aircraft and, consequently, the technical risk of an aircraft crash in a horizontal plane. separation using information from the air traffic management (ATM) surveillance system.

Keywords: horizontal separation, minimum horizontal separation interval, air traffic management surveillance system

For citation: Spryskov V. B., Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V., Decision problems of determining the actual minimum horizontal interval between aircrafts when separation on crossing courses using the information of the air traffic service supervision system, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 133–143. (In Russ.)

Введение

Будем рассматривать горизонтальное эшелонирование ВС на пересекающихся курсах только для ситуаций «правильного» пересечения, то есть для ситуаций, когда одно ВС удаляется от точки пересечения линий пути ВС, а другое – приближается. «Неправильные» ситуации, когда оба ВС приближаются к точке пересечения, возможны, но при этом горизонтальные интервалы между ВС заведомо больше минимально допустимых. Такие ситуации не будем рассматривать для формального описания риска катастроф при эшелонировании ВС на основе использования координатной информации наблюдения.

Система наблюдения отображает метку ВС всегда. С очень высокой вероятностью периодически (на каждом обновлении) отображается актуальная метка ВС (P_0). Однако эта вероятность меньше 1. С некоторой вероятностью система наблюдения отображает метку ВС предыдущего обзора (обновления) (P_1). С ещё меньшей вероятностью отображаются координаты ВС, которые оно имело два обновления назад (P_2). Существует вероятность, что отображаемая метка соответствует координатам, которые ВС имели по факту три обзора назад (P_3).

Считаем, что $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1$. Детально это положение рассмотрено в [1].

Обозначим расстояние между прибывающим ВС и точкой пересечения курсов как S_{xy} . Эта величина доступна системе наблюдения и учитывается диспетчером при решении задачи эшелонирования. Будем считать, что удаляющиеся от точки пересечения ВС наблюдаются либо в самой точке ($x_0 = 0$), либо на расстоянии x_0 от нее.

Вероятность состояния обновления информации наблюдения присуще обоим эшелонируемым ВС (прибывающим и удаляющимся). Поэтому фактически значения S_{xy} и x_0 будут отличаться от наблюдаемых. Будет отличаться и минимальное горизонтальное расстояние между ВС (S_{min}) от расстояния при актуальных значениях S_{xy} и x_0 .

Зависимости величины S_{min} от наблюдаемых величин S_{xy} и x_0 с учётом значений скоростей ВС₁ и ВС₂ и углов пересечений их векторов являются предметом настоящих исследований.

Экстремальные задачи и их решения при пролёте двух ВС точки пересечения курсов в процедурах горизонтального эшелонирования с использованием системы наблюдения обслуживания воздушного движения (ОВД)

Решим задачи нахождения минимального горизонтального сближения ВС S_{min} для восьми различных экстремальных условий взаимного положения и движения ВС.

Задача № 1: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $0^\circ < \gamma \leq 90^\circ$ с постоянными скоростями W_1 и W_2 соответственно. Схема движения ВС показана на рис. 1.

Введём следующие переменные, t – время, $x_1(t)$, $y_1(t)$, $x_2(t)$, $y_2(t)$ – координаты ВС₁ и ВС₂ в момент времени t соответственно.

$$x_1(t) = W_1 t; \quad y_1(t) = 0; \quad x_2(t) = t W_2 \cos \gamma - S_{xy} \cos \gamma; \quad y_2(t) = t W_2 \sin \gamma - S_{xy} \sin \gamma;$$

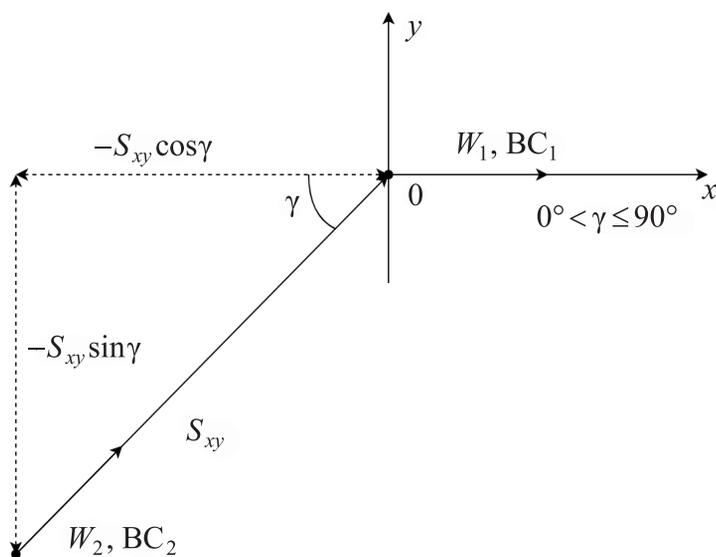


Рис. 1

Запишем (см. рис. 1)

$$\begin{aligned} [x_1(t) - x_2(t)]^2 &= [(W_1 - W_2 \cos \gamma)t + S_{xy} \cos \gamma]^2; \\ [y_1(t) - y_2(t)]^2 &= [-tW_2 \sin \gamma + S_{xy} \sin \gamma]^2. \end{aligned}$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)}{dt} = 0$:

$$t_{\min} = \frac{S_{xy}(W_2 - W_1 \cos \gamma)}{W_1^2 - 2W_1W_2 \cos \gamma + W_2^2}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$\begin{aligned} S_{\min} &= \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}}^2 + (y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}}^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \\ \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 &= \left[\frac{S_{xy}W_1W_2 \sin^2 \gamma}{W_1^2 - 2W_1W_2 \cos \gamma + W_2^2} \right]^2; \\ \left[(y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 &= \left[\frac{S_{xy}W_1(W_1 - W_2 \cos \gamma) \sin \gamma}{W_1^2 - 2W_1W_2 \cos \gamma + W_2^2} \right]^2; \\ S_{\min} &= \frac{S_{xy}W_1 \sin \gamma}{\sqrt{W_1^2 - 2W_1W_2 \cos \gamma + W_2^2}}. \end{aligned}$$

Задача № 2: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $0^\circ < \gamma \leq 90^\circ$ с постоянными скоростями $W_1 = W_2 = W$.

Схема движения ВС совпадает с рис. 1. Аналогичная постановка задачи использовалась в [2, 3] при нахождении соответствия между минимальным горизонтальным расстоянием S_{\min} и расстоянием, когда один из ВС находится в точке пересечения курсов S_{xy} .

$$x_1(t)=Wt; y_1(t)=0; x_2(t)=tW \cos \gamma - S_{xy} \cos \gamma; y_2(t)=tW \sin \gamma - S_{xy} \sin \gamma;$$

Запишем (см. рис. 1)

$$[x_1(t)-x_2(t)]^2=[tW(1-\cos \gamma)+S_{xy} \cos \gamma]^2;$$

$$[y_1(t)-y_2(t)]^2=[-tW \sin \gamma+S_{xy} \sin \gamma]^2.$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2)}{dt}=0$:

$$t_{\min}=\frac{S_{xy}}{2W}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$S_{\min}=\left[(x_1(t)-x_2(t))_{t_{\min}}^2+(y_1(t)-y_2(t))_{t_{\min}}^2\right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\left[(x_1(t)-x_2(t))_{t_{\min}}\right]^2=\left(\frac{S_{xy}(1+\cos \gamma)}{2}\right)^2;$$

$$\left[(y_1(t)-y_2(t))_{t_{\min}}\right]^2=\left(\frac{S_{xy} \sin \gamma}{2}\right)^2;$$

$$S_{\min}=\frac{S_{xy} \sqrt{1+\cos \gamma}}{\sqrt{2}}.$$

Задача № 3: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $90^\circ < \gamma \leq 180^\circ$ с постоянными скоростями W_1 и W_2 соответственно. Схема движения ВС показана на рис. 2.

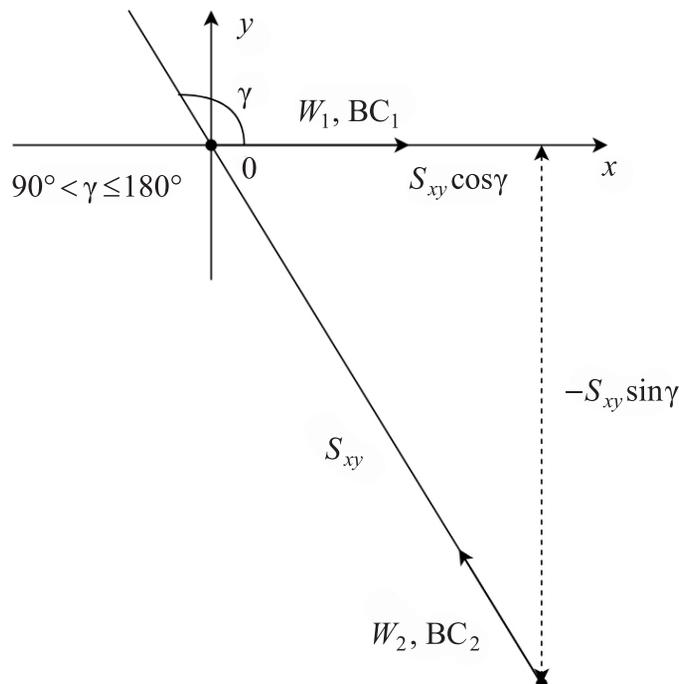


Рис. 2

$$x_1(t)=W_1t; y_1(t)=0; x_2(t)=-tW_2 \cos\gamma+S_{xy} \cos\gamma; y_2(t)=tW_2 \sin\gamma-S_{xy} \sin\gamma;$$

Запишем (см. рис. 2)

$$[x_1(t)-x_2(t)]^2=[t(W_1-W_2 \cos\gamma)-S_{xy} \cos\gamma]^2;$$

$$[y_1(t)-y_2(t)]^2=[-tW_2 \sin\gamma+S_{xy} \sin\gamma]^2.$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2)}{dt}=0$:

$$t_{\min}=\frac{S_{xy}(W_2+W_1 \cos\gamma)}{W_1^2+2W_1W_2 \cos\gamma+W_2^2}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$S_{\min}=\left[(x_1(t)-x_2(t))_{t_{\min}}^2+(y_1(t)-y_2(t))_{t_{\min}}^2\right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\left[(x_1(t)-x_2(t))_{t_{\min}}\right]^2=\left[\frac{S_{xy}W_1W_2 \sin^2\gamma}{W_1^2+2W_1W_2 \cos\gamma+W_2^2}\right]^2;$$

$$\left[(y_1(t)-y_2(t))_{t_{\min}}\right]^2=\left[\frac{S_{xy}W_1(W_1+W_2 \cos\gamma) \sin\gamma}{W_1^2+2W_1W_2 \cos\gamma+W_2^2}\right]^2;$$

$$S_{\min}=\frac{S_{xy}W_1 \sin\gamma}{\sqrt{W_1^2+2W_1W_2 \cos\gamma+W_2^2}}.$$

Задача № 4: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $90^\circ < \gamma \leq 180^\circ$ с постоянными и равными скоростями $W_1=W_2=W$. Аналогичная постановка использовалась в [2, 3].

$$x_1(t)=Wt; y_1(t)=0; x_2(t)=-tW \cos\gamma+S_{xy} \cos\gamma; y_2(t)=tW \sin\gamma-S_{xy} \sin\gamma;$$

Запишем (см. рис. 2)

$$[x_1(t)-x_2(t)]^2=[tW(1-\cos\gamma)+S_{xy} \cos\gamma]^2;$$

$$[y_1(t)-y_2(t)]^2=[-tW \sin\gamma+S_{xy} \sin\gamma]^2.$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2)}{dt}=0$:

$$t_{\min}=\frac{S_{xy}}{2W}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$S_{\min}=\left[(x_1(t)-x_2(t))_{t_{\min}}^2+(y_1(t)-y_2(t))_{t_{\min}}^2\right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\left[(x_1(t)-x_2(t))_{t_{\min}}\right]^2=\left(\frac{S_{xy}(1-\cos\gamma)}{2}\right)^2;$$

$$\left[(y_1(t)-y_2(t))_{t_{\min}}\right]^2=\left(\frac{S_{xy} \sin\gamma}{2}\right)^2;$$

$$S_{\min} = \frac{S_{xy} \sqrt{1 - \cos \gamma}}{\sqrt{2}}$$

Задача № 5: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $0^\circ < \gamma \leq 90^\circ$ с постоянными скоростями W_1 и W_2 соответственно, при этом ВС₁ удаляется от точки пересечения из исходного положения x_0 , а ВС₂ приближается к точке пересечения из исходного положения S_{xy} . Схема движения ВС показана на рис. 3

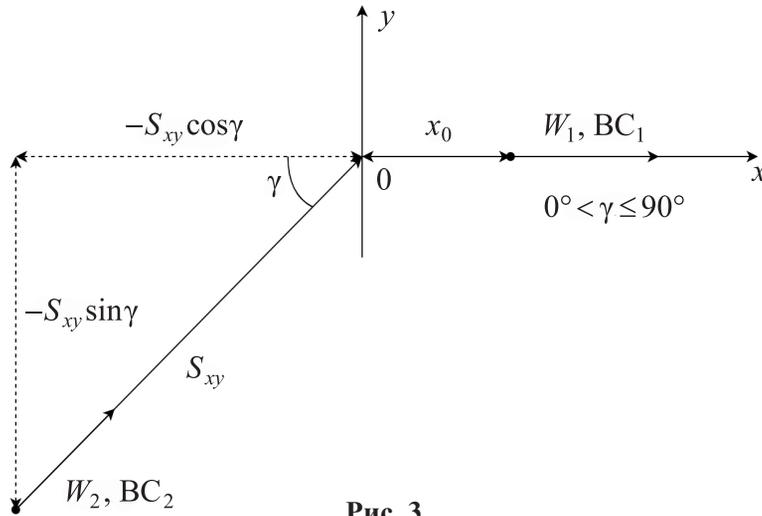


Рис. 3

$$x_1(t) = x_0 + W_1 t; \quad y_1(t) = 0; \quad x_2(t) = t W_2 \cos \gamma - S_{xy} \cos \gamma; \quad y_2(t) = t W_2 \sin \gamma - S_{xy} \sin \gamma;$$

Запишем (см. рис. 3)

$$[x_1(t) - x_2(t)]^2 = [x_0 + t(W_1 - W_2 \cos \gamma) + S_{xy} \cos \gamma]^2;$$

$$[y_1(t) - y_2(t)]^2 = [-t W_2 \sin \gamma + S_{xy} \sin \gamma]^2.$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)}{dt} = 0$:

$$t_{\min} = \frac{S_{xy}(W_2 - W_1 \cos \gamma) - x_0(W_1 - W_2 \cos \gamma)}{W_1^2 - 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$S_{\min} = \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}}^2 + (y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}}^2 \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}}]^2 = \left(\frac{W_2(x_0 W_2 + S_{xy} W_1) \sin^2 \gamma}{W_1^2 - 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2} \right)^2;$$

$$[(y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}}]^2 = \left(\frac{(x_0 W_2 + S_{xy} W_1)(W_1 \sin \gamma - W_2 \sin \gamma \cos \gamma)}{W_1^2 - 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2} \right)^2;$$

$$S_{\min} = \frac{\sin \gamma (x_0 W_2 + S_{xy} W_1)}{\sqrt{W_1^2 - 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2}}.$$

Задача № 6: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $0^\circ < \gamma \leq 90^\circ$ с постоянными скоростями $W_1 = W_2 = W$, при этом ВС₁ удаляется от точки пересечения из исходного положения x_0 , а ВС₂ приближается к точке пересечения из исходного положения S_{xy} . На вербальном уровне эта задача упоминалась в [4].

$$x_1(t) = x_0 + Wt; \quad y_1(t) = 0; \quad x_2(t) = tW \cos \gamma - S_{xy} \cos \gamma; \quad y_2(t) = tW \sin \gamma - S_{xy} \sin \gamma;$$

Запишем (см. рис. 3)

$$[x_1(t) - x_2(t)]^2 = [x_0 + tW(1 - \cos \gamma) + S_{xy} \cos \gamma]^2;$$

$$[y_1(t) - y_2(t)]^2 = [-tW \sin \gamma + S_{xy} \sin \gamma]^2.$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)}{dt} = 0$:

$$t_{\min} = \frac{S_{xy} - x_0}{2W}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$S_{\min} = \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}}^2 + (y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}}^2 \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 = \left(\frac{(x_0 + S_{xy})(1 + \cos \gamma)}{2} \right)^2;$$

$$\left[(y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 = \left(\frac{(x_0 + S_{xy}) \sin \gamma}{2} \right)^2;$$

$$S_{\min} = \frac{(x_0 + S_{xy}) \sqrt{1 + \cos \gamma}}{\sqrt{2}}.$$

Задача № 7: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $90^\circ < \gamma \leq 180^\circ$ с постоянными скоростями W_1 и W_2 , при этом ВС₁ удаляется от точки пересечения из исходного положения x_0 , а ВС₂ приближается к точке пересечения из исходного положения S_{xy} . Схема движения ВС показана на рис. 4.

$$x_1(t) = x_0 + W_1 t; \quad y_1(t) = 0; \quad x_2(t) = -tW_2 \cos \gamma + S_{xy} \cos \gamma; \quad y_2(t) = tW_2 \sin \gamma - S_{xy} \sin \gamma;$$

Запишем (см. рис. 4)

$$[x_1(t) - x_2(t)]^2 = [x_0 + t(W_1 + W_2 \cos \gamma) - S_{xy} \cos \gamma]^2;$$

$$[y_1(t) - y_2(t)]^2 = [tW_2 \sin \gamma - S_{xy} \sin \gamma]^2.$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)}{dt} = 0$:

$$t_{\min} = \frac{S_{xy}(W_1 + W_2 \cos \gamma) - x_0(W_1 + W_2 \cos \gamma)}{W_1^2 + 2W_1W_2 \cos \gamma + W_2^2}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$S_{\min} = \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}}^2 + (y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}}^2 \right]^{\frac{1}{2}};$$

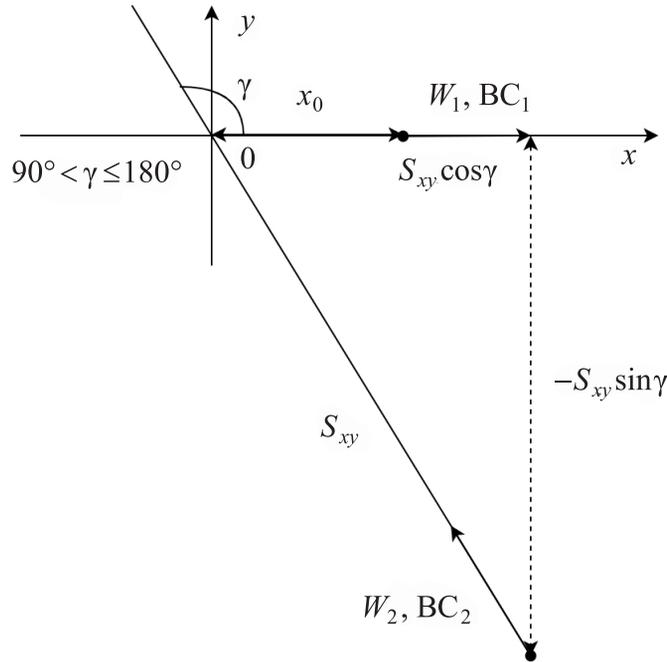


Рис. 4

$$\begin{aligned} \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 &= \left(\frac{W_2(x_0 W_2 + S_{xy} W_1) \sin^2 \gamma}{W_1^2 + 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2} \right)^2; \\ \left[(y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 &= \left(\frac{(x_0 W_2 + S_{xy} W_1)(W_1 + W_2 \cos \gamma)}{W_1^2 + 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2} \right)^2; \\ S_{\min} &= \frac{\sin \gamma (x_0 W_2 + S_{xy} W_1)}{\sqrt{W_1^2 + 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2}}. \end{aligned}$$

Задача № 8: ВС₁ и ВС₂ совершают прямолинейный полёт на пересекающихся курсах при углах пересечения $90^\circ < \gamma \leq 180^\circ$ с постоянными скоростями $W_1 = W_2 = W$, при этом ВС₁ удаляется от точки пересечения из исходного положения x_0 , а ВС₂ приближается к точке пересечения из исходного положения S_{xy} . В документе [4] есть вербальная постановка аналогичной задачи. Схема движения ВС показана на рис. 4.

$$x_1(t) = x_0 + Wt; \quad y_1(t) = 0; \quad x_2(t) = -tW \cos \gamma - S_{xy} \cos \gamma; \quad y_2(t) = tW \sin \gamma - S_{xy} \sin \gamma;$$

Запишем (см. рис. 4)

$$\left[x_1(t) - x_2(t) \right]^2 = \left[x_0 + tW(1 + \cos \gamma) + S_{xy} \cos \gamma \right]^2;$$

$$\left[y_1(t) - y_2(t) \right]^2 = \left[-tW \sin \gamma + S_{xy} \sin \gamma \right]^2.$$

Пусть t_{\min} является корнем уравнения $\frac{d((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)}{dt} = 0$:

$$t_{\min} = \frac{S_{xy} - x_0}{2W}.$$

Произведём вычисления и найдём S_{\min} :

$$S_{\min} = \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}}^2 + (y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}}^2 \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\begin{aligned} \left[(x_1(t) - x_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 &= \left(\frac{(x_0 + S_{xy})(1 - \cos \gamma)}{2} \right)^2; \\ \left[(y_1(t) - y_2(t))_{t_{\min}} \right]^2 &= \left(\frac{-(x_0 + S_{xy}) \sin \gamma}{2} \right)^2; \\ S_{\min} &= \frac{(x_0 + S_{xy}) \sqrt{1 - \cos \gamma}}{\sqrt{2}}. \end{aligned}$$

Итак, для восьми типов движения ВС с пересекающимися курсами, получено восемь решений по минимальному сближению ВС в горизонтальной плоскости S_{\min} . Результаты сведены в таблицу.

Номер задачи	Минимальное горизонтальное сближение ВС S_{\min}	Параметры движения ВС при пересечении
1.	$S_{\min} = \frac{S_{xy} W_1 \sin \gamma}{\sqrt{W_1^2 - 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2}}$	$0^\circ < \gamma \leq 90^\circ; W_1 \neq W_2; S_{xy}; x_0 = 0$; рис. 1.
2.	$S_{\min} = \frac{S_{xy} \sqrt{1 + \cos \gamma}}{\sqrt{2}}$	$0^\circ < \gamma \leq 90^\circ; W_1 = W_2 = W; S_{xy}; x_0 = 0$; рис. 1.
3.	$S_{\min} = \frac{S_{xy} W_1 \sin \gamma}{\sqrt{W_1^2 + 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2}}$	$90^\circ < \gamma \leq 180^\circ; W_1 \neq W_2; S_{xy}; x_0 = 0$; рис. 2.
4.	$S_{\min} = \frac{S_{xy} \sqrt{1 - \cos \gamma}}{\sqrt{2}}$	$90^\circ < \gamma \leq 180^\circ; W_1 = W_2 = W; S_{xy}; x_0 = 0$; рис. 2.
5.	$S_{\min} = \frac{\sin \gamma (x_0 W_2 + S_{xy} W_1)}{\sqrt{W_1^2 - 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2}}$	$0^\circ < \gamma \leq 90^\circ; W_1 \neq W_2; S_{xy}; x_0$; рис. 3.
6.	$S_{\min} = \frac{(x_0 + S_{xy}) \sqrt{1 + \cos \gamma}}{\sqrt{2}}$	$0^\circ < \gamma \leq 90^\circ; W_1 = W_2 = W; S_{xy}; x_0$; рис. 3.
7.	$S_{\min} = \frac{\sin \gamma (x_0 W_2 + S_{xy} W_1)}{\sqrt{W_1^2 + 2W_1 W_2 \cos \gamma + W_2^2}}$	$90^\circ < \gamma \leq 180^\circ; W_1 \neq W_2; S_{xy}; x_0$; рис. 4.
8.	$S_{\min} = \frac{(x_0 + S_{xy}) \sqrt{1 - \cos \gamma}}{\sqrt{2}}$	$90^\circ < \gamma \leq 180^\circ; W_1 = W_2 = W; S_{xy}; x_0$; рис. 4.

Влияние минимальных интервалов между ВС в горизонтальной плоскости на безопасность процедур горизонтального эшелонирования при использовании информации системы наблюдения ОВД

Будем считать, что безопасность процедуры эшелонирования в горизонтальной плоскости соблюдена, если процедура обеспечивает минимальный интервал между ВС, не меньший минимума эшелонирования. Наблюдаемые метки эшелонируемых ВС являются реальными (актуальными) с очень большой вероятностью, равной P_0^2 . При указанном состоянии отображения меток ВС теоретически можно выполнить процедуру горизонтального эшелонирования без нарушения минимального безопасного интервала (например, 5 км или 10 км). Но с некоторой вероятностью, равной $1 - P_0^2$, хотя бы одна метка эшелонируемых ВС будет неактуальной. Это приведет к тому,

что величины S_{xy} и x_0 могут отличаться от наблюдаемых. Пропуски обновления информации системы наблюдения объективно существуют. Вероятности P_1 , P_2 и P_3 доступны для объективного оценивания. При их наличии и с учетом полученных в настоящих исследованиях результатов (см. таблицу) можем точно знать насколько минимальные интервалы между эшелонируемыми ВС меньше установленных безопасных (5 км и/или 10 км), и с какой вероятностью. А если учесть ошибки определения координат ВС системой наблюдения ОВД, можно с учетом фактических значений S_{\min} переходить к вероятностям горизонтального перекрытия при эшелонировании и к рискам катастроф.

Заключение

Применение результатов исследований, выполненных в рамках настоящей работы, позволит оснастить модель оценки технического риска катастроф при горизонтальном эшелонировании ВС с использованием информации системы наблюдения ОВД всеми возможными решениями по минимальным горизонтальным интервалам при наблюдаемых положениях ВС до и после точки пересечения курсов. Наряду с традиционными задачами, при которых одно ВС находится в точке пересечения, а другое приближается к ней, впервые решены задачи, когда одно ВС движется от точки пересечения, находясь в начальный момент на расстоянии x_0 от неё, а другое ВС приближается к этой точке. Расширение круга экстремальных задач при движении ВС относительно точки пересечения курсов понадобилось для учёта влияния пропуска отображений координат ВС на минимальные расстояния между ними, и тем самым на риск катастроф при эшелонировании ВС на пересекающихся курсах.

Список источников

1. Спрысков В. Б., Шувалова Е. В., Кузнецов С. В. Модель оценки технического риска катастроф при эшелонировании воздушных судов в горизонтальной плоскости на основе информации системы наблюдения воздушного движения // Научный вестник ГосНИИ ГА, 2022, № 40, С. 111–123.
2. Соломенцев В. В., Спрысков В. Б., Кузнецов С. В. Анализ основных различий международных и российских правил эшелонирования воздушных судов при пересечении занятых эшелонов и маршрутов с использованием системы наблюдения обслуживания воздушного движения // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 180. С. 26–39.
3. Спрысков В. Б., Исаакян К. Л., Кузнецов С. В. Оценка риска катастроф в диспетчерской зоне при обслуживании воздушных судов с использованием информации системы наблюдения // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 221. С. 51–58.
4. Eurocontrol Specification for ATM Surveillance System Performance (Vol. 1 and 2), Edition Number 1.1, Brussels, 2015, 85 p.

References

1. Spryskov V. B., Shuvalova E. V., Kuznetsov S. V., Model for estimating technical risk of accident when separation aircraft in the horizontal plane based on air traffic service surveillance system, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 40, pp. 111–123. (In Russ.)
2. Solomentsev V. V., Spryskov V. B., Kuznetsov S. V., Analysis of the main differences between international and Russian aircraft separation rules for crossing busy flight levels and tracks surveillance system using air traffic services, *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2012, no. 180, pp. 26–39. (In Russ.)
3. Spryskov V. B., Isaakian K. L., Kuznetsov S. V., Estimation of aircraft accident risk in controller responsibility zone airspace while providing aircraft service with ATM surveillance system data, *Civil Aviation High Technologies*, 2015, no. 221, pp. 51–58. (In Russ.)

4. Eurocontrol Specification for ATM Surveillance System Performance (Vol. 1 and 2), Edition Number 1.1, Brussels, 2015, 85 p.

Информация об авторах

Спрысков Владимир Борисович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, spryskov@atminst.ru

Шувалова Екатерина Викторовна, заместитель генерального директора по аэронавигации, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, shuvalovaev@gosniiga.ru

Кузнецов Сергей Вадимович, заместитель начальника отдела – начальник сектора, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, kuznetsov@atminst.ru

Authors information

Spryskov Vladimir B., Doctor of Sciences (Engineering), Chief Scientific Officer, The State Scientific Research Institute of Civil aviation, Moscow, Russia, spryskov@atminst.ru

Shuvalova Ekaterina V., Deputy General Director for Air Navigation, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, shuvalovaev@gosniiga.ru

Kuznetsov Sergei V., Deputy Head of Department – Head of Sector, The State Scientific Research Institute of Civil aviation, Moscow, Russia, kuznetsov@atminst.ru

Статья поступила в редакцию 02.11.2022; одобрена после рецензирования 01.12.2022; принята к публикации 10.12.2022.

The article was submitted 02.11.2022; approved after reviewing 01.12.2022; accepted for publication 10.12.2022.

Научная статья
УДК 004.056

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

А. К. БЛАГОРАЗУМОВ, П. Е. ЧЕРНИКОВ, Г. Е. ГЛУХОВ, А. В. СЁМИН

Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются некоторые аспекты разработки информационных систем в виде web-приложений применительно к задаче обеспечения их безопасного функционирования, а также в условиях необходимости обеспечения кроссплатформенности. Приводится ряд современных актуальных методов защиты web-приложения, как на этапе его разработки, так и непосредственно в процессе администрирования в эксплуатации. Дано описание наиболее распространённых уязвимостей web-приложений и подходов к их устранению. Учитывая отсутствие возможности полного исключения вероятности взлома информационной системы и/или базы данных, с которой она работает, представлены методы, позволяющие минимизировать степень ущерба от взлома и время полного восстановления системы. Сформулирован перечень мероприятий со стороны разработчика и администратора информационной системы, выполненной в виде веб-приложения, необходимых и достаточных для минимизации угроз безопасности информационной инфраструктуры в рамках которой функционирует данное веб-приложение.

Ключевые слова: информационная система, веб-приложение, кроссплатформенность, защита данных, взлом, восстановление данных, программное обеспечение, программирование

Для цитирования: *Благодарумов А. К., Черников П. Е., Глухов Г. Е., Сёмин А. В. Методы обеспечения безопасности веб-приложений // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 41. С. 144–152.*

WEB APPLICATION SECURITY METHODS

A. K. BLAGORAZUMOV, P. E. CHERNIKOV, G. E. GLUKHOV, A. V. SEMIN

The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses some aspects of the development of information systems in the form of web applications, in relation to the task of ensuring their safe functioning, as well as in conditions of the need to ensure cross-platform compatibility. A number of modern relevant methods of protecting a web application are given, both at the stage of its development and directly in the process of administration in operation. The most common vulnerabilities of web applications and approaches to their elimination are described. Taking into account the absence of the possibility of completely eliminating the possibility of hacking the information system and/or the database with which it works, methods are presented to minimize the degree of damage from hacking and the time of full system recovery. A list of measures on the part of the developer and administrator of an information system made in the form of a web application is formulated that are necessary and sufficient to minimize threats to the security of the information infrastructure within which this web application operates.

Keywords: information system, web application, cross-platform, data protection, hacking, data recovery, software, programming

For citation: Blagorazumov A. K., Chernikov P. E., Glukhov G. E., Semin A. V., Web application security methods, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 41, pp. 144–152. (In Russ.)

Введение

При разработке информационных систем перед разработчиками стоит задача обеспечения кроссплатформенности – способности системы работать на устройствах разного типа (стационарных персональных компьютерах, мобильных устройствах), оснащённых процессорами различной архитектуры (IA-32, x86-64, ARM, AArch64) под управлением различных операционных систем (MS Windows, GNU Linux, macOS, Android, iPadOS и т. п.).

Необходимость обеспечения кроссплатформенности актуальна в настоящее время, когда выполняется массовая миграция с зарубежных операционных систем на отечественные, и пользователям информационной системы, начавшим работать с ней на компьютере под управлением операционной системы Windows, должна быть гарантирована возможность продолжения работы после перехода на операционную систему Linux [1].

Ещё бóльшую актуальность проблема кроссплатформенности приобрела весной 2022 года, когда зарубежные поставщики операционных систем и прочего программного обеспечения (ПО) стали массово прекращать поддержку своих систем на территории России и блокировать возможность дальнейшего использования их программных продуктов.

Проблемы кроссплатформенности решаются: а) посредством разработки и использования веб-приложений, исполняемых в веб-браузерах на клиентских устройствах, и хранящих программный код и данные на сервере, доступном в локальной сети предприятия или через интернет [2]; б) переписыванием с одного языка программирования на другой с выбором соответствующей кроссплатформенной библиотеки. Например, как это было реализовано в элементах Информационно-аналитической системы мониторинга лётной годности ВС при переходе с пользовательского модуля ПМ «Эксплуатант», зависящего от операционной системы Windows [3], на импортонезависимую кроссплатформенную Автоматизированную систему поддержания лётной годности воздушных судов (АСУ ПЛГ ВС) [4].

Веб-браузерами в настоящее время оснащены все персональные компьютеры и мобильные устройства. Более того, включённые в реестр отечественного ПО браузеры Atom от VK (бывшее Mail.ru) и Яндекс.Браузер доступны для установки на все типы устройств и с точки зрения веб-приложений полностью совместимы с самыми распространёнными зарубежными браузерами Google Chrome и Microsoft Edge, поскольку все вместе используют ставший стандартом де-факто браузерный движок Chromium с открытым исходным кодом.

С использованием отечественного ПО для серверной части веб-приложений также нет проблем, поскольку нишу веб-серверов давно и прочно заняла операционная система Linux с открытыми исходными кодами, имеющая множество реализаций (сборок), обладающих статусом отечественного ПО.

Возможность реализация информационных систем в виде веб-приложений породило следующие тенденции, которые отслеживаются даже для сугубо внутрикорпоративных систем и ранее строились по клиент-серверной архитектуре и функционировали в изолированной локальных вычислительных сетей (ЛВС) организации:

1) переход от использования стационарных компьютеров к мобильным устройствам, обеспечивающим доступ к информационной системе из любого места;

2) перенос серверов из ЛВС организаций в специализированные дата-центры, способные обеспечить лучшие показатели безотказности и доступности по сравнению с локальными серверами организации за счёт применения технологий виртуализации, кластеризации и резервирования;

3) использование в программном коде внешних ресурсов (загружаемых шрифтов, скриптов на языке JavaScript), загружаемых со сторонних серверов CDN (англ. – Content Delivery Network или Content Distribution Network, Сеть распространения контента).

Доступность серверов информационной системы из интернета требует решения задач по обеспечению их защиты от несанкционированного доступа. Необходимо также отметить, что даже если весь требуемый для работы веб-приложения программный код разместить на локальных серверах организации, но работать с ним через браузер, имеющий доступ в интернет, то у злоумышленников останется множество способов атаковать сервер, используя известные уязвимости сетевых протоколов и их реализаций в конкретном браузере [5].

Таким образом, наличие хорошо отработанных за много лет веб-технологий позволяет разрабатывать кроссплатформенные информационные системы, которые сохраняют свою работоспособность в процессе миграции на отечественное программное и аппаратное обеспечение. Однако обеспечение безопасности таких информационных систем требует применения комплекса рассмотренных далее специфических мер.

Аппаратно-программные комплексы обнаружения и предотвращения вторжений

Аппаратно-программные комплексы обнаружения вторжений (обозначаемые аббревиатурами СОВ – Средства обнаружения вторжений, англ. IDS – Intrusion Detection System, и СПВ – Средства предотвращения вторжений, англ. IPS – Intrusion Prevention System) проверяют сетевой трафик на наличие сигнатур, характерных для сетевых атак. По мере выявления новых приёмов атак соответствующие им сигнатуры распространяются разработчиками средств по подписке своим пользователям [6].

Подобные комплексы имеют сертификацию ФСТЭК и ФСБ, и их приобретение для защиты веб-сервера является самым быстрым и простым (но не самым дешёвым) способом формально задекларировать защищённость внедряемой информационной системы.

Недостатком подобных комплексов является их универсальность – они способны выявить (и заблокировать – в случае СОВ) атаки, осуществляемые посредством сканирования сервера на предмет известных уязвимостей или попыток авторизации с перебором паролей, но им трудно противостоять попыткам взлома, осуществляемым злоумышленниками целенаправленно, когда вручную проводится анализ трафика между сервером и браузером. Причина этого очевидна – комплексы обнаружения и предотвращения вторжений не могут определить, какие передаваемые на сервер в HTTP-запросе параметры являются допустимыми для конкретной страницы веб-приложения, а какие способны заставить сервер выполнить не предусмотренные разработчиком опасные действия – извлечь из базы данных «лишнюю» информацию, или перенаправить браузер на специально подготовленную злоумышленником страницу, перехватывающую используемые для авторизации данные [7].

В то же время, при должном умении разработчика, веб-приложение с вероятностью вплоть до 100 % способно самостоятельно выявить попытку взлома и заблокировать атакующего методами, описанными ниже.

Защита от взлома внутри веб-приложения

Веб-приложение, при внесении соответствующих условий в программный код, может выявлять попытки взлома и блокировать источник атаки, моментально внося IP-адрес в чёрный список на уровне приложения, веб-сервера, или сетевого экрана серверной операционной системы. Например, признаком многих типов атак (SQL-инъекции, чтение файлов с пароля, запуск скриптов) служит присутствие в параметрах HTTP-запросов последовательностей символов, которые однозначно не могут там оказаться при штатной работе веб-приложения, поскольку

в программном коде определено, что, к примеру, этот параметр может быть только числом и ничем иначе.

Что касается вопросов устранения последствий взлома, то если приложение выполняло журналирование действий пользователей с сохранением IP-адреса и учётной записи, возможно отменить изменения, внесённые с использованием взломанного аккаунта. Эта возможность также реализуется только на уровне программного кода приложения, количество сертификатов у СОВ и уровень защиты в случае пропущенной атаки в данном случае никак не влияет на вероятность успешного отражения атаки.

Таким образом, несмотря на использовании сертифицированных средств, защита веб-приложений на программном уровне всегда будет актуальной [8]. В рамках данного типа защиты веб-приложений можно выделить следующие эффективные мероприятия:

- Использование общепризнанных «лучших практик» алгоритмизации и программирования на этапе разработки архитектуры приложения и написания его программного кода.
- Защита, встроенная в веб-фреймворк его разработчиками в процессе эволюции и основывающаяся на уязвимостях, публикуемых в базе данных общеизвестных уязвимостей информационной безопасности (CVE).
- Внешние IDS/IPS (их использование зависит от назначения разрабатываемого ПО, предприятия на котором ПО используется и выходит за рамки статьи).
- Использование общепризнанных «лучших практик» администрирования.
- Анализ сигнатур. База решающих правил/условий построения HTTP-запросов веб-приложения.

Защита за счёт использования лучших практик программирования

Эффективность данного типа защиты всецело зависит от разработчика веб-приложения и базируется на следующих стандартных приёмах, позволяющих на уровне программного кода существенно повысить уровень защищённости приложения как от внешних угроз, так и от непреднамеренных ошибочных действий пользователей:

- Использование HTTP-запросов типа POST (вместо GET) для любых действий, меняющих содержимое базы данных (во избежание выполнения непреднамеренного действия при нажатии браузерной кнопки обновления страницы или возврата на предыдущую страницу, а также для исключения кэширования в прокси-сервере URL с деструктивными действиями).
- Аутентификация по идентификатору сессии и проверка прав доступа с помощью перехвата управления (`before_action`) на уровне фреймворка.
- Исключение возможности вызова веб-приложения с внешних сайтов (скриптов, шрифтов, аналитики). После конфигурирования среды выполнения её обновление отключается.
- Фильтрация всех полей, позволяющих пользователям и редакторам вводить отображаемый на сайте контент, в целях предотвращения размещения на HTML-страницах кода, позволяющего осуществить атаку через механизм CSRF (Cross-Site Request Forgery – межсайтовой подделки запросов).
- Хранение файлов на сервере с использованием числового идентификатора записи БД вместо имени файла.
- Фильтрация параметров, передаваемых в URL для исключения SQL-инъекций. Так, если значение параметра должно являться числовым идентификатором строки, то можно отбросить все символы, не являющиеся цифрами. Более того, обнаружив присутствие отличных от цифр символов, программный код может автоматически удалить из базы данных идентификатор сессии, разлогинив таким образом браузер пользователя, поскольку передача посторонних символов вместо числового идентификатора служит свидетельством выполнения чужеродного кода, то есть попытки взлома веб-приложения [9].

- Исключение использования при разработке сторонних модулей, факт наличия которых может быть определён по существованию определённого URL (авторизация, javascript'ы), и на которые могут быть атаки при выявлении злоумышленниками уязвимостей «нулевого дня», т. е. уязвимостей, против которых ещё не разработаны защитные механизмы.

- Хранение паролей в криптографически хэшированном виде. При этом исключается возможность расшифровать пароль обратным математическим преобразованием, убедиться в корректности введённого пользователем пароля можно только сравнением его хэша с хранимым в базе данных [10].

Защита на уровне фреймворка

Тип защиты, связанный с конфигурированием среды функционирования веб-приложения, эффективность которого в немалой степени определяется возможностями и степенью популярности среди разработчиков ПО этой среды. Среди основных приёмов защиты данного типа можно выделить следующие:

- Защита от перехвата – шифрование TSL. Защита от обхода TSL – принудительная перенадресация на HTTPS (перенаправление на порт 443 в конфигурации Apache).

- Встраивание тегов meta в заголовок страниц, автоматически добавляющих HTTP-заголовок X-CSRF-Token с токеном безопасности в каждый Ajax-запрос. Отсутствие соответствующего токена при получении запроса вызовет автоматический обрыв сессии.

- Для затруднения «угона сессии» и «фиксации сессии»: ограничение срока жизни идентификатора сессии на сервере (принудительным удалением старых записей), поскольку срок валидности куки-файла в браузере может быть изменён.

- Скрытие информации об ошибках при возникновении ошибок в работе приложения, а именно:

- данных о структуре файловой системы (информация о версии операционной системы, директориях с системными файлами и системным программным обеспечением, включая пути к директориям и файлам);

- фрагментов программного или конфигурационного кода;

- сообщений об ошибках при передаче запросов в систему управления базой данных (СУБД);

- SQL-выражений, используемых при доступе к базе данных.

Ликвидация последствий атак

В условиях постоянного обнаружения всё новых уязвимостей в серверном и клиентском программном обеспечении, а также в сетевых протоколах, невозможно добиться 100 % защиты, но можно и нужно принять комплекс мер по минимизации времени восстановления работоспособности веб-приложения, если атаку всё же не удалось предотвратить [11].

Критичными для функционирования любого веб-приложения являются:

1) его программный код;

2) конфигурация среды выполнения (настройки веб-сервера, сервера баз данных и т. п.);

3) текущие данные, хранящиеся в базе данных.

Программный код веб-приложения, как правило, хранится в нескольких местах: на непубличном тестовом сервере, системах управления версиями или резервных копиях, хранимых у разработчиков, вследствие чего его полная утрата маловероятна.

Файлы конфигурации установленного на сервере и задействованного в работе веб-приложения системного и прикладного ПО позволяют быстро восстановить повреждённый вследствие атаки сервер или оперативно развернуть новый, установив на чистый сервер системное ПО из дистрибутивов и скопировав ранее сохранённые файлы настроек. Таким образом,

определение набора необходимых файлов настроек и настройка его резервного копирования является залогом успешности оперативного восстановления сервера веб-приложения.

В отличие от программного кода и файлов настроек, которые в штатном режиме работы отлаженного веб-приложения изменяются относительно редко, хранящаяся в базе данных информация меняется постоянно (в частности, журналы авторизаций и действий пользователей – при каждом обращении к страницам интерфейса). Поэтому администраторам веб-приложения следует настроить автоматическое сохранение содержимого баз данных.

Интервал резервного копирования данных зависит от назначения веб-приложения и интенсивности его использования. Если веб-приложение активно принимает данные от пользователей, и потеря накопленных даже за час данных будет критичной, то имеет смысл настроить репликацию на резервный сервер баз данных средствами СУБД. Если же данные обновляются редко, то достаточно настроить создание резервных копий в файлы дампов базы данных без задействования резервных серверов СУБД.

В целях защиты от техногенных катастроф резервные копии следует направлять на территориально удалённые серверы. Если при этом трафик будет передаваться по публичным сетям (интернету), он должен быть зашифрован посредством VPN, либо шифрованием отдельных файлов резервных копий путём использования специализированных программ (OpenSSL, gnuPG) или функции шифрования программ-архиваторов.

Для защиты файл-сервера, накапливающего резервные копии, доступ к нему следует организовать с авторизацией по криптоключу. Максимально защитить резервные копии от удаления в случае взлома отправляющего данные сервера, имеющего право на запись файлов, можно созданием двух директорий: 1) для приёма файлов; 2) для их хранения. Перекладывать файлы можно с помощью скрипта, запускаемого по расписанию, спустя несколько минут после сеанса приёма файлов резервных копий. Такой подход позволит полностью исключить возможность доступа извне к хранимым резервным копиям.

Как показал значительный опыт, использование виртуализации серверов существенно облегчает задачу их резервного копирования и последующего восстановления, поскольку образ полностью готового к работе сервера хранится в единственном файле, манипуляции с которым являются интуитивно понятными, не требуют от администратора специфических знаний и практически исключают влияние человеческого фактора в стрессовых ситуациях.

Заключение

Аппаратно-программные комплексы обнаружения и предотвращения вторжений, несмотря на наличие различных сертификатов, не способны сами по себе полностью защитить веб-приложение, поскольку они не обладают информацией о том, какие внешние запросы к защищаемому приложению являются допустимыми, а какие способны нарушить его работоспособность и привести к утечке данных. Эффективная настройка таких комплексов требует тщательной ревизии кода веб-приложения. Если такую ревизию проводит непосредственно разработчик внедряемого веб-приложения, то ему будет проще и быстрее исправить свой код, нежели настраивать на его защиту стороннюю программу.

Именно разработчики веб-приложений должны решать вопросы защищённости веб-приложения. Проработка аспектов защиты должна начинаться на этапе принятия решения об использовании сторонних компонентов (готовых программных библиотек) и вестись непрерывно на протяжении всей работы над проектом – при написании кода обработки каждого входящего запроса разработчик должен предусматривать ответную реакцию приложения на запросы, отличающиеся от ожидаемых.

Существенный вклад в обеспечение безопасности веб-приложения вносит веб-фреймворк, в который встраивается защита от множества типов атак, о существовании которых разработчик

веб-приложения может даже не подозревать. Чем больше сообщество разработчиков веб-фреймворка, и чем больше лет он существует, тем более защищёнными будут разработанные на его платформе веб-приложения, поскольку веб-фреймворк вбирает в себя обширный опыт противодействия уязвимостям браузеров и сетевых протоколов. Однако чем более распространён фреймворк, тем больше стимулов у взломщиков разрабатывать специфичные для него инструменты (трояны и сетевые черви), а также организовывать широкомасштабные сканирования серверов на предмет их взлома. С точки зрения безопасности (не вдаваясь в вопросы опыта и наработок привлечённой команды), при разработке нового веб-приложения оптимальным можно считать выбор веб-фреймворка не слишком популярного, но, в то же время, имеющего многолетнюю историю и активно развиваемого в настоящее время.

Защита веб-приложения подразумевает не только способность противодействию взлому, но и способность быстрого восстановления его работоспособности в случае успеха атаки. Если веб-приложение не обрабатывает и не хранит чувствительные к утечке данные, ущерб от взлома, помимо репутационных потерь, будет определяться временем восстановления его работоспособности.

Список источников

1. Сурина Г. П., Васильев Н. А. Актуальность перехода на отечественное программное обеспечение // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. Москва, 2021. С. 630–634.
2. Коршов Д. И. Преимущества использования веб-технологий в деятельности организации // Тенденции экономического развития в XXI веке: материалы III Международной научной конференции. Минск, 2021. С. 894–897.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020613499 / Г. Е. Глухов, С. А. Драздов, В. Ю. Брусникин, С. А. Гаранин, П. Е. Черников // Программы для ЭВМ. Базы данных. ТИМС. 2020. № 3.
4. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022618279 / Г. Е. Глухов, В. Ю. Брусникин, В. А. Еремин, С. А. Гаранин, П. Е. Черников, С. А. Драздов, А. В. Максименко // Программы для ЭВМ. Базы данных. ТИМС. 2022. № 5.
5. Окурников А. О., Гусейнов А. Д., Самойлов А. А., Морозенко Г. К. Виды сетевых угроз, характерные для Linux // Перспективы науки. 2021. № 12(147). С. 41–44.
6. Быкова В. В., Карапетян А. Г., Брусникин В. Ю., Ладыгина Н. Н., Коньков А. Ю. Исследование ошибок эксплуатации информационных систем, связанных с человеческим фактором // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 38. С. 125–135.
7. Карапетян А. Г., Черников П. Е., Гаранин С. А., Брусникин В. Ю., Коваль С. В., Быкова В. В. Организация системы доступа и безопасности Центральной нормативно-методической библиотеки гражданской авиации // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 34. С. 91–101.
8. Быкова В. В., Глухов Г. Е., Шарыпов А. Н., Черников П. Е., Коваль С. В., Коньков А. Ю. Проблемы уязвимости информационных систем предприятий авиационной отрасли: анализ и классификация ошибок // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2019. № 27. С. 56–65.
9. Цысь Д. П., Осипов Н. Р. Анализ запросов из открытой сети к защищаемому ресурсу // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах. 2019. С. 312–316.
10. Узденова Б. Х., Чекунова А. М., Акбаева А. А. Моделирование угроз для веб-приложений на основе веб-служб // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 69-1. С. 42–45.
11. Быкова В. В., Карапетян А. Г., Шарыпов А. Н., Коваль С. В. Предупреждение и коррекция ошибок операторов информационных систем в авиационной деятельности // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2022. № 39. С. 144–154.

References

1. Surina G. P., Vasil'ev N. A., Aktual'nost' perekhoda na otechestvennoe programmnoe obespechenie, Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti, *Materialy XXXIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj Godu nauki i tekhnologii* [The relevance of the transition to domestic software, Actual problems of fire safety, *Int. Conf. Proc. 33rd International Scientific and Practical conference dedicated to the Year of Science and Technology*], Moscow, 2021, pp. 630–634. (In Russ.)
2. Korshov D. I., Preimushchestva ispol'zovaniya veb-tehnologij v deyatel'nosti organizatsii, *Tendentsii ehkonomicheskogo razvitiya v XXI veke, Materialy III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii* [Advantages of using web technologies in the organization's activities, *Trends of economic development in the XXI century, Int. Conf. Proc. 3rd International Scientific Conference*], Minsk, 2021, pp. 894–897. (In Russ.)
3. Gluhov G. E., Drazdov S. A., Brusnikin V. Yu., Garanin S. A., Chernikov P. E., Certificate of state registration of a computer program RF no. 2020612354, *Computer Programs, Databases, TIC*, no. 3 (2020). (In Russ.)
4. Gluhov G. E., Brusnikin V. Yu., Eremin V. A., Garanin S. A., Chernikov P. E., Drazdov S. A., Maksimenko A. V., Certificate of state registration of a computer program RF no. 2022617804, *Computer Programs, Databases, TIC*, no. 5 (2022). (In Russ.)
5. Okurenkov A. O., Gusejnov A. D., Samojlov A. A., Morozenko G. K., Types of network threats specific to Linux OS, *Perspektivy nauki*, 2021, no. 12(147), pp. 41–44. (In Russ.)
6. Bykova V. V., Karapetyan A. G., Brusnikin V. Yu., Ladygina N. N., Konkov A. Yu., Investigation of information systems operation errors related to human factor, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 38, pp. 125–135. (In Russ.)
7. Karapetyan A. G., Chernikov P. E., Garanin S. A., Brusnikin V. Yu., Koval S. V., Bykova V. V., Organization of the access and security system of the Central regulatory and methodological library of civil aviation, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2021, no. 34, pp. 91–101. (In Russ.)
8. Bykova V. V., Karapetyan A. G., Sharypov A. N., Koval S. V., Prevention and correction of errors of information system operators in aviation activity, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2022, no. 39, pp. 144–154. (In Russ.)
9. Tsys' D. P., Osipov N. R., Analiz zaprosov iz otkrytoj seti k zashchishchaemomu resursu, *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii, Materialy vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Analysis of requests from an open network to a protected resource, *Automated control systems and information technologies, Proc. All-Russian scientific and technical conference*], 2019, pp. 312–316. (In Russ.)
10. Uzdenova B. H., Chekunova A.M., Kabaeva A. A. Threat modeling for web applications based on web services, *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* 2021, no. 69-1, pp. 42–45. (In Russ.)
11. Bykova V. V., Glukhov G. E., Sharypov A. N., Chernikov P. E., Koval S. V., Konkov A. Yu., Problems of vulnerability of information systems of aviation industry enterprises: analysis and classification of errors, *Scientific Bulletin of The State Scientific Research Institute of Civil Aviation*, 2019, no. 27, pp. 56–65. (In Russ.)

Информация об авторах

Благоразумов Андрей Кириллович, начальник группы, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, blagorazumov@mlgvs.ru

Черников Павел Евгеньевич, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, chernikov@mlgvs.ru

Глухов Геннадий Евгеньевич, заместитель директора Научного центра, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, glukhov@mlgvs.ru

Сёмин Александр Викторович, начальник отдела, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Москва, Россия, semin@ncplg.ru

Authors information

Blagorazumov Andrey K., Head of the Group, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, blagorazumov@mlgvs.ru

Chernikov Pavel E., Candidate of Sciences (Engineering), Deputy Head of the Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, chernikov@mlgvs.ru

Glukhov Gennady E., Deputy Director of Scientific Centre, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, glukhov@mlgvs.ru

Semin Alexander V., Head of the Department, The State Scientific Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia, semin@ncplg.ru.

Статья поступила в редакцию 13.10.2022; одобрена после рецензирования 02.12.2022; принята к публикации 11.12.2022.

The article was submitted 13.10.2022; approved after reviewing 02.12.2022; accepted for publication 11.12.2022.

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 23.12.2022

Печать офсетная
18,4 усл. печ. л.

Формат 60x84 1/8
Заказ № 22-35м

12,4 уч.-изд. л.
Тираж 70 экз.

Изготовлено и оформлено: ООО «Типография Миттель Пресс»

e-mail: mittelpress@mail.ru

Автор верстки: Михеева А. В.